http://www.kim.or.kr/

2025 대한금속·재료학회 추계학술대회 초록집

[초록집 QR]

2025.10.29 WED - 31 FRI

광주 김대중컨벤션센터

주최 : (사)대한금속 · 재료학회

후원 : POSCO, 현대제철, 세아제강, 동국제강, 신양금속공업, 두산에너빌리티, MTDI, 광주관광공사



KIM 대한금속·재료학회 THE KOREAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

TESTCOR

Innovation and Future, Together

MTDI 와 TESTCOR가 “테스코㈜”로 통합됩니다.

테스코 주식회사
TESTCOR

시험기 개발 제조

시험 서비스

항공용 하드웨어

MTDI의 장비 제작 노하우
TESTCOR의 시험평가 역량
“하나로 모였습니다”

KOLAS · Nadcap Administered by PRI ACCREDITED Materials Testing Laboratories · kfq · KOSRE ISO 9001 CERTIFIED

Materials Testing Capabilities

재료 또는 구조물에 대한 피로 및 파괴시험 전문
재료 입고 시험, 규격 요구도에 따른 정기적인 평가
고온 및 저온, 부식 환경에서 피로시험 전문
소재와 부품의 손상원인분석 수행

손상원인분석	피로균열전파	파괴인성	피로	응력부식균열	크립	부식
인장	압축	굽힘	충격	경도	조직관찰	3차원 측정

Key Testing Equipment



시편전처리
고속 절단기
정밀 절단기
자동 성형기
자동 연마기

신율계
Epsilon technology corp
공식인증대리점

소모품
Cutting 소모품
Mounting 소모품
Polishing 소모품
Grinding 소모품

마찰마모시험기
Pin(ball) on Disk
직선왕복동시험기
마찰교반시험기
고온나선마모시험기

재료시험기
만능재료시험기
크리프시험기
저속응력부식시험기
챔버&퍼니스

주문형시험기
고객의 필요사양에
맞춰 제작되는
특수시험용 시험기

Aerospace Hardware

“TENNINE FASTENER”는 최첨단 기술과 품질을 바탕으로
항공우주 패스너 제조 분야에서 글로벌 선도 기업으로 자리매김하였습니다.



Customizing **Nut**
Bonded Nut Plate **Bolt**

초음속 전투기용 패스너 (KF-21, KF-16, TA-50/KUH)국내 최초로
국산화에 성공한 니켈계 고강도 볼트, 너트 등을 안정적으로 생산 및 공급

엠티디아이	시험기 개발 및 판매	T. 042.934.8877	F. 042.933.1199	M. mtdico@mtdi.co.k	34015 대전광역시 유성구 테크노 1로 21
테스코	시험 서비스	T. 055.757.8233	F. 055.757.8234	M. hjkim@testcor.co.kr	52847 경상남도 진주시 정촌면 뿌리산단로50번길 78
하드웨어	항공용 패스너	T. 055.752.6737	F. 055.752.6768	M. hskim@testcor.co.kr	52847 경상남도 진주시 정촌면 뿌리산단로 50번길 27

2025 Fall Conference of the Korean Institute of Metals and Materials

초록집 목차

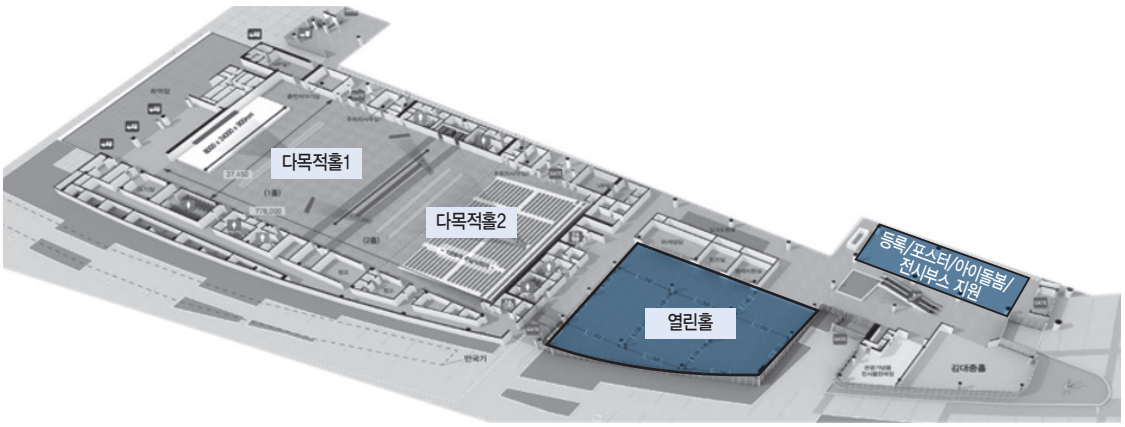
+ 발표장 안내도 2
+ 행사 및 발표 진행 안내 3
+ 추계학술행사 행사 일정 5
+ 구두 발표일정 20
+ 포스터 발표일정 58
+ 구두 발표 93
+ 포스터 발표 312
+ 발표자 색인 530
+ 2025년도 추계 학회상 수상자 535
+ 포스터배치 537
+ 부스배치 540
+ 경품 추첨 안내 541

발표장 안내도

광주김대중컨벤션센터

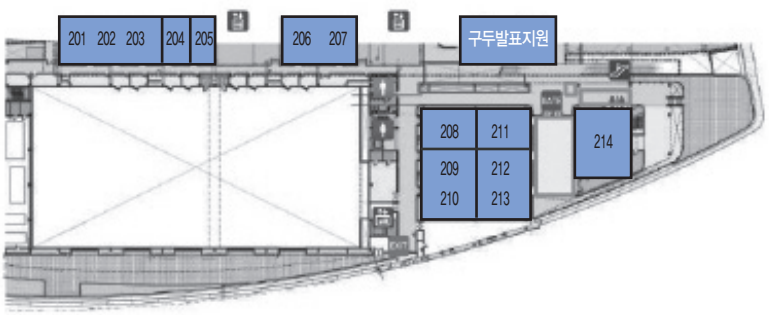
1F

로비(명찰출력 데스크, 등록/포스터/아이돌봄/전시부스 지원), 열린홀(전시부스, 경품추첨, 커피, beer party), 다목적홀1(중식, 총회 및 학회상 시상식), 다목적홀2(전시부스, 포스터발표, 커피, beer party)



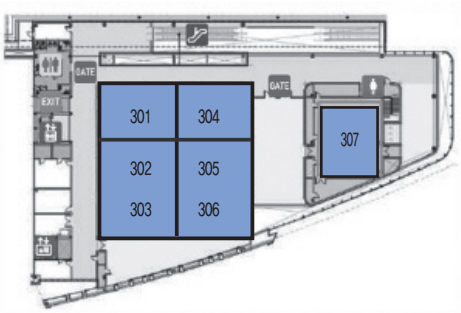
2F

로비(구두발표 지원, 인력채용부스), 201/3, 206/7, 208, 209/10, 211, 212/3, 214호



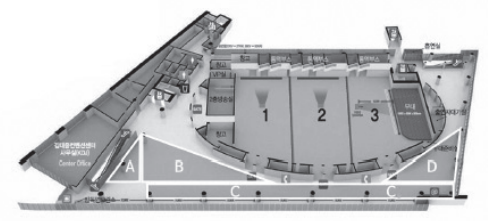
3F

301, 302/3, 304, 305/6호

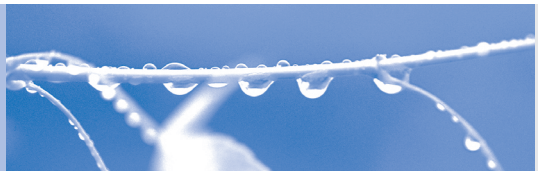


4F

컨벤션1,2,3홀



행사 및 발표 진행 안내



❖ 대회 기간 : 2025년 10월 29일 수요일 ~ 10월 31일 금요일, 3일간
❖ 대회 장소 : 광주 김대중컨벤션센터
❖ 등록 기간 : 2025년 9월 1일(월) ~ 10월 17일(금) 17:00
❖ 학술대회 등록비
– 29일(수)~31일(금) 중식이 제공됩니다.

구분	1차등록 (9월 1일~9월 26일)		2차등록 (9월 29일~10월 17일)	
	회원	비회원	회원	비회원
일반	18만 원	25만 원	21만 원	28만 원
학생	12만 원	17만 원	15만 원	20만 원

※ 등록취소 및 환불은 10월 17일(금)까지 가능 하며, 2차등록 마감일(정규등록 기간) 이후에는 참가 등록비가 28만원 단일가로 적용됩니다.
※ 만65세 이상 정회원은 등록비가 면제되오니, 참가를 희망하시는 분은 10월 17일까지 kimhak@kim.or.kr로 메일을 보내주시기 바랍니다.
※ 주차비는 지원되지 않습니다.(할인권 판매 없음) 행사장 내 주차공간이 매우 제한적이며, 당일 타 행사로 인한 혼잡이 예상되오니, 가급적 대중교통을 이용해 주시기 바랍니다.

구두세션 안내

❖ 구두 발표자료 준비
– 발표자료는 개인별로 이동용 저장 장치에 담아 오시기 바랍니다.(MS오피스)
– 발표자료는 휴게시간을 이용하여 발표장 노트북에 미리 옮겨 두시기 바랍니다.
– 강연장에는 연사용 노트북이 준비되어 있으며, 개인 노트북 연결 사용은 불가합니다.
– 발표자께서는 발표시간 20분 전까지 입장을 하셔야 합니다.

❖ 구두 발표 시간
– 일반발표: 15분 발표, 10분발표 후 5분간 질의응답으로 진행
– 초청강연: 20분~40분 (질의 및 응답 5분 포함)
※심포지엄의 발표시간은 심포지엄 별로 발표시간이 다르게 배정 됨.

포스터세션 안내

– 포스터 세션은 모두 대면 발표로 진행 됩니다.
– 포스터 발표 보드 부착 공간은 가로(폭) 100cm × 세로(높이) 120cm 크기로 준비하며, A4 기준으로 12장이 (가로 또는 세로로)부착 될 수 있습니다.
– 포스터 보드판 상단에 발표 번호가 마킹이 되어 있으므로 해당 포스터 번호에 포스터 부착물을 부착해주시기 바랍니다.
부착도구는 행사장 내에 비치된 부착물품을 이용 해 주시기 바랍니다.
– 발표부착물은 첫 장에(또는 서두에) 발표제목, 발표자 성명, 발표자 재직처가 명시될 수 있도록 준비 바랍니다.
– 포스터 질의 및 응답시간에는 본인 발표 포스터 앞에 정위치 하여야 합니다.
– 포스터 발표시간이 종료된 이후는 종료 후 10분 이내에 부착물을 탈착 하여야 하며 15분 이후 부착된 발표물은 학회 진행 요원에 의하여 임의 탈착되어 임의 처리 됩니다.
– 포스터발표자 출석체크는 질의 및 응답시간에 게시된 부착물 여부로 출석을 체크합니다.

학생구두발표 및 학생포스터발표 우수상 시상안내

– 학생구두발표에 대해서 심사를 거친 후 우수 구두발표를 선정하여 시상을 하게 됩니다.
– 학생포스터발표에 대해서 심사를 거친 후 우수 포스터발표를 선정하여 시상을 하게 됩니다.

좌장위원, 포스터 심사위원 출석 확인

– 좌장위원 : 좌장위원은 해당 발표장에 20분전에 입실 해 주시고 발표장 운영 요원에게 출석을 확인 해 주시기 바랍니다.
– 포스터 심사위원: 포스터 심사위원은 1층 포스터 운영 부스로 오전11시까지 오셔서 출석을 확인 해 주시기 바랍니다.

행사 및 발표 진행 안내

무인 셀프 명찰출력 데스크 운영 안내
(참가자 명찰 셀프 출력)

총 4대의 셀프 등록대가 운영되며, 명찰 인쇄 후 재출력은 불가하오니 분실에 유의해 주시기 바랍니다.
(현장 지원 스태프가 상주 예정)

- 행사 전날(10월 28일, 화) 저녁에 참가 등록을 완료하신 분들께 QR코드 문자를 발송드립니다.
- 현장에서는 해당 QR코드 또는 등록자 휴대폰 번호를 이용하여 명찰을 출력하실 수 있습니다.

❖QR검색–메인 화면



❖QR검색–참가확인및프린트



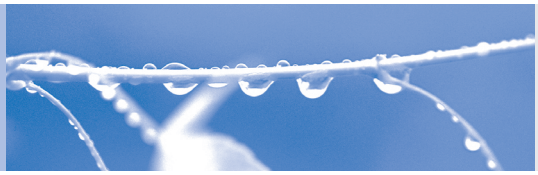
❖휴대폰검색–메인화면



❖휴대폰검색–참가확인 및 프린트



추계학술행사 행사 일정



10월 29일 수요일

시간	행사 일정	비고
08:30–18:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 셀프출력 데스크
08:30–17:00	아이돌봄 서비스 접수	1층 아이돌봄 지원
08:30–09:30	Coffee break	1층 다목적홀2, 열린홀
09:00–12:00	구두세션 발표	각 발표장
10:00–17:00	포스터세션 발표	1층 다목적홀2
09:00–18:00	전시부스 홍보 진행	1층 다목적홀2, 열린홀
11:30–13:00	점심시간	1층 다목적홀1
12:00–13:00	Beer party & Coffee break	1층 다목적홀2, 열린홀
13:00–13:50	포스터 세션 질의 및 응답시간	1층 다목적홀2
14:00–16:00	Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션1 질의 응답	1층 다목적홀2
14:00–18:00	구두세션 발표	각 발표장
18:30–20:00	학회상 수상자 및 역대회장 초청만찬	대광식당

10월 30일 목요일

시간	행사 일정	비고
08:30–18:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 셀프출력 데스크
08:30–17:00	아이돌봄 서비스 접수	1층 아이돌봄 지원
08:30–09:30	Coffee Break	1층 다목적홀2, 열린홀
09:00–12:00	구두세션 발표	각 발표장
09:00–18:00	전시부스 홍보 진행	1층 다목적홀2, 열린홀
10:00–17:00	포스터 세션 발표	1층 다목적홀2
11:30–13:00	점심시간	1층 다목적홀1
12:00–13:00	Beer party & Coffee break	1층 다목적홀2, 열린홀
12:30–13:00	경품 추첨	1층 열린홀
13:00–13:50	포스터 세션 질의 및 응답시간	3층 다목적홀2
14:00–16:00	Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션2 질의 응답	1층 다목적홀2
14:00–17:30	구두세션 발표	각 발표장
17:40–18:30	총회 및 학회상 시상식	1층 다목적홀1
18:30–20:00	총회 만찬	1층 다목적홀1

10월 31일 금요일

시간	행사 일정	비고
08:30–12:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 셀프출력 데스크
08:30–09:30	Coffee break	1층 다목적홀2,열린홀
09:00–12:00	구두세션 발표	각 발표장
09:00–12:20	포스터 세션 발표	1층 다목적홀2
09:00–13:00	전시부스 홍보 진행	1층 다목적홀2, 열린홀
11:30–12:20	포스터 세션 질의 및 응답시간	1층 다목적홀2
12:20–13:30	점심 식사	1층 다목적홀1
13:00–13:30	경품 추첨	1층 열린홀

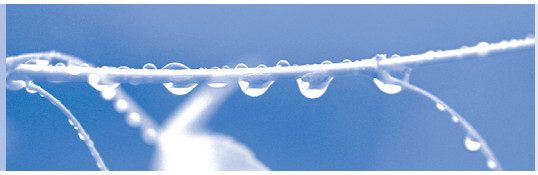
발표일정

10월 29일(수) 발표 일정

- 총 진행: 석현광, 이기안 학술부회장
- 구두 및 포스터세션 진행위원: 김영무, 심재혁 학술이사
- 학생구두발표 우수상 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 김영무, 심재혁 학술이사, 황병철, 손석수, 전태성 위원
- 튜토리얼 진행위원: 김영천 위원

발표장 / 시간	201/3	206/7	208	209/10	211	212/13	214	301	302/3	304	305/6	컨벤션1 (4층)	컨벤션2 (4층)	컨벤션3 (4층)
08:30 ~18:00	행사 등록													
09:00 ~12:00	수소재료	우주항공청 항공혁신임무 보증프로그램 항공용 소재·부품 R&D	집합조직 및 미세조직 제어를 통한 기능성소재 설계기술 심포지엄	고엔트로피 합금	고온재료	적층제조 및 분말 I	학생세션	알루미늄	폐자원 활용 친환경 마그네슘 제련 및 소재부품 응용 기술 심포지엄	타이타늄	철강A -제선,제강 환경, 에너지	튜토리얼 강좌	소프트소재 09:20–09:50 ——— N,H 웨어러블 소프트 소재 심포지엄 10:00–	비철금속
11:30 ~13:00	점심 식사(1층 다목적1)													
13:00 ~13:50	포스터 발표 질의 및 응답시간(1층 다목적2)													
14:00 ~18:00	제5회 수소경제 구현을 위한 수소 운송 및 저장 소재 심포지엄 —— 수소재료 17:00–18:00	초탄성 형상기억 타이타늄 합금 심포지엄	집합조직 및 미세조직 제어를 통한 기능성소재 설계기술 심포지엄 —— 집합조직 15:30–17:55	고엔트로피 합금	고온재료 —— 반도체 16:20–17:50	적층제조 및 분말 I —— 학회상 수상강연 16:30–17:45	학생세션	알루미늄 ——— 여대학원생 공학연구팀제 지원사업 심화과정 결과 발표회 16:10–18:20	폐자원 활용 친환경 마그네슘 제련 및 소재부품 응용 기술 심포지엄 —— 복합재료 16:00–17:30	제21회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노 구조 재료 분석 국제 심포지엄	철강A -제선,제강 환경, 에너지	나노융합 특별세션 14:00–14:25 ——— N,H 소재 융합연구의 혁신을 위한 AI-모델링-실험 연계 심포지엄 14:30–18:10	N,H-I 웨어러블 소프트 소재 심포지엄	첨단항공용 터보샤프트 엔진 핵심 부품소재 국산화 기술개발 심포지엄

발표일정



10월 30일(목) 발표일정

◈ 총 진행: 석현광, 이기안 학술부회장
◈ 구두 및 포스터세션 진행위원: 문준오, 박현순 학술이사
◈ 학생구두발표 우수상 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 문준오, 박현순 학술이사, 김명균, 김문조, 남대현 위원

발표장 / 시간	201/3	206/7	208	209/10	211	212/13	214	301	302/3	304	305/6	컨벤션1 (4층)	컨벤션2 (4층)	컨벤션3 (4층)
08:30 ~18:00	행사 등록													
09:00 ~12:00	에너지 생산 · 저장 · 이송 산업용 소재 가공기술 심포지엄	적층제조 및 분말 II	에너지 재료	제14회 타빈 소재 및 내열합금 심포지엄	전산재료 과학	여성수상자 기념 강연	재료 정책세션	인공지능 재료과학	제34회 피로 및 파괴 심포지엄	용접 및 접합	철강 -압연, 강종개발, 후처리	자원순환형 저탄소 알루미늄 심포지엄	N,H 스마트 바이오 인터페이스 소재 심포지엄	특별세션 Korea-Taiwan Global Session
11:30 ~13:00	점심 식사(1층 다목적1)													
13:00 ~13:50	포스터 발표 질의 및 응답시간(1층 다목적2)													
14:00 ~17:30	디스플레이용 발광 소재 및 소자의 광/전기적 특성 분석 심포지엄	적층제조 및 분말 II	마그네슘	제14회 타빈 소재 및 내열합금 심포지엄	전산재료 과학	대학원생 때 알았으면 좋았을 것들	재료 정책세션	마그넷	제34회 피로 및 파괴 심포지엄	용접 및 접합 ——— 소성가공 15:40-16:55	철강 -압연, 강종개발, 후처리	자원순환형 저탄소 알루미늄 심포지엄	N,H 스마트 바이오 인터페이스 소재 심포지엄	제102회 철강기술 심포지엄
17:40 ~18:30	총회 및 학회상 시상식(1층 다목적홀1) ※정회원 참석													
18:30 ~20:00	총회 만찬(1층 다목적홀1) ※정회원 참석													

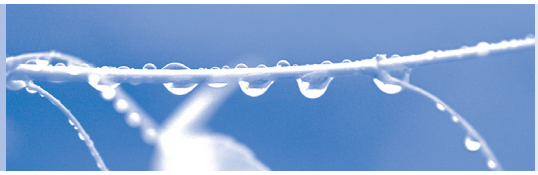
발표일정

10월 31일(금) 발표 일정

◈ 총 진행: 석현광, 이기안 학술부회장
◈ 구두세션 진행위원: 박원일, 정연식 학술이사
◈ 학생구두발표 우수상 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 박원일, 정연식 학술이사, 이준민, 류욱하, 조지웅 위원

발표장 / 시간	201/3	206/7	208	209/10	212/13	214	301	302/3	304	305/6
08:30 ~12:00	행사 등록									
09:00 ~12:00	항공재료	재료분석 ——— 열전 10:30–11:55	역학측정	재료강도	이차전지 원료소재	나노 융합소재	표면처리 09:00–10:00 —— 열처리 10:10–11:10	표면계면	상변태	생체재료
11:30 ~12:20	포스터 발표 질의 및 응답(1층 다목적홀2)									
12:20 ~13:30	점심 식사(1층 다목적홀1)									
13:00 ~13:30	경품 추첨(1층 열린홀)									

발표일정



포스터 발표 일정

*포스터 배치는 일정집 100페이지 참고(발표장: 1층 다목적홀2)

날짜 / 시간	10월 29일(수)	10월 30일(목)	날짜 / 시간	10월 31일(금)
발표시간 10:00 ~17:00 질의응답 13:00 ~13:50	P1 Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션1* P2 비철금속 P3 적층제조 및 분말 P4 고엔트로피합금 P5 알루미늄 P6 수소재료 P7 소프트소재 P8 철강–제선,제강,환경, 에너지 P9 고온재료 P10 타이타늄	P11 Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션2* P12 전산재료과학 P13 마그넷 P14 에너지재료 P15 디스플레이재료 P16 가공–용접 및 접합 P17 집합조직 P18 인공지능재료과학 P19 마그네슘 P20 복합재료 P21 철강–압연, 강종개발,후처리 P22 가공–소성가공 P23 항공재료 P24 가공–주조 및 응고 P25 반도체	발표시간 09:00 ~12:20 질의응답 11:30 ~12:20	P26 나노융합소재 P27 상변태 P28 역학측정 P29 재료분석 P30 생체재료 P31 재료강도 P32 가공–열처리 P33 가공–표면처리 P34 열전 P35 이차전지 원료소재 P36 표면계면

*Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션의 질의응답 시간은 14:00~16:00에 별도로 진행됩니다.

학생세션

10월 29일, Room 214호

시간	내용	발표자
좌장: 이태윤(고려대학교), 이진영(연세대학교)		
10:00–11:30	Computational Study of Nickel Based Catalysts for Efficient Ammonia Decomposition	Juyoung Han (Sogang University)
	Engineering Durable Low–Iridium Electrocatalysts: The Role of Ru and Mn in Barium Iridate for Acidic Oxygen Evolution Electrocatalysis	Hyeonsoo Wi (KAIST)
	Exploring SrSb2 as a Novel Thermoelectric Material & Its Intrinsically Low Lattice Thermal Conductivity	Kangkeon Lee (KAIST)
	Al/BNNB 복합재의 기계적, 열적 특성 향상 연구	이효정 (국민대학교)
	질화물 유도 자가 형성 공정을 이용한 Al/SiC/CNT 나노 하이브리드 복합재의 기계적 및 열적 특성 연구	이지원 (국민대학교)
	미래 배선 소재로써 코발트–플래트넘 나노와이어의 전기적 특성들	문지성 (고려대학교)
	In–situ 질화 반응으로 제조한 질화 알루미늄 강화 과공정 알루미늄 –실리콘 복합재료의 방열 특성	최정원 (부산대학교)
좌장: 이진영(연세대학교), 임진수랑(부산대학교)		
14:00–15:45	확산 모델을 활용한 다중 물리 제약 하의 진주층 복합재 역설계	변진언 (한국과학기술원)
	열역학 계산과 생성적 적대 신경망을 이용한 합금강의 비정상 결정립 성장 거동 연구	최정후 (전북대학교)
	DED 기반 In–house 실험과 기계학습을 연계한 알루미늄 합금 개발	김도원 (국민대학교)
	Active Learning Aided Discover of Zn–Al–Mg Coating for the Improvement of Hydrogen Embrittlement	Seunghyeon Kim (Yonsei University)
	VAE 기반 역설계 프레임워크를 이용한 고강도 고엔트로피 합금 설계	김민규 (한남대학교)
	배관 제조공정이 316L 스테인리스강 고압수소배관의 기계적 물성과 내수소취성에 미치는 영향	고재훈 (영남대학교)
	적층 제조 및 압연으로 제작된 SUS 316L의 수소취성에 미치는 미세조직의 영향	이성광 (한국생산기술연구원,경북대학교)
15:45–15:55	Break Time	
좌장: 한주연(국민대학교), 박진웅(한밭대학교)		
15:55–17:25	Optimization of H_2–HBI based EAF Process for Decarbonization	Yeongrae Cho (Yonsei University)
	디지털 이미지 상관 기법을 통한 고망간강의 극저온 인장 거동 분석	이선 (한국생산기술연구원,부산대학교)
	Ti–Nb–Al 합금의 기계적 밀링을 통한 열팽창 및 기계적 특성 연구	김수민 (국민대학교)
	Wire Arc Additive Manufacturing 공정으로 제조된 Al–Mg alloy의 미세조직 및 기계적 물성	박령주 (인하대학교)
	석출 제어를 통한 CoCrNi계 중엔트로피 합금의 국부 부식 저항성 향상 연구	강승연 (홍익대학교)
	Invar 합금의 어닐링 온도에 따른 물성 변화 분석	장준호 (홍익대학교)
17:25–18:00	네트워킹 및 시상식	

2025 WISET 공학연구팀제 심화과정 결과발표대회

10월 29일(수), Room 301호

진행 : 최현주(국민대학교)

시간	연구주제	책임연구자
16:10~16:15	개회사 및 인사말	
16:15~16:30	디지털 트윈 현미경 분석을 통한 고에너지 · 고출력밀도 슈퍼커패시터용 바이오매스 기반 질화탄소 전극재 개발	고인서 (단국대학교)
16:30~16:45	수계Zn 이온 배터리용 $ZnMn_2O_4$ 양극재에 Ni 도핑을 통한 Mn 용출 억제로 배터리 수명 향상	박혜선 (경북대학교)
16:45~17:00	소듐 이차전지 적용을 위한 소듐용 하이브리드 고분자 전해질 개발	신수빈 (강원대학교)
17:00~17:15	전기차 무선충전 효율 향상을 위한 고포화자화 비정질 연자성 합금 개발	이현경 (숙명여자대학교)
17:15~17:30	구성 엔트로피 증감에 따른 다중 비귀금속 기반 암모니아 보조 수전해 촉매 개발	전민서 (한국에너지공과대학교)
17:30~17:45	Cu–Ga–Si 합금의 적층 결함 에너지 조절을 통한 물성 최적화 및 특성 통합 맵 구축	조가은 (세종대학교)
17:45~18:00	후막 공정을 이용한 고체전해질 시트화 및 무음극 전고체전지용 집전체 개질 기술 개발	최슬기 (단국대학교)
18:00~18:15	Ni–rich 층상형 양극재의 열화기재 재해석을 통한 열폭주 차단 기술개발	허준영 (인천대학교)
18:15~18:20	사진촬영 및 정리	

NEW-HORIZON: 소재 융합연구의 혁신을 위한 AI-모델링-실험 연계 심포지엄

10월 29일(수), Room 컨벤션1

시간	제목	연사
좌장: 박범철 (고려대학교)		
14:30~14:55	Liquid Metal–Assisted CVD as a General Strategy for Unlocking Quasi–Stable Phases in Transition Metal Phosphides	한혁진 (성신여자대학교)
14:55~15:20	Atomistic modelling of electrochemical Ag exsolution from Ag–doped Li6PS5Cl	박해선 (중앙대학교)
15:20~15:45	Phase changing oxides for neuromorphic computing	박태준 (고려대학교)
15:45~13:55	휴식	
좌장: 장우선 (연세대학교)		
13:55~16:20	Coupling phase–field methods with CALPHAD stoichiometric and limited soluble phases	김동욱 (국민대학교)
16:20~16:45	Applications of Thermodynamic Modeling: From Pure Element to Multi–component Alloys	김동응 (한국생산기술연구원)
16:45~17:10	Computational Design and Analysis of DNA–based Nanostructures	이찬석 (한양대학교)
17:10~17:20	휴식	
좌장: 김용주 (고려대학교)		
17:20~17:45	Accelerating Structure Search with Machine Learning Interatomic Potentials	주세훈 (숙명여자대학교)
17:45~18:10	Adaptive In–Sensor Vision: Synaptic Phototransistors for Precise Contour Extraction	최문기 (UNIST)

NEW-HORIZON: 웨어러블 소프트소재 심포지엄

10월 29일(수), Room 컨벤션2

Time	Title	Presenters
Session1. Chair: Jeong-Yun Sun(Seoul National University)		
10:00~10:25	Molecularly Architected Soft Materials for Flexible and Wearable Batteries	Seok Ju Kang (UNIST)
10:25~10:50	Soft Liquid-Metal Neural Interfaces for Precision Neural Stimulation and Recording	Jang-Ung Park (Yonsei University)
10:50~11:15	Strategic Regulation of Mobile Ions Toward Soft Neuromorphic Computing Devices	Beomjin Jeong (Pusan National University)
11:15~11:40	Biomimetic Fully Soft Synaptic Electronics: From Devices to Integrated Systems	Hyunseok Sim (Pusan National University)
11:40~14:00	Break Time	
Session2. Chair: Beomjin Jeong (Pusan National University)		
14:00~14:25	Soft, Resorbable Bioelectronics	Suk-Won Hwang (Korea University)
14:25~14:50	Hybrid Skin Sensor Patch for Event-Driven Monitoring of Bio-Signals with Long-Term Skin Comfort	Hyunjung Yi (Korea Institute of Scienceand Technology)
14:50~15:15	Imaging sensors with soft materials for intelligent robotics	Young Min Song (KAIST)
15:15~15:40	Smart Wearable Devices for Anti-Biofouling Functions, Mechanical Computing, and Thermal Management	Bong Hoon Kim (DGIST)
15:40~16:05	Break Time	
Session2. Chair: Hyunseok Sim (Pusan National University)		
16:05~16:30	Emerging classes of organic luminescent materials for next-generation OLEDs	Hwan-Hee Cho (Yonsei University)
16:30~16:55	Unlocking the Power of Supramolecular Chemistry in Soft Materials Design	Jiheong Kang (Seoul National University)
16:55~17:20	Dynamic Colors on Soft Platforms: Emulsion-Driven Block Copolymer Photonics for Wearables	Kanghee Ku (UNIST)
17:20~17:45	Flexible and Stretchable Artificial Synapses for Wearable Sensory Neuromorphic Displays	Tae-Woo Lee (Seoul National University)

여성수상자 기념 강연

10월 30일(목), Room 212/3호

시간	주제	강연자
09:00~09:10	개회사 및 인사말	
KOFWST 여성수상자 기념강연		좌장: 장혜정(KIST), 김미소(KAIST)
09:10~09:30	주증기배관용 SA508 Gr.1A 저합금강의 미세조직 변화가 파괴저항성에 미치는 영향	현세미 (한국원자력연구원)
09:30~09:50	스피노달 강화기구 활용한 철계 중엔트로피 합금 강화	박효진 (포항공과대학교)
09:50~10:10	Flexible Transparent Conductive Electrodes with Enhanced Optoelectronic Performance via Electrodeposited Hierarchical Silver Networks	양은영 (한밭대학교)
10:10~10:20	휴식	
여성수상자 기념강연		좌장: 정은진 (RIST)
10:20~10:40	금속 부식 현상의 이해	하헌영 (한국재료연구원)
10:40~11:00	신재생 에너지를 활용한 탄소 저감 기술: 스마트 윈도우, 인공광합성, 탄자니아	이선영 (한양대학교)
Wiley 특강		좌장: 김미소 (KAIST)
11:00~12:00	From Submission to Success: An Advanced Perspective	주소연 (Advanced Materials, Wiley)

대학원생 때 알았으면 좋았을 것들

10월 30일, Room212/3호

시간	제목	연사
좌장: 정은진 (포항산업과학연구원)		
14:00–14:25	철강에서 배터리로	이준엽 (LG에너지솔루션)
14:25–14:50	포기하지 않는 사람에게 기회는 온다	이준민 (포항공과대학교)
14:50–15:15	보통 사람이 걸어가는 연구자의 길	김수민 (한국재료연구원)
15:15–15:40	다양한 경험으로 슬기로운 회사생활	송덕용 (한화에어로스페이스(주))
15:40–16:05	재료공학 연구 결과를 기술이전, 국제표준, 그리고 창업으로	김병준 (한국공학대학교)

재료정책 세션

10월 30일(목), Room 214호

세션 시간	내용
10:00~10:30	**재료정책 세션I – 재료명사 초청 강연** **좌장: 석현광 학술부회장** AI 대전환의 시대! 나노소재산업이 가야 할 길 조진우 전자기술연구원 연구부원장
10:40~12:00	**재료정책 세션II – 대한민국 산업 대전환을 위한 산업기술 R&D 혁신 전략과 금속재료 분야의 미래** **좌장: 이기안 학술부회장** 10:40~11:00 제8차 산업기술혁신계획(2024~2028)의 비전과 전략 이헌구 수석전문위원 11:00~11:20 2026년 산업통상자원부 R&D 투자 방향 이지욱 수석전문위원 11:20~11:40 초격차 프로젝트 추진 현황과 산업기술 혁신정책 김무진 수석전문위원 11:40~12:00 금속재료 분야 R&D 전략 및 사업 기획 방향 이광석 금속PD
14:00~16:00	**재료정책 세션III – 과기정통부 국가소재연구개발 정책** **좌장: 송재용 교수(포항공대)** 14:00~14:20 과기정통부 국가소재연구개발정책 국가전략핵심소재 연구과제 발표 14:20~14:35 항공용 고비강도 Al–Zn–Mg–Cu 알루미늄 합금 판재 제조기술 (김형욱, 한국재료연구원) 14:35~14:50 차세대 극한 스케일링 반도체 배선 소재 기술개발(김형준, 한국과학기술연구원) 14:50~15:05 3차원 나노구조 인자를 활용한 재료 신물성 탐색 (전석우, 고려대학교) 15:10~15:50 과기정통부 연구현장 포럼 주최: 과학기술정보통신부 주관: 대한금속 · 재료학회/한국연구재단/소재혁신선도본부(한국재료연구원)
16:00~16:30	**재료정책 세션IV– 성과확산 세션** **좌장 : 석현광 학술부회장** 실패의 경험으로부터 배우는 기능성 소재의 상용화 전략 송용설 ㈜아모그린텍

NEW-HORIZON: 스마트 바이오 인터페이스 소재 심포지엄

10월 30일(목), Room 컨벤션2

시간	제목	연사
좌장: 이준민 (POSTECH)		
10:00~10:30	BioNano Engineering for Interventional Medicine	박정훈 (울산대학교 의과대학)
10:30~11:00	Engineering Electrochemical Biointerfaces from Atoms to Devices	박지민 (KAIST)
11:00~11:30	DNA–Functionalized Hydrogels for Adaptive and Self–Replicating Biomaterials	최영재 (GIST)
11:30~14:00	Lunch Time	
좌장: 이주혁 (DGIST)		
14:00~14:30	골 조직 재생용 줄기세포 분화 제어를 위한 대면적 콜라젠 배향제어 연구	옥명렬 (KIST)
14:30~15:00	Fiber Electronics with Eco–friendly, Biodegradable for Healthcare Purpose	이재홍 (DGIST)
15:00~15:30	DNApatite: An Elastic Apatite with Sub–Nanometer Scale Organo–Inorganic Structures	이정헌 (성균관대학교)
15:30~16:00	Break Time	
좌장: 정현도 (한양대학교)		
16:00~16:30	Laser Microfabrication Enabling Human–Synchronized Bioelectronic Devices	전호정 (KIST)
16:30~17:00	Polypyrrole–based Immune–Compatible Implantable Bioelectrodes	이재영 (GIST)
17:00~17:30	Advanced 3D Printing Technologies for Bioceramics with Applications in Tissue Engineering	윤희숙 (한국재료연구원)

Korea-Taiwan Global Session

Thursday, October 30, Room Convention3

Time	Title	Presenters
Chair: Moon Jo Kim (Korea Institute of Industrial Technology)		
9:00~9:25	Spin-orbit torque devices and their applications for neuromorphic computing	Chih-Huang Lai (National Tsing Hua University)
09:25~09:50	Generative Discovery of Ferroelectrics with a Diffusion Model	Byung Chul Yeo (Pukyong National University)
09:50~10:15	Active learning approach in designing entropy alloy nanocatalyst	Yong Joo Kim (Korea University)
Chair: YongJoo Kim (Korea University)		
10:25~10:50	Synchrotron x-ray-based combinatorial stoichiometry & microstructure high-throughput machine learning-assisted prediction & validation of a high-entropy-alloy hardness mapping	E-Wen Huang (National Yang Ming Chiao Tung University)
10:50~11:15	Fundamental Mechanisms of Discontinuous Deformation in Metals at Ultra-cryogenic Temperature	Soo Yeol Lee (Chungnam National University)
11:15~11:40	Data-Driven Prediction of Hardness and Modulus in Additively Manufactured Stainless Steel Using EBSD-Nanoindentation Mapping	Moon-Jo Kim (Korea Institute of Industrial Technology)

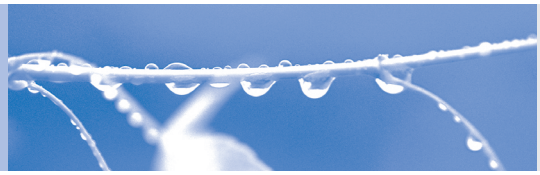
제102회 철강기술 심포지엄

10월 30일(목), Room 컨벤션3

시간	내용	연사
14:00~14:05	개회사	정유동 연구개발본부장 (현대제철)
14:05~14:10	환영사	김성연 원장 (포스코 기술연구원 / 철강분과위원회 위원장)
Session Ⅰ. 글로벌 환경 변화와 철강산업의 전략적 대응 필요성		좌장: 권태우 상무 (현대제철)
14:10~14:35	위기 아니 기회 : 산학연정정이 함께 준비하는 한국 철강의 미래	민동준 교수 (연세대학교 / 철강산업 경쟁력 강화 TF 공동위원장)
14:35~15:00	글로벌 산업환경 변화와 철강산업의 대응전략	정은미 본부장 (산업연구원)
15:00~15:25	친환경-미래산업용 철강 원료-공정-제품 R&D 방향	이광석 PD (한국산업기술기획평가원(KEIT))
15:25~15:40	Coffee Break	
Session Ⅱ. 탄소중립 대응 저탄소 체제 전환을 위한 Bridge 기술 동향		좌장: 태순재 상무 (현대제철)
15:40~16:05	[포스코] HyREX 기술개발 현황	신명균 상무 (포스코 미래철강연구소)
16:05~16:30	[현대제철] 저탄소 공정 기술 및 제품 개발 현황 (미국 전기로 제철소 등)	김용희 상무 (현대제철 공정연구센터)
16:30 ~16:55	Research collaboration for sustainable green steelmaking processes: Reunion from BF to EAF	박주현 교수 (한양대학교)
Session Ⅲ. [패널 토론] 철강산업의 지속가능한 미래를 위한 논의		좌장: 이준호 교수 (고려대학교)
16:55~17:30	기술 · 정책 · 시장 변화 속 철강산업의 대응과 협력 방향	민동준/정은미/이광석/신명균/김용희/박주현 ※ 패널 토론 참석자는 추후 변경될 수 있습니다.

ORAL SESSION I

10월 29일



수소재료

위원장 : 강남현(부산대학교)
총무간사 : 김영민(한국재료연구원),
박형기(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교),
천동원(포항공과대학교)
Room 2층 201/3, 10월 29일

좌장 : 하태준(한국생산기술연구원)

수소1-1 | 09:00

Designing Multifunctional Interfaces of Interstitial Metal Hydrides for Enhanced Hydrogen Storage in Low-Purity Environments

고진석(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kouji Sakaki(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)), 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

수소1-2 | 09:15

Coating-Driven Control of Hydrogen Storage Performance and Structural Stability in Nanoporous Mg

조용준, 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

수소1-3 | 09:30

금속수소화물 압축기용 C14 Laves상 합금의 기계학습 기반 설계 및 수소흡 · 방출 특성의 조성/온도 의존성

이도성(한국과학기술연구원), 황규빈(한국과학기술연구원, 성균관대학교), 조영환(한국과학기술연구원), 심재혁(한국과학기술연구원, 성균관대학교), 이영수*(한국과학기술연구원)

수소1-4 | 09:45

HESS 용 저압 수소 저장을 위한 TiFe 기반 수소저장합금 성분계 탐색

곽륜호, 정소진, 박성민, 박태윤(한국생산기술연구원, 고려대학교), 손석수*(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

수소1-5 | 10:00

Explainable AI를 활용한 고엔트로피 수소저장합금 설계 및 수소 저장 거동 분석

하효정, 이정아(포항공과대학교), Yusuke Ohashi(Tohoku university), 구강희(포항공과대학교), Shin-ich Orimo(Tohoku university), 김형섭*(포항공과대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 김혜진(한국공학대학교)

수소2-1 | 10:25 **Canceled**

A Study on the Alloying Effects on the Hydrogen Embrittlement Characteristics of Ferrous Alloys

Sokyun Hong , Yoonmoon Chung, Jeongho Han*(Hanyang University)

수소2-2 | 10:40

Cr-Mo계 저합금강으로 제작된 고압 수소용기의 위치별 수소취성 평가

배동화, 이영광, 김학현, 이창희, 오윤석, 이정훈*(포항산업과학연구원)

수소2-3 | 10:55

수소 인프라용 소재 경량화를 위한 고강도 오스테나이트 스테인리스강의 내수소 취성 평가에 관한 연구

김동호(세아창원특수강), 배동화, 정수진(포항산업과학연구원), 이재호(한국재료연구원), 이권영, 김종호, 채민석*(세아창원특수강), 오선근*(한국재료연구원), 이정훈*(포항산업과학연구원)

수소2-4 | 11:10

중성자 회절을 이용한 304L 스테인리스강의 수소에 의한 격자구조 변형 이방성 관찰

문병록, 성백석, 최동현, 남지민, 박정빈(부산대학교), 우완측, 채호병(한국원자력연구원), 이승건, 박준호(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)

수소2-5 | 11:25

Nb 및 Ti 복합 첨가에 따른 템퍼드 마르텐사이트강의 MC 탄화물 석출 거동과 내수소취성 변화

김상규, 황예나(서울과학기술대학교), 고원석(고려대학교), 황병철*(서울과학기술대학교)

Break Time | 11:40

좌장 : 이동현(충남대학교)

수소3-1 | 17:00

알칼라인 수전해용 Ni 촉매의 Oxygen vacancy 함량에 따른 OER 거동

차은빈(한국생산기술연구원, 고려대학교), 서보성, 김동회(한국생산기술연구원), 박광석*(고려대학교)

수소3-2 | 17:15

FCC와 HCP상의 이중상 FeMnCoCr계 고엔트로피합금의 역학거동에 미치는 수소 영향 비교 연구

정지윤, 정현, 정재영, 안윤희(충남대학교), 최인철(금오공과대학교), 이동현*(충남대학교)

수소3-3 | 17:30

V계 수소저장합금에 Zr, Nb이 미치는 영향

홍성찬, 석경찬, 강규병, 백민아(고려대학교, 한국생산기술연구원), 최병철(한국생산기술연구원, 강릉원주대학교), 김주호, 나태욱*(한국생산기술연구원), 이준호*(고려대학교)

수소3-4 | 17:45

TiB 석출물에 의한 Ti 합금의 수소 취성 및 초극저온 거동 변화

정현, 정지윤, 이근형, 이수열, 이동현*(충남대학교)

제5회 수소경제 구현을 위한 수소 운송 및 저장 소재 심포지엄

위원장 : 강남현(부산대학교)
실무위원 : 김영민(한국재료연구원), 박형기(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 천동원(포항공과대학교)
Room 2층 201/3, 10월 29일

좌장 : 강남현(부산대학교)

수소경제1-1 | 14:00 초청강연
수소용 금속소재 국산화를 위한 기반 구축 및 시험/평가 기술개발 방향
이정훈*, 이창희, 강성, 박정재, 배동화, 정수진(포항산업과학연구원)

수소경제1-2 | 14:20 초청강연
High-pressure hydrogen production technology based on solid hydrogen storage material ($NaBH_4$)
Felicia Alvita Theda, Chan Kim, Yongmin Kim, Hyangsoo Jeong*(Korea Institute of Science , Technology)

수소경제1-3 | 14:40 초청강연
에너지 산업 현장의 수소 재료 신뢰성과 기술 과제
최원석*(SK이노베이션)

수소경제1-4 | 15:00 초청강연
오스테나이트계 스테인리스강의 초극저온 기계적 거동 및 변형 메커니즘 분석
심상훈, 김영균*, 나영상*(한국재료연구원)

Break Time | 15:20

좌장 : 심재혁(KIST)

수소경제2-1 | 15:30 초청강연
금속 합금 내 수소 포획 거동의 원자 단위 분석
김세호*, 이창기, 이원형(고려대학교)

수소경제2-2 | 15:50 초청강연
2GPa급 템퍼드 마르텐사이트 조직강의 수소취성에 미치는 미세 탄화물의 영향
전영수*, 김관호, 박세원(포스코), 이종수(POSTECH)

수소경제2-3 | 16:10 초청강연
Entropy-Engineered Oxides for Next-Generation Ceramic Fuel Cells
Lee Kang Taek*(KAIST)

수소경제2-4 | 16:30 초청강연
Mg-xNi 합금의 화학조성 및 공정조건이 미세조직과 수소저장 성능에 미치는 영향
김영민*, 서병찬, 문명훈(한국재료연구원), 고원석(인하대학교), 박형기(한국생산기술연구원)

우주항공청 항공혁신임무보증프로그램 항공용 소재 · 부품 R&D

위원장 : 이홍철(한화에어로스페이스)
실무위원 : 권용남(한국재료연구원)
Room 2층 206/7, 10월 29일

좌장 : 박현일(한국재료연구원)

우주1-1 | 09:00 초청강연
우주항공청 항공혁신임무보증프로그램 소개
최미진, 박형욱, 이학봉, 홍범기, 김현빈, 박종현(우주항공청)

우주1-2 | 09:25 초청강연
항공소재 자립화를 위한 소재 물성데이터베이스 개발
권용남*, 박현일(한국재료연구원), 정유인(한국항공우주산업)

우주1-3 | 09:50 초청강연
항공용 알루미늄 합금의 데이터베이스 구축 및 설계허용치 도출
마태동*, 손진일, 김효진(테스코(주))

Break Time | 10:15

좌장 : 강성규(경상국립대학교)

우주2-1 | 10:25 초청강연
신항공산업 생태계 구축을 위한 친환경 첨단 소재/부품 개발
김현빈(Korea Aerospace Administration), 이헌수(Korea Institute of Science and Technology), 송운형(Korean Airlines)

우주2-2 | 10:50 초청강연
우주 · 항공용 고온소재 IN738LC의 국산화 개발
민기득*((주)피레타), 송영석((주)세아창원특수강), 주영규(한화에어로스페이스(주)), 이재현(창원대학교), 최현선((주)피레타)

우주2-3 | 11:15 초청강연
화물기 P2F용 동체외곽구조물의 드릴링공정 로봇자동화 기술개발
강갑훈*(Kencoa Aerospace), 신기수(Anytoy), 김성현(KITECH)

초탄성 형상기억 타이타늄합금 심포지엄

위원장: 홍재근(한국재료연구원)
실무위원: 이현석(포항산업과학연구원), 김경민(세아창원특수강), 이제인(부산대학교), 이상원(한국재료연구원)
Room 2층 206/7, 10월 29일

좌장 : 최미선(RIST)

초탄성1-1 | 14:00 초청강연
초탄성 저 탄성계수 Ti 합금 개발(Development of superelastic Ti based alloys with low elastic modulus)
남태현*(경상국립대학교)

초탄성1-2 | 14:30 초청강연
Recovery stress of cold-drawn superelastic NiTi SMA wires
Eunsoo Choi, Seong-Jun Park, Jaesung Byung, Min-Kyung Jang, Kiyeon Kim(Hongik University)

초탄성1-3 | 14:50 초청강연

How to control R-phase transformation temperature in Ti-Ni-(X) alloys

Kim Jaeil*(Dong-A University)

초탄성1-4 | 15:10 초청강연

3D 프린팅용 Ti합금 구형분말 제조기술 개발 및 3D 프린팅 공정 적용 연구

박지환*, 강민, 장지훈, 정원기((주)엠티아이지), 남태현, 임진환(경상대학교), 박상오, 정시영((주)디오)

Break Time | 15:30

좌장 : 김재일(동아대학교)

초탄성2-1 | 15:50 초청강연

저 변형량에서 제조된 나노결정립 Ni-Ti 형상기억 합금의 초탄성 특성 향상

박찬희*, 염종택, 홍재근(한국재료연구원), 남태현(경상대학교)

초탄성2-2 | 16:10 초청강연

생체적합형 티타늄 패키지 및 세라믹 피드스루 접합 · 밀폐 기술 개발

최미선*, 김종호(포항산업과학연구원)

초탄성2-3 | 16:30 초청강연

Ti-Zr based 형상기억합금의 특성 연구

김경민*(세아창원특수강)

초탄성2-4 | 16:50 초청강연

레이저 기반 적층제조를 활용한 생체 타이타늄 합금 제조

김정기*, 남태현, 오정석(경상국립대학교), 이태경(부산대학교)

초탄성2-5 | 17:10 초청강연

항공 규격 만족 Ti-6Al-4V 합금 판재 제조 기술 개발

이현석, 최미선(포항산업과학연구원)

집합조직 및 미세조직 제어를 통한 기능성소재 설계기술 심포지엄

위원장: 김동익(한국과학기술연구원)
실무위원: 전태성(인천대학교)
Room 2층 208, 10월 29일

좌장 : 김동익(한국과학기술연구원)

집합미세1-1 | 10:00 초청강연

Discrete Dislocation Density-Based Modeling of Anisotropic Tensile Behavior in Aluminum Single Crystals

Choi Shi-Hoon*(Sunchon National University)

집합미세1-2 | 10:25 초청강연

이차전지 및 반도체 패키지용 미세조직 제어 구리 전해도금 기술

박현*, 신한균, 오은기, 김정한*(동아대학교)

집합미세1-3 | 10:50 초청강연

마그네슘 합금의 변형기구 구동에 미치는 Al, Zn의 영향

이상봉*(금오공과대학교), 김영민(한국재료연구원), Gaoming Zhu(Institute of Materials and Process, Helmholtz-Zentrum Hereon), Ulrich Lienert(Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)), Dietmar Letzig(Institute of Materials and Process, Helmholtz-Zentrum Hereon)

집합미세1-4 | 11:15 초청강연

차세대 금속 복합재 제조공정을 활용한 경량 · 다기능성 Mg-Ti 복합재 개발

박성혁*(경북대학교), 장지은(한국생산기술연구원), 박보현, 윤현준, 조수린(경북대학교), 주수현(단국대학교)

집합미세1-5 | 11:40 초청강연

Surface Engineered HDH Ti Powders and In Situ Alloying Strategies for L-PBF Process

이빈*, 김욱주, 김세훈, 강태후, 이종익, 정상희, 한지(경희대학교 신소재공학과)

좌장 : 이상봉(국립금오공과대학교)

집합미세2-1 | 14:00 초청강연

결정립계 침전물을 용용한 용융염 내부식성 구조재료 설계

김상태*(한양대학교)

집합미세2-2 | 14:25 초청강연

Electric Current as a Microstructural Pathway Designer in Multi-Phase Alloys

Jeong Kyeongjae*(Sungkyunkwan University), Lee Siwhan, Kim Yijae, Han Heung Nam*(Seoul National University)

집합미세2-3 | 14:50 초청강연

금속 내 수소화물 형성 과정에서 모상 미세구조 및 결정방위의 영향 연구

김진우*(한국과학기술연구원), 전초록(한국과학기술연구원, 서울대학교), 강재동(한국과학기술연구원), 황인우(한국과학기술연구원, 서울과학기술대학교), 김태엽(한국과학기술연구원, 서울대학교), 박은수(서울대학교), 정원석, 허태욱(로렌스리버모어국립연구소)

집합조직

위원장: 김동익(한국과학기술연구원)
총무간사: 전태성(인천대학교)
Room 2층 208, 10월 29일

좌장 : 전태성(인천대학교)

집합1-1 | 15:30

Toward Universal Microstructure Segmentation: A Hybrid Framework for Robust, Cross-Material Phase Identification

Khushahal Thool, Preetham Alluri, Seo Wi-Geol, Shi-Hoon Choi*(Sunchon National University)

집합1-2 | 15:45

결정소성 유한요소법과 EBSD를 이용한 상업적 순수 타이타늄 판재의 이방성 및 항복점 현상에 대한 분석

김경표(부산대학교), 강주희((주)웨이브센스), 오창석(한국재료연구원), 김지훈*(부산대학교)

집합1-3 | 16:00

Machine Learning-Integrated CPFEM for Predicting Deformation and Texture

Murugesan Mohanraj, Hwanho Kim, Hyo Sun Jang, Geon Young Lee, Jae Hyung Cho*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))

집합1-4 | 16:15

Fabrication and Negative Photoresponsive Properties of WO_3/WS_2 Core/Shell Heterostructures

Song Yu-Jin, Jung Han Kim*(Dong-A University)

집합1-5 | 16:30

Siliconizing Process Optimization for Mitigating Molten Chloride Corrosion in SS316L

Kim Minho, Ham Seongwon, Kim Sangtae*(한양대학교)

Break Time | 16:45

좌장 : 전종배(동아대학교)

집합2-1 | 16:55

Reverse 알고리즘 기반 응력-변형률 곡선을 활용한 DP980 압연 해석 및 인공지능 기반 변형거동 예측

서위걸, 쿠샬 툴, 최시훈*(국립순천대학교)

집합2-2 | 17:10

SLM 적층제조 17-4PH 소재의 LASER Scan speed에 따른 수소 취화 거동 분석

김대현(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 한성희, 김보규, 강민성(국립강릉원주대학교), 최인석(서울대학교), 신중호*(국립강릉원주대학교)

집합2-3 | 17:25

Integrating Crystallographic Texture into Monte Carlo Simulations of Additively Manufactured Microstructure

ROHIT RAJ, Shi-Hoon Choi*(Sunchon National University)

집합2-4 | 17:40

Effects of annealing parameters on texture development in a high-Si steel

kim jimin(UNIST), yoo seonghyeon, ahn yongkeun, kang chun ku(Hyundai steel), lee sukbin*(UNIST)

고엔트로피합금

위원장: 류호진(한국과학기술원)
총무간사: 설재복(국민대학교), 손석수(고려대학교)
Room 2층 209/10, 10월 29일

좌장 : 설재복(국민대학교)

고엔1-1 | 09:00

고엔트로피합금의 고속 변형 조건에서의 동적 거동 분석

이소영, 김현수, 김윤호, 박은수*(서울대학교)

고엔1-2 | 09:15

나노 쌍정 엔지니어링 전략을 통한 고엔트로피합금의 우수한 기계적 물성-수소 취성 저항성 획득

최주미, 김래언, 구본우, 이호형, 이시우, 이도원, Renhao Wu(포항공과대학교), 문종언(공주대학교), 서동우, 김형섭*(포항공과대학교)

고엔1-3 | 09:30

Enhancing Cryogenic Fatigue Resistance through Cr Addition in Fe-Co-V-Based BCC Alloys

Shin Seonho(Kookmin University), Haeum Park(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Kisub Cho(Kookmin University), Seoksu Sohn(Korea University), Hyokyung Sung*(Kookmin University)

고엔1-4 | 09:45

고용강화 효과를 활용한 합금 설계

정주리, 석진우, 김종태, 이미혜, 한슬기, 한준희, 강이승*(한국생산기술연구원)

고엔1-5 | 10:00

중엔트로피 VCoNi 합금의 초저온 기계적 물성 및 불연속 소성 거동 연구

장태진, 성민영, 이건직, 이하훈(고려대학교), 이준호(한국재료연구원), Alireza Zargaran(포항공과대학교), 김영균(한국재료연구원), Zhiming Li(Central South University), 나영상*(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교)

고엔1-6 | 10:15

Cr-rich CrFeCoNi계 고엔트로피합금의 상변태 거동 및 형상기억특성

임진수랑, 정휘윤, 최지환, 이제인*(부산대학교)

Break Time | 10:30

좌장 : 최인철(국립금오공과대학교)

고엔2-1 | 10:40

탄소 첨가 $L1_2$ 석출강화 철계 다성분계 합금의 미세조직 및 기계적 물성

윤주희, 김진경*(한양대학교)

고엔2-2 | 10:55

철계 $L1_2$ 석출강화 합금의 $L1_2$ 석출물 크기에 따른 저온 변형 메커니즘 규명

문광현, 김진경*(한양대학교)

고엔2-3 | 11:10

B2-$L1_2$ 석출상 제어를 통한 코어-쉘 구조의 Ni 기반 고엔트로피합금

박효진, 김선규, 손수정, 이정아, 하효정, 이동화, Renhao Wu, 김형섭*(포항공과대학교)

고엔2-4 | 11:25

$L1_2$ 석출 강화를 통한 Co-Ni-Mo-Al 합금의 4.2 K 초저온 초고강도 및 기계적 안정성 향상

성민영, 장태진, 송상윤, 이창기(고려대학교), 이준호, 김영균(한국재료연구원), 오상호, 이병주, Alireza Zargaran(포항공과대학교), 김세호(고려대학교), 나영상(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교)

고엔2-5 | 11:40

Nb 및 Ta 첨가량에 따른 준안정 내열 고엔트로피 합금의 기계적 거동 연구

정윤종, 박강현, 이강진(공주대학교), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(공주대학교)

고엔2-6 | 11:55

$L2_1$-Ni^2TiAl 석출상으로 강화된 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 크리프 물성 연구

박강현, 최순원, 권민철, 박상민(공주대학교), 심상훈, 임가람(한국재료연구원), 송기안*(공주대학교)

좌장 : 문종언(국립공주대학교)

고엔3-1 | 14:00

Suppressing interfacial cracking in FCC/B2 dual-phase high-entropy alloys for enhanced high-temperature mechanical properties

Qingfeng Wu*, Kim Hyoung Seop*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

고엔3-2 | 14:15

Ti_2AlMo(B2)에서 A2+B2 구조 형성에 미치는 BCC(A2) 원소 첨가의 영향

김기범, Yamabe-Mitarai Yoko*(도쿄대학교)

고엔3-3 | 14:30

Enhanced Mechanical Performance of Fe-Ni-Rich Complex Concentrated Alloy via Precipitation Hardening Approaches

Vikas Shivam*, Dong Whan KIM, Jae Kwon Kim , Eun Soo Park(Seoul National University)

고엔3-4 | 14:45

스피노달 분해를 통한 계층적 헤테로구조를 나타내는 immiscible 고엔트로피합금

이시우, 박효진, 김래언, 김재훈, 이도원, 이재흥, 허윤욱, 김형섭*(포항공과대학교)

고엔3-5 | 15:00

공간적 준안정성 제어를 통한 철계 중엔트로피 합금의 TRIP 거동 향상

손수정, 하효정, 하수빈, 이지수, 이시우, 구본우, 이병주, 김형섭*(포항공과대학교)

Break Time | 15:15

좌장 : 이제인(부산대학교)

고엔4-1 | 15:25

Ti-6Al-4V와 AlTiCrVFe 경량 고엔트로피 합금 하이브리드 구조체의 열처리 제어를 통한 계면 정합성 및 기계적 물성 향상 연구

이용건, 송은효, 윤교식, 안병민*(아주대학교)

고엔4-2 | 15:40

Hf-Ta-Ti-V-Zr 내열 고엔트로피 합금의 격자 왜곡에 따른 전위 거동의 상관 관계 분석

이강진, 박강현, 정윤종(공주대학교), 한준희(생산기술연구원), 이찬호(The University of Auburn), 피터 리아우(The University of Tennessee), 송기안*(공주대학교)

고엔4-3 | 15:55

온간 다중공형압연 이후 소둔된 CrMnFeCoNi 고엔트로피 합금의 미세조직과 기계적 특성

최지환, 정휘윤, 임진수랑, 이욱진, 이제인*(부산대학교)

고엔4-4 | 16:10

분무 건조 공정 조건에 따른 Co_3O_4-Cr_2O_3-Fe_2O_3-NiO 혼합 분말 구형 응집체의 형태학적 특성 변화에 대한 연구

김민종, 임태협, 안종혁, 넬선, 이강현, 이선영*(한양대학교)

고엔4-5 | 16:25

Effect of Particle Size Distribution and soft deformation process in mitigating gravity induced distortion of CoCrFeNi 3D parts printed via Material Extrusion (MEX)

Bayi Nelson, Taehyeob Im, Minjong Kim, Jonghyeok Ahn, Kanghyun Lee, Caroline Sunyong Lee*(Hanyang Univ.)

고온재료

위원장: 서성문(한국재료연구원)
총무간사: 김진우(KIST), 전종배(동아대학교), 윤대원(한국재료연구원)
Room 2층 211, 10월 29일

좌장 : 윤대원(한국재료연구원)

고온1-1 | 09:00

Characterization of microstructure in primary creep stage of Ni-based single crystal superalloy

Hyeonbeen Noh(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Sangwon Lee, Jeonghyeon Do, Joong Eun Jung, Baig Gyu Choi, Insu Kim(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Pyuck-Pa Choi*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

고온1-2 | 09:15

용체화 열처리 공정에서 냉각 조건이 단결정 초내열합금의 크리프 특성에 미치는 영향

김봉철(한국재료연구원, 동아대학교), 이상원, 정중은, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 도정현*(한국재료연구원)

고온1-3 | 09:30

DED 공정으로 제조된 IN738LC 초내열합금의 열처리 조건에 따른 크리프 특성 및 이방성 평가

안동혁(한국재료연구원, 부산대학교), 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문(한국재료연구원), 최윤석(부산대학교), 김정기(경상국립대학교), 강현기(터보파워텍), 이형수*(한국재료연구원)

고온1-4 | 09:45

Multi-Scale Alloy Design of Cost-Reduced and Weldable Ni-Based Superalloy and its Deformation Behavior

Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Won Suk Ko(Inha University), Byoung Soo Lee, Hae Jin Lee(KITECH)

고온1-5 | 10:00

Effect of initial microstructure on DRX behavior during creep deformation of Nimonic 80A superalloys

Shaik Mahammad Ali*, Sangwon Lee, Hyungsoo Lee, Dae Won Yun, Young-Soo Yoo, Seong-Moon Seo, Hi Won Jeong(Aerospace Materials Research Center, Korea Institute of Materials Science)

Break Time | 10:15

좌장 : 이형수(한국재료연구원)

고온2-1 | 10:25

브레이즈 코팅을 적용한 Silver Alloy Seals 개발

이탁영, 강희재, 손명숙, 김영무, 손인수*(한화에어로스페이스), 김지웅(숭실대학교)

고온2-2 | 10:40

오스테나이트계 스테인리스강의 고온 Portevin-Le Chatelier 효과에 미치는 온도 구배 영향 조사

이승용*, 김용남, 권준범(한국재료연구원)

고온2-3 | 10:55

방전플라즈마소결을 이용한 Mo-10Nb 스퍼터링 타겟 제조 및 특성평가

김건, 오병헌, 윤지오, 이동주*(충북대학교)

고온2-4 | 11:10

Ti 함량에 따른 9Cr-1W 저방사강의 미세조직 및 크리프 거동에 미치는 영향

최단웅(한국재료연구원, 부산대학교), 유지성, 김치원, 이창훈, 박형권(한국재료연구원), 최윤석*(부산대학교)

좌장 : 이상원(한국재료연구원)

고온3-1 | 14:00

전산유체역학 및 응고계면 안정성 모델 기반 인코넬 718 적층재의 주상정-등축정 천이기구 규명

조덕현, 양희평, 이학성(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

고온3-2 | 14:15

B, Zr, Hf 첨가에 따른 DS CM247L 합금의 용체화 열처리 시 수지상간 Incipient Melting 형성과 상변화 거동

여준기(한국재료연구원, 부산대학교), 서성문*, 이형수, 윤대원, 정희원, 유영수(한국재료연구원), 강남현(부산대학교)

고온3-3 | 14:30

Ni-Cr 초내열 합금에서 Mg 탈산이 개재물의 진화 거동에 미치는 영향

장민관, 박주현*(한양대학교), 정세지, 김지원(세아창원특수강)

고온3-4 | 14:45

니켈 클래딩 STS316H 스테인리스강의 용융염 원자로 적용을 위한 NaCl－$MgCl_2$ 환경 고온부식 특성

이원찬, 김정한*, 남승주(국립한밭대학교), 윤지현(한국원자력연구원)

반도체

위원장: 최창환(한양대학교)
총무간사: 이기영(홍익대학교)
Room 2층 211, 10월 29일

좌장 : 전나리(충남대학교)

반도체1-1 | 16:00

Prediction of the microstructural evolution occurring during a metallic thin film deposition using a real time-length scaled Monte Carlo Potts model

Lee Jihye, Lee Sukbin*(울산과학기술원)

반도체1-2 | 16:15

NbF_5 및 $TiCl_4$ 전구체를 활용한 HfO_2와 ZrO_2의 원자층 식각 공정 개발

최보윤, 제우디 게타세우 물루알렘, 신혜영, 전나리*(충남대학교)

반도체1-3 | 16:30

ENHANCED SPECTRAL UTILIZATION IN INGAAS THERMOPHOTOVOLTAIC DEVICES VIA COLD-WELDED AU BACK-REFLECTORS WITH AIR GAPS

Chu Young, Yongmin Baek, lee yun seog*(서울대학교)

반도체1-4 | 16:45

Finite Element Analysis of Heat Transfer in System-on-Chip: Experimental Validation and Optimized Graph Convolution Networks for Acceleration

천민준(Hanbat National University), 김성진(Pohang University of Science and Technology), 이정원, 강인수(Nepes Co.), 강성모(Asicland Co., Ltd), 오용준(Hanbat National University), 송재용(Pohang University of Science and Technology), 조훈휘*(Hanbat National University)

반도체1-5 | 17:00

반도체 패키징용 구리-구리 접합의 접합강도 향상을 위한 표면처리 기법 연구

안성민, 김미림, 김정한*(국립한밭대학교)

반도체1-6 | 17:15

일방향 다공성 구리를 이용한 DBC 접합계면 신뢰성 향상

최상규(인하대학교), 김상욱(로터스 머터리얼즈), 이진관(인하대학교), 김근수*(호서대학교), 현승균*(인하대학교)

적층제조 및 분말 I

위원장: 김형섭(포항공과대학교)
총무간사: 홍순직(공주대학교), 강민철(3D프린팅연구조합)
Room 2층 212/13, 10월 29일

좌장 : 김효섭(한국생산기술연구원)

적층1-1 | 09:00

가스분무공정 시 분사 가스가 Super Duplex Stainless Steel 합금 분말 미세조직 및 분말 특성에 미치는 영향에 관한 연구

백건우, 조성재, Sourabh Kumar Soni (국립공주대학교), 김용래, 박성수((주)영신특수강), 하지원, 김현중, 홍순직*(국립공주대학교)

적층1-2 | 09:15

316L 스테인리스 강-구리 복합재의 열 · 기계적 특성 향상을 위한 공정 설계

최동인, 조영환(서울대학교), 강성규(경상국립대학교), 정경재(성균관대학교), 이호원, 최인석, 한흥남*(서울대학교)

적층1-3 | 09:30

금속 재료 압출 적층 공정으로 제작한 SS316L/IN718 층간 복합 재료의 co-sintering 조건 최적화 및 기계적 성질 분석

이도원, 이정아, 오상호, Renhao Wu, 이시우, 김래언, 이병주, 김형섭*(포항공과대학교)

적층1-4 | 09:45

열처리 온도가 Laser powder bed fusion 공정으로 제조된 저열팽창 Fe-Ni 합금의 열팽창 특성과 기계적 특성에 미치는 영향

조용훈, 박소연(인하대학교), 김정환(한국재료연구원), 서동우(포항공과대학교), 이기안*(인하대학교)

적층1-5 | 10:00

L-DED 제조된 Fe-36Mn-9Al-7Ni (wt.%) 초탄성 철계 형상기억합금의 레이저 공정변수에 따른 미세조직과 반복 압축 특성

박지영, 김도형, 정휘윤, 이욱진*(부산대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 문종언(공주대학교)

적층2-1 | 10:25 초청강연 **Canceled**

High-Temperature Wear Properties of Laser Powder Directed Energy Deposited Ferritic Stainless Steel 430

Hyun-Ki Kang*, Samsub Byun, Jongyeob Lee(Turbo Power Tech Co., Ltd.), Namhyun Kang(Pusan National University), Seunghun Lee(TESONE Co., Ltd.)

적층2-2 | 10:50

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조된 SA508 Gr.3 Steel의 인장 및 피로 특성에 미치는 열처리의 영향

황원구(인하대학교), 류호진(한국과학기술원), 이기안*(인하대학교)

적층2-3 | 11:05

레이저 에너지 직접 적층법으로 제조한 Fe-17Mn-10Cr-5Si-4Ni-1VN 합금의 미세조직 및 형상기억 특성

정종욱, 김태윤, 이욱진*(부산대학교)

적층2-4 | 11:20

L-PBF 공정을 이용하여 제작된 경사기능형 내마모 경량철강의 미세조직과 기계적 성질

박진수, 문준오*(창원대학교), 박성준, 권한솔(한국재료연구원)

적층2-5 | 11:35

직접용융증착으로 제조된 CuNiAl 저합금 강의 직접시효에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화

주수빈, 노건우, 정종현, 류경희(경상국립대학교), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

적층2-6 | 11:50

Direct energy deposition (DED)를 활용한 metal repairing 후 오스테나이트계 스테인리스강의 수소 취성 저항성 향상

정차희, 양대철(고려대학교), 사공만재(포항공과대학교), 백주현(고려대학교), 김형섭(포항공과대학교), 손석수*(고려대학교)

좌장 : 김도형(영남대학교)

적층3-1 | 14:00

Multifaceted deformation mechanisms in a near-fully recrystallized Al/Ti/V-modified Ni-based multi-principal-element alloy via direct energy deposition in-situ alloying

Wu Renhao, Hyojin Park, Jaehueng Lee, Shi Woo Lee, Jalal Kangazian, Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

적층3-2 | 14:15

직접용융증착법으로 제조된 Inconel 718 합금의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화

권시은, 김정기 *(경상국립대학교)

적층3-3 | 14:30

DED - Rolling 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 동적 재결정화에 따른 미세조직 균질화 및 기계적 특성 분석

임민혁*, 이지운*, 홍순직, 조성재, 김현중, 유현우, 배주은(국립공주대학교)

적층3-4 | 14:45

Directed Energy Deposition 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 동적 변형시효 거동 분석

강호성(경상국립대학교), 곽민석(현대제철), 고원석(인하대학교), 박기덕(GODTECH), 김상식(경상국립대학교), 김형섭(포항공과대학교, 연세대학교 , 도호쿠대학교), 설재복(국민대학교), 김정기*(경상국립대학교)

Break Time | 15:00

좌장 : 이빈(경희대학교)

적층4-1 | 15:10

Improvement of Temperature-Dependent Tensile Behavior in Laser Powder Bed Fusion Fabricated Hastelloy X Ni-based Alloy

Kangazian Kangazi Jalal, Soung Yeoul Ahn, Shiwoo Lee, Hyeonseok Kwon, Rae Eon Kim, Jaehun Kim(POSTECH), Ahmad Kermanpur, Morteza Shamanian(Isfahan University of Technology), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

적층4-2 | 15:25

균열 저항성이 극대화된 인코넬 939 계열 적층 제조 내열합금 개발 전략

김동환, 김민석, 박은수*(서울대학교)

적층4-3 | 15:40

Plate 구조 설계법을 도입한 Kelvin truss형 Inconel 718 lattice structure의 기계적 특성 향상

박소연, 오주환(인하대학교), 고찬영(인천항공우주산학융합원), 이기안*(인하대학교)

적층4-4 | 15:55

와이어 아크 적층제조 Alloy 718의 후열처리에 따른 Laves 상 용해 거동 평가

임시은(한국재료연구원, 부산대학교), 김찬규, 강용준, 오동진, 송상우(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 박기태*(한국재료연구원)

학회상 수상기념 강연

Room 2층 212/13, 10월 29일

좌장 : 석현광(한국과학기술연구원), 이기안(인하대학교)

AW-1 | 16:30 송천학술상 수상기념강연

재활용 기반 모빌리티 소재로서 Crossover 알루미늄 합금의 적용성

김세훈*(한국자동차연구원)

AW-2 | 16:55 동국송원학술상 수상기념강연

타이타늄 합금의 표면 강화 기술

이동근*(국립순천대학교)

AW-3 | 17:20 금속 · 재료상 수상기념강연

지속 가능한 에너지 저장, 그리고 LG에너지솔루션의 비전

김동명(LG에너지솔루션)

학생세션

위원장 : 정은진(RIST)
총무간사 : 이진영(연세대학교)
Room 2층 214, 10월 29일

좌장 : 이태윤(고려대학교), 이진영(연세대학교)

학생1-1 | 10:00

Computational Study of Nickel Based Catalysts for Efficient Ammonia Decomposition

Juyoung Han, Heonjae Jeong*(Sogang University)

학생1-2 | 10:15

Engineering Durable Low-Iridium Electrocatalysts: The Role of Ru and Mn in Barium Iridate for Acidic Oxygen Evolution Electrocatalysis

Hyeonsoo Wi, Ki Hyun Park, Sung-Yoon CHUNG*(Korea Advanced Institute of Science , Technology)

학생1-3 | 10:30

Exploring $SrSb_2$ as a Novel Thermoelectric Material & Its Intrinsically Low Lattice Thermal Conductivity

Kangkeon Lee, Hanhwi Jang, Yeon Sik Jung*(Korea Advanced Institute of Science , Technology), Min-Wook Oh*(Hanbat National Univ.)

학생1-4 | 10:45

Al/BNNB 복합재의 기계적, 열적 특성 향상 연구

이효정, 한주연, 최현주*(국민대학교), 구자연, 박은수((주)EML)

학생1-5 | 11:00

질화물 유도 자가 형성 공정을 이용한 Al/SiC/CNT 나노 하이브리드 복합재의 기계적 및 열적 특성 연구

이지원, 카누 나약, 한주연, 이건배, 최현주*(국민대학교)

학생1-6 | 11:15

미래 배선 소재로써 코발트-플래트넘 나노와이어의 전기적 특성들

김영근*, 문지성, 오은수(고려대학교), 장영준(고려대학교 반도체시스템공학과), 정은진, 문준환, 김연범(고려대학교), 김양희(한국과학기술원 특성분석센터)

학생1-7 | 11:30

In-situ 질화 반응으로 제조한 질화 알루미늄 강화 과공정 알루미늄-실리콘 복합재료의 방열 특성

최정원, 이제인*(부산대학교)

좌장 : 이진영(연세대학교), 임진수랑(부산대학교)

학생2-1 | 14:00

확산 모델을 활용한 다중 물리 제약 하의 진주층 복합재 역설계

변진언, 이인효(한국과학기술원), 박건도(캘리포이나 대학교 버클리), 유승화*(한국과학기술원)

학생2-2 | 14:15

열역학 계산과 생성적 적대 신경망을 이용한 합금강의 비정상 결정립 성장 거동 연구

최정후, 김성진, 이석재*(전북대학교 신소재공학부)

학생2-3 | 14:30

DED 기반 In-house 실험과 기계학습을 연계한 알루미늄 합금 개발

김도원, 전서연, 안성빈, 박수원, 송용욱, 최현주*(국민대학교)

학생2-4 | 14:45

Active Learning Aided Discover of Zn-Al-Mg Coating for the Improvement of Hydrogen Embrittlement

Seunghyeon Kim, YoungKook Lee*(Yonsei University)

학생2-5 | 15:00

VAE 기반 역설계 프레임워크를 이용한 고강도 고엔트로피 합금 설계

김민규, 남충희*(한남대학교)

학생2-6 | 15:15

배관 제조공정이 316L 스테인리스강 고압수소배관의 기계적 물성과 내수소취성에 미치는 영향

고재훈(영남대학교), 홍성모((주) 세창스틸), 강지현*(영남대학교)

학생2-7 | 15:30

적층 제조 및 압연으로 제작된 SUS 316L의 수소취성에 미치는 미세조직의 영향

이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교), 이선(한국생산기술연구원, 부산대학교), 최지환(한국생산기술연구원), 이정훈*, 김태욱*(경북대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

Break Time | 15:45

좌장 : 한주연(국민대학교), 박진웅(한밭대학교)

학생3-1 | 15:55

Optimization of H_2-HBI based EAF Process for Decarbonization
Yeongrae Cho, Minho Kim, Jieun Ryu, Il Sohn*(Yonsei Univ.)

학생3-2 | 16:10

디지털 이미지 상관 기법을 통한 고망간강의 극저온 인장 거동 분석
이선(한국생산기술연구원, 부산대학교), 이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교), 최지환(한국생산기술연구원), 이정훈*(경북대학교), 이태경*(부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

학생3-3 | 16:25

Ti-Nb-Al 합금의 기계적 밀링을 통한 열팽창 및 기계적 특성 연구
김수민, 한주연(국민대학교), 손석수(고려대학교), 이기안(인하대학교), 서동우(포항공과대학교), 최현주*(국민대학교)

학생3-4 | 16:40

Wire Arc Additive Manufacturing 공정으로 제조된 Al-Mg alloy의 미세조직 및 기계적 물성
박령주, 전민수, 황원구(인하대학교), 오민선, 감동혁(한국생산기술연구원), 이기안*(인하대학교)

학생3-5 | 16:55

석출 제어를 통한 CoCrNi계 중엔트로피 합금의 국부 부식 저항성 향상 연구
강승연, 류채우*(홍익대학교)

학생3-6 | 17:10

Invar 합금의 어닐링 온도에 따른 물성 변화 분석
장준호, 류채우*(홍익대학교)

네트워킹 및 시상식 I 17:25-18:00

알루미늄

위원장: 김형욱(한국재료연구원)
총무간사: 김세훈(한국자동차연구원),
김명균(포항산업과학연구원), 조영희(한국재료연구원)
Room 3층 301, 10월 29일

좌장 : 김재황(한국생산기술연구원)

알루미늄1-1 | 09:00

수익성 개선을 위한 압출 및 롤본딩 공법 적용 알루미늄 배터리케이스 개발
이재형, 김병수(현대자동차)

알루미늄1-2 | 09:15

고속 X-선 radiography를 통한 Al-Cu 및 Al-Cu-Fe 합금에서의 열균열 (hot tear) 형성 실시간 관찰
한인성*(경북대학교)

알루미늄1-3 | 09:30

스퍼터링을 활용한 탄소 고용 6061 알루미늄 합금 박막의 고강도 구현
이시온, 김호장, 최선근, 오인종(한국과학기술원), 박재홍(현대자동차), 심기동*(한국과학기술원)

알루미늄1-4 | 09:45

6xxx계 알루미늄 합금에서 온도에 따른 미세 조직 변화가 고온 가공성에 미치는 영향
김하늘, 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)

알루미늄1-5 | 10:00

용체화 및 시효된 Al-Zn-Cu-Mg 합금의 마모 특성
신지용, 정현우(한국재료연구원, 부산대학교), 정일석, 최은애(한국재료연구원), 권세훈(부산대학교), 한승전*(한국재료연구원)

알루미늄1-6 | 10:15

Ni 첨가된 Al-Mg-Si 합금의 석출 거동에 미치는 시효 온도의 영향
남수민(한국재료연구원, 경북대학교), 어광준(한국재료연구원), 최명식(경북대학교), 손현우*(한국재료연구원)

Break Time | 10:30

좌장 : 김덕(포항산업과학연구원)

알루미늄2-1 | 10:40

적층제조 기반 조합실험을 통한 복합주조 알루미늄의 계면 조성 최적화 및 접합 · 열전달 성능 향상
남승진(고려대학교), 한주연, 전서연, 강태연, 한선구, 최현주*(국민대학교)

알루미늄2-2 | 10:55

Cu 확산 지연 메커니즘을 활용한 Al-Mg-Si-Cu 합금의 열안정성 향상 기술
손현우*, 어광준(한국재료연구원), 김용유(한국재료연구원, 대구기계부품연구원), 이재석, 남수민(한국재료연구원)

알루미늄2-3 | 11:10

Zr / Si 나노파우더 첨가를 통한 Al-7075 합금의 균열취약성 감소 및 고온등방가압 처리를 통한 물성강화
사공만재, 이마태, 구본우, 안성열, 이정아(포항공과대학교), 조성재(공주대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

알루미늄2-4 | 11:25

7xxx 알루미늄 합금의 열처리와 석출 거동에 따른 강도-부식 상관성
정혜지, 신선호, 성효경*(국민대학교)

알루미늄2-5 | 11:40

개질화 원소 첨가 및 주조 온도에 따른 Al-7Si/Cu 바이메탈의 계면 반응층의 영향
임하윤(한국재료연구원, 부산대학교), 김병주(중소조선연구원), 천현석(한국재료연구원, 부산대학교), 김수현*(한국재료연구원), 이욱진(부산대학교)

알루미늄2-6 | 11:55

6XXX계 스크랩 알루미늄 압출재의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 Fe 함량의 영향
김형준(한국재료연구원, 부산대학교), 이윤수, 손현우, 이재석(한국재료연구원), 윤연희(한국재료연구원, 한양대학교), 안지영(한국재료연구원, 경북대학교), 김규낙(한국재료연구원), 이제인*(부산대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

좌장 : 손현우(한국재료연구원)

알루미늄3-1 | 14:00

알루미늄합금에서의 GP zone의 electron microscopy diffraction pattern에 대한 연구
설재복*, 성효경, 최현주(국민대학교)

알루미늄3-2 | 14:15

D0-stable Y원소의 $L1_2$상 안정화 및 $L1_2$-$Al_3(Zr,Er,Y)$상이 고온 노출된 Al-Zn-Mg 합금의 석출물에 미치는 영향

김용유(대구기계부품연구원 소재부품연구본부, 한국재료연구원 경량재료연구본부), 어광준, 손현우*(한국재료연구원 경량재료연구본부)

알루미늄3-3 | 14:30

재료 연구를 위한 미세조직 이미지 자동 분석 프로그램 개발: TIMs_Image

김세종*, 조영희, 김도현(한국재료연구원)

알루미늄3-4 | 14:45

Al-Si-Mg 합금의 Pitting 부식 거동에 대한 냉각 속도의 영향

이상익(한국재료연구원, 한양대학교), Saif Haider Kayani(한국재료연구원), 이윤호(한국재료연구원, 한양대학교), 김영서, 김정한(동아대학교), 장재일*(한양대학교), 조영희*(한국재료연구원)

알루미늄3-5 | 15:00

쌍롤주조 5xxx계 알루미늄 합금의 편석 저감과 기계적 특성

장재철(서울대학교, 한국생산기술연구원), 이강래, 송람, 최경환, 김봉환(한국생산기술연구원), 정인호*(서울대학교)

알루미늄3-6 | 15:15

A356 합금의 Fe계 금속간화합물 형성 및 상천이 거동에 미치는 용탕과 열처리의 효과

천현석(한국재료연구원, 부산대학교), 김수현, 손현우(한국재료연구원), 임하윤(한국재료연구원, 부산대학교), 이제인*(부산대학교), 조영희*(한국재료연구원)

알루미늄3-7 | 15:30

알루미늄 합금의 Fe를 포함한 상의 제거에 대한 Sn첨가 및 직류전류 인가의 영향

배장현(한국생산기술연구원, 서울대학교), 조대연, 김준현, 김석진(한국생산기술연구원), 한흥남(서울대학교), 김문조*(한국생산기술연구원)

여대학원생 공학연구팀제 지원사업 심화과정 결과발표대회

위원장: 김미소(한국과학기술원), 장혜정(한국과학기술연구원)
총무간사: 정은진(포항산업과학연구원), 최현주(국민대학교)
Room 3층 301, 10월 29일

좌장 : 최현주(국민대학교)

WISET1-1 | 16:10

Three-Dimensional Structural Evaluation of Porous Carbon Derived from Amygdaloideae Fruit Tree Pruning Waste

INSEO KO, Jong Ho Won*(Dankook University)

WISET1-2 | 16:25

Ni Doping in $ZnMn_2O_4$ Cathodes for Improved Cycle Life of Aqueous Zn-Ion Batteries via Mn Dissolution Suppression

박혜선, 전상은*(경북대학교)

WISET1-3 | 16:40

High-Performance Gel Polymer Electrolytes via Ionic Liquid Incorporation for Sodium-Ion Batteries

Shin Subin, Jo Soeun, Lee Jaeyeong, Kim Jiho, Lee Seunghwan*(Kangwon Univ.)

WISET1-4 | 16:55

전기차 무선충전 효율을 위한 Fe계 비정질 합금의 M_S-H_C 최적화

이현경, 신하얀, 한인경, 김세린, 임혜인*(숙명여자대학교)

WISET1-5 | 17:10

High-Entropy Catalyst FeCoNiCuSn Synthesized under Various Solvent Conditions for Electrochemical Ammonia Oxidation

Jeon Minseo, Chanmin Jo, Gyoung Hwa Jeong(Korea Institute of Energy Technology (KENTECH)), Uk Sim*(Korea Institute of Energy Technology (KENTECH), NEEL Sciences)

WISET1-6 | 17:25

결함 에너지 제어형 Cu-Ga-Si 합금의 물성 통합 맵 구축

조가은, 김현영, 장성문, 강민지, 박혜진*(세종대학교)

WISET1-7 | 17:40

Interface Engineering of $Li_{1.5}Ti_{0.5}Al_{1.5}(PO_4)_3$ Sheet and Current Collector for Anode-less Lithium Battery

Choi Seul Ki, Yeon Hee Kim, Yoo Kyung Lee, Yu Na Lee, Minho Yang*(Dankook Univ.)

WISET1-8 | 17:55

Development of Thermal Runaway Blocking Strategy through Reinterpretation of Degradation Mechanisms in Ni-rich Layered Cathodes

Heo Junyoung, Hyeonjoong Jung, Seongmin Kwak, Ahin Song, Jeongsik Yun*(인천대학교/Incheon Nat'l Univ.)

폐자원 활용 친환경 마그네슘 제련 및 소재부품 응용 기술 심포지엄

위원장: 임창동(한국재료연구원)
총무간사: 배준호(한국재료연구원), 이정훈(경북대학교), 이내호(다인경금속)
Room 3층 302/3, 10월 29일

좌장 : 최상훈(고등기술연구원)

폐자원1-1 | 09:00 초청강연

페로니켈 슬래그의 미분쇄조건에 따른 특성평가

양회석*, 한창순, 김주환, 이명용, 오한별(전남테크노파크)

폐자원1-2 | 09:15 초청강연

페로니켈 슬래그를 이용한 염화 마그네슘 및 물유리 제조방법

권오학*((주)PGT)

폐자원1-3 | 09:30 초청강연

페로니켈 슬래그를 활용한 무수염화마그네슘 제조를 위한 디하이드레이션 시스템 및 마그네슘 전해제련을 위한 20kA 급 전기분해조 개발

유형조*, 이내호*((주)다인경금속)

폐자원1-4 | 09:45 초청강연

마그네슘 정련을 통한 불순물제어 및 청정화기술 개발 Part 2

문병기*, 김하식, 서종식, 문영훈, 박은진(한국재료연구원)

폐자원1-5 | 10:00 초청강연

마그네슘 전해제련공정 부반응 억제방안 및 공정 안정화 기초 평가

이종현*, 이동희, Hayk Nersisyan(충남대학교/Chungnam Nat. Univ.), 유형조, 이내호((주)다인경금속)

Break Time | 10:15

좌장 : 배준호(한국재료연구원)

폐자원2-1 | 10:25 초청강연

MgO로부터 용융염전해제련에 의한 CuMg 합금 제조

구광모, 박선영, 이세영, 김가민, 김현우*(케이에스엠테크놀로지)

폐자원2-2 | 10:40 초청강연

마그카본 폐내화물로부터 고순도 산화마그네슘 제조 기술 개발

이태혁, 강희남, 이진영(한국지질자원연구원 자원활용연구본부), 강정신*(서울대학교 에너지자원공학과)

폐자원2-3 | 10:55 초청강연

부유형 Al 음극 사용 친환경 MgO 용융염전해법을 이용한 Mg - Al 합금 제조

심충용, 강정신*(서울대학교)

폐자원2-4 | 11:10 초청강연

고순도 마그네슘 잉곳 제조를 위한 연속 진공증류 공정 연구

소윤지, 김호병, 최상훈*(고등기술연구원)

폐자원2-5 | 11:25 초청강연

용융염 전해 불활성전극 연구 현황 및 전산 시뮬레이션을 활용한 조성 스크리닝

손하영, 김인수, 박정도, 김지웅*(숭실대학교)

좌장 : 문병기(한국재료연구원)

폐자원3-1 | 14:00 초청강연

고주조성 · 고내식/고인성 · 고내식 마그네슘 합금 개발

배준호*, 김재연, 유홍수, 이상은, 유봉선(한국재료연구원)

폐자원3-2 | 14:15 초청강연

복합결정구조를 가지는 저밀도 고강도 Mg-Li 합금 제어 기술

손현택*, 김용호, 유효상, 이병권, 고은찬(한국생산기술연구원)

폐자원3-3 | 14:30 초청강연

금형 최적화 및 고진공법 활용을 통한 박육 마그네슘 부품 고압 다이캐스팅 기술 개발

정현호*(모베이스 다이캐스팅)

폐자원3-4 | 14:45 초청강연

고내식 마그네슘 합금의 연속주조 빌렛 제조 기술 및 압출재 적용 제품 개발

예대희*, 신혁기((주)샘 / SENM Co. Ltd.)

폐자원3-5 | 15:00 초청강연

고강도 마그네슘 합금의 용접 및 표면처리 기술 개발

윤병현*, 추동균(충남대학교)

폐자원3-6 | 15:15 초청강연

Low-cycle fatigue behavior of extruded SEN series Mg alloys: effects of alloy composition and extrusion temperature

Park Sung Hyuk*, Hyung Jun Kim(Kyungpook National University), Jun Ho Bae(Korea Institute of Materials Science)

복합재료

위원장 : 조승찬(한국재료연구원)
총무간사 : 김정환(한국재료연구원)
Room 3층 302/3, 10월 29일

좌장 : 조승찬(한국재료연구원)

복합1-1 | 16:00

아크플라즈마 용해공정을 통해 제조된 in situ TiC 강화 타이타늄 기지 복합재료

김태윤(부산대학교), 김재혁(한국재료연구원), 이제인*(부산대학교)

복합1-2 | 16:15

단계적 표면 처리 공정 최적화를 통한 C2680합금과 폴리프로필렌 이종소재 접합 기술 개발

양수미(한국재료연구원, 부산대학교), 박상민(부산대학교), 김정한*(한밭대학교), 신다슬*(한국재료연구원)

복합1-3 | 16:30

Strain localization and damage evolution of B_4C-reinforced Al metal matrix composite at high temperature; In-situ OM-DIC

Lee Min-Su, Chan-Wool Ahn(한국생산기술연구원), Tea-Sung Jun(인천대학교), Donghyun Lee, Junghwan Kim, Seungchan Cho(한국재료연구원), Chang-Soo Park*(한국생산기술연구원)

복합1-4 | 16:45

Enhanced Electromagnetic Interference Shielding and Mechanical Properties of Ti3C2TX/CNF Composite Paper through Aqueous Counter Collision Method

XUE HAN, YunSung Woo*(Dankook University)

복합1-5 | 17:00

Design of High-Entropy Alloy Fillers and Study on the Process and Mechanism of Semi-Solid Brazing between C/C－SiC Composites and TZM Alloy

WENLONGZHOU(Harbin Institute of Technology (HIT)), Sujung Son(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Shengpeng Hu, Xiaoguo Song(Harbin Institute of Technology (HIT)), Hyoung Seop Kim(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

복합1-6 | 17:15

Design of a composite interlayer and mechanism for strengthening mechanical properties of joints at the brazed interface between C/C-SiC composite material and 410B stainless steel

Haitao Zhu(Harbin Institute of Technology (HIT)), Sujung Son(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Yanyu Song, Duo Liu*, Xiaoguo Song(Harbin Institute of Technology (HIT)), Hyoung Seop Kim*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

타이타늄

위원장 : 홍재근(한국재료연구원)
총무간사 : 이현석(포항산업과학연구원),
김경민(세아창원특수강), 이제인(부산대학교),
이상원(한국재료연구원)
Room 3층 304, 10월 29일

좌장 : 이제인(부산대학교)

타이타늄1-1 | 09:00

적층제조 및 기계적 합금화 기반 Ti-6Al-4V 산화물 분산강화 합금 제조 및 특성 분석

김우혁(국립한밭대학교), 고의준, 박형기(한국생산기술연구원), 김한수(KONASOL), 김정한*(국립한밭대학교)

타이타늄1-2 | 09:15

Supersolvus HIP 열처리가 EBM 제조 Ti-48Al-2Cr-2Nb 합금의 결정립 미세화 및 고온 연성 향상에 미치는 영향

김종훈(한국재료연구원, 부산대학교), 홍재근(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 김재혁*(한국재료연구원)

타이타늄1-3 | 09:30

선택적 레이저 용융 공정을 이용한 γ-TiAl 합금의 층상조직 방향성 제어에 관한 연구

박성현(한국재료연구원), 김채원(한국재료연구원, 금오공과대학교), 박지성, 김성웅*(한국재료연구원)

타이타늄1-4 | 09:45

Material extrusion additive manufacturing (MEAM) 공정으로 제조된 Ti-15Nb-5Sn (at. %) 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 미치는 기공도의 영향

임진환, 남태현*(경상국립대학교)

좌장 : 김경민(세아창원특수강)

타이타늄2-1 | 10:00

β 상 준안정성 제어를 통한 Ti-6Al-4V 기반 TRIP 합금 설계 가이드라인 개발

서기완(서울대학교), 김도향(서울대학교 신소재공동연구소), 박은수*(서울대학교)

타이타늄2-2 | 10:15

고강도 · 고연성 구현을 위한 metastable β 타이타늄 합금 설계 및 변형 메커니즘 분석

주재성(한국재료연구원,고려대학교), 홍재근(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교), 김재혁*(한국재료연구원)

타이타늄2-3 | 10:30

낮은 탄성계수를 가지고 높은 초탄성 회복률을 가지는생체 재료용 Ti-Nb-Sn-Zr 합금

구태균, 김수영, 남태현*(경상국립대학교)

타이타늄2-4 | 10:45

Co 미량 첨가를 통한 Ti-15Zr 합금의 미세조직 제어 및 강도-연성 향상

박지원(한국재료연구원, 부산대학교), 강남현(부산대학교), 김재혁*, 홍재근*(한국재료연구원)

좌장 : 이상원(한국재료연구원)

타이타늄3-1 | 11:00

알칼리성 해수 전기분해 조건에서 타이타늄의 내식성 향상을 위한 TiO_2 양극산화막 연구

박수빈(한국재료연구원, 부산대학교), 이제인(부산대학교), 홍재근*, 김재혁*(한국재료연구원)

타이타늄3-2 | 11:15

Ti-Nb-Zr-X-O 합금에서의 Gum metal 특성 평가

이혜미, 김재일*(동아대학교)

타이타늄3-3 | 11:30

순환 열처리 공정을 통한 주조용 γ-TiAl 합금의 미세조직 제어 및 고온 변형거동 연구

김채원(한국재료연구원, 국립금오공과대학교), 박성현, 박지성(한국재료연구원), 최인철(국립금오공과대학교), 김성웅*(한국재료연구원)

타이타늄3-4 | 11:45

구성방정식과 기계학습 기반 하이브리드 모델을 활용한 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 열간 변형거동 예측

이성호(부산대학교), 이초롱, 노윤경(㈜ 동아특수금속), 박성혁(경북대학교), 조장웅, 이종수(포항공과대학교), 이태경*(부산대학교)

타이타늄3-5 | 12:00

ISM 공정 기반 100% 스크랩 Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 특성: 상용 VAR 합금과의 비교

황정우(한국재료연구원, 국립창원대학교), 양준하, 김재호(한국재료연구원), 정영웅(국립창원대학교), 염종택*(한국재료연구원)

제21회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노 구조 재료 분석 국제 심포지엄

위원장 : 신은주(한국원자력연구원)
실무위원 : 우완측(한국원자력연구원),
김태주(한국원자력연구원), 김종열(한국원자력연구원)
Room 3층 304, 10월 29일

좌장 : 우완측(한국원자력연구원)

NeXS1-1 | 14:00 초청강연

Understanding the Deformation Behavior of Stainless Steels in Hydrogen-Charged or Low-Temperature Environments: In Situ Neutron Diffraction Study

Stefanus Harjo, Tatsuya Ito(Japan Atomic Energy Agency), Wenqi Mao(Northeastern University), Wu Gong, Takuro Kawasaki(Japan Atomic Energy Agency)

NeXS1-2 | 14:25 초청강연

The progress in the control technology of welding residual stress in large-scale pressure vessels in China

Wenchun Jiang*(China University of Petroleum)

NeXS1-3 | 14:50 초청강연

Non-destructive orientation mapping of planar metal alloy using X-ray scanning orientation laminography

Jaemyung Kim*, Hayashi Yujiro, Yabashi Makina(RIKEN SPring-8 Center)

Break Time | 15:10

좌장 : 신은주(한국원자력연구원)

NeXS2-1 | 15:20 초청강연

Uncovering the Enhanced Formability of Friction Stir Processed AA6xxx Alloy Sheets: Correlations with Microstructure, Precipitates, and Crystallographic Texture

Shi-Hoon Choi*, Aman Gupta, Preetham Alluri, Khushahal Thool(Sunchon National University), Eunjoo Shin(Korea Atomic Energy Research Institute)

NeXS2-2 | 15:40 초청강연

인공 시효와 Cu 첨가에 따른 6xxx 계 Al 합금의 기계적, 전기화학적, 석출 거동 분석

조훈휘*, 홍현빈, Raj Narayan Hajra(국립한밭대학교), 신은주(한국원자력연구원), 김정한(국립한밭대학교), 김재황(한국생산기술연구원)

NeXS2-3 | 16:00 초청강연

Quantitative analysis of microstructure of Cantor alloy manufactured by spark plasma sintering

Jae-Gil Jung*, Sunghyun Park(Jeonbuk National University), Eunjoo Shin(Korea Atomic Energy Research Institute)

NeXS2-4 | 16:20 초청강연

Size distribution analysis of metastable phase in aluminum alloys using SANS, TEM and APT

JiWook Park(Korea Institute of Industrial Technology, University of Science & Technology, Korea Institute of Science and Technology), MiYoung Lee(Korea Institute of Industrial Technology, University of Science & Technology), JaeHwang Kim*(Korea Institute of Industrial Technology, University of Science & Technology, Korea Institute of Science and Technology)

Break Time | 16:40

좌장 : 채호병(한국원자력연구원)

NeXS3-1 | 16:50 초청강연

소각중성자산란법을 이용한 초고강도 이차경화형 마르텐사이트강의 탄화물 석출거동 분석

원윤정(한국재료연구원), 이근원, 김장중(국민대학교), 임창동(한국재료연구원), 신은주(한국원자력연구원), 조기섭*(국민대학교)

NeXS3-2 | 17:05 초청강연

압입 기반 비등이축 잔류응력 및 소성 물성의 비파괴적 예측을 위한 데이터 기반 FE-CNN 프레임워크

박민우, 정든봄(서울대학교), 우완측(한국원자력연구원), 오승철(한화에어로스페이스), 정경재*(성균관대학교), 한흥남*(서울대학교)

NeXS3-3 | 17:20 초청강연

Residual stress and microstructure evolution in additive manufacturing: modeling and neutron diffraction study

ZHENGTONG SHAN, Cong Hoang Dang(Konkuk university), Wanchuck Woo(Korea Atomic Energy Research Institute), Dong-Kyu Kim*(Konkuk university)

NeXS3-4 | 17:35 초청강연

PBF-LB/M 공정의 미세조직 및 잔류응력 제어를 위한 세라믹 절연 기판 기반의 수동적 열적제어

안성열(포항공과대학교), 정상국(한화에어로스페이스), 이기택(포항공과대학교), 채호병, 우완측(한국원자력연구원), 김은성, Muhammad Raihan Hashmi, Levin Sebastian Cahyaputra, Renhao Wu(포항공과대학교), 홍순익(충남대학교), 홍순직(국립공주대학교), 김형섭(포항공과대학교)

NeXS3-5 | 17:50 초청강연

Micromechanical Damage Mechanisms in B_4C/AA6061 Composite: In Situ Acousitc Emission and Neutron Diffraction

Jong-Hyeok Kwon(Konkuk University), Ho Won Lee, Seungchan Cho(Korea Institute of Materials Science), Hobyung Chae, Wanchuck Woo(Korea Atomic Energy Research Institute), Dong-Kyu Kim*(Konkuk University)

철강A-제선,제강,환경,에너지

위원장 : 김성연(포스코)

총무간사 : 김성규(포스코), 박주현(한양대학교), 황병철(서울과학기술대학교)

Room 3층 305/6, 10월 29일

좌장 : 김선중(조선대학교)

철강A1-1 | 09:00

유동로 수소환원으로 제조한 환원철의 열전도도 특성 분석

하윤철, 김리주, 서인국, 이준호*(Korea Univ.)

철강A1-2 | 09:15

폐플라스틱 기반 친환경 가탄재를 활용한 슬래그 포밍 내 기공 특성 및 반응 거동 분석

안효주, 조진우, 박노근*(영남대학교), 강영조(동아대학교)

철강A1-3 | 09:30

산화철과 산화아연 혼합물의 용융 산화물 전해를 통한 유가금속 회수기술 개발

김중석, 강정신*, 이경우*(서울대학교)

철강A1-4 | 09:45

스크랩 사용에 따른 hot shortness 발생 평가 기법 개발

조민서, 이은의(고려대학교), 김성환(Thermo-Calc Software Korea LLC), 이준호*(고려대학교)

철강A1-5 | 10:00

MgO-C 내화물 내산화성 향상을 위한 B_4C의 효과

박찬근, 명재우, 이지혁, 정용석*(한국공학대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 김영재(인하대학교)

철강A2-1 | 10:25 초청강연

Pyrometallurgical process simulations using CALPHAD thermodynamic databases

Marie-Aline Van Ende*, Jung In-Ho(Seoul National University)

철강A2-2 | 10:50

Factsage 시뮬레이션을 활용한 2차정련 공정의 온도, 성분 예측 기술 개발

김영수, 김민재, 서석민*(세아베스틸), 정인호, Marie-Aline Van Ende(서울대학교)

철강A2-3 | 11:05

Development of auto simulator of ladle refining process based FactSagethermodynamic analysis

김지현, 권세현, 김동수(두산에너빌리티)

철강A2-4 | 11:20

FactProSim for Steelmaking Process Simulation

Kumar Nishant, Marie-Aline VAN ENDE*, In-Ho JUNG(Seoul National University)

철강A2-5 | 11:35

철강산업재도약기술개발사업 포항거점센터 소개

박상원, 박병호*, 이경세*((재)포항소재산업진흥원)

좌장 : 양현진(인하대학교)

철강A3-1 | 14:00 초청강연

Valorization of Slags as Supplementary Cementitious Materials

Andersson Anton*(Lulea University of Technology, Hanyang University), Lennartsson Andreas, Engstrom Fredrik(Lulea University of Technology), Joo Hyun Park(Hanyang University)

철강A3-2 | 14:25 초청강연

Steelmaking Slag Utilization: Field Applications and Circular Recovery

Takayuki Iwama*, Ryo Inoue, Shigeru Ueda(Tohoku University)

철강A3-3 | 14:50

철강 슬래그의 LCA 관점 환경 영향 평가

이윤모(현대제철), 박광호, 황용우(인하대학교), 이종협*(현대제철)

철강A3-4 | 15:05

철강 슬래그 기반 복합소재 강화재 응용 가능성에 관한 연구

정은진*(포항산업과학연구원)

철강A3-5 | 15:20

전기로 제강 공정 중 Recycled Cement Paste 활용을 통한 온실가스 배출 저감 기술 개발 기초연구

윤누가, 이준호*(고려대학교)

Break Time | 15:35

좌장 : 강영조(동아대학교)

철강A4-1 | 15:40

유동로를 이용한 수소환원용 철광석의 탈수에 의한 광석 조직 변화

명다빈, 김은주, 서인국, 이준호*(고려대학교)

철강A4-2 | 15:55

Fe의 침탄 반응속도에 미치는 $CO-H_2-CH_4$ 혼합가스 조성 및 온도의 영향성 평가

조다한, 김영재*(인하대학교), 이유빈, 이동수(현대제철)

철강A4-3 | 16:10

제강 슬래그 내 Al_2O_3 입자 크기 및 슬래그 조성에 따른 Al_2O_3 용해 거동 연구

곽태준, 정용석*(한국공학대학교)

철강A4-4 | 16:25

Al 탈산 Ti-첨가 페라이트계 스테인리스강 내 비금속 개재물의 진화 거동

정동율(한양대학교), 박성진, 강수창(POSCO 기술연구소), 박주현*(한양대학교)

철강A4-5 | 16:40

연속주조 공정조건 변화가 몰드 내 용강유동 패턴에 미치는 영향

박정섭, 신재원, 김나영, 조성묵*(부경대학교)

철강A4-6 | 16:55

열간 상태에서의 실시간 성분 측정을 통한 혼탕부 판별 기술 개발

김혜주, 신종대, 김종연*(현대제철연구소)

좌장 : 김영재(인하대학교)

철강A5-1 | 17:10

Thermodynamics of smelting reduction of low-grade Kazakhstan manganese ore for the production of low-phosphorus FeSiMn alloy

Yesmurat Myngzhassar, Min Joo Lee, Joo Hyun Park*(Hanyang Univ.)

철강A5-2 | 17:25

Effect of Process Parameters on Fluidization and Agglomeration Behavior of Iron Ore Fines

Dereje Degefa Geleta, In-Kook Suh, Joonho Lee*(Korea University)

철강A5-3 | 17:40

고로 내 환원 가스 조성에 따른 슬래그 Wettability 영향 연구

박준범, 오한상, 권재홍(현대제철 연구소), 신현우, 강영조*(동아대학교), 이종협*(현대제철 연구소)

철강A5-4 | 17:55

전기로 조업 개선을 위한 용강레벨 측정 시스템 구축 및 활용

김보호, 최원진, 김종연(현대제철연구소)

나노융합 특별세션

위원장 : 송재용(포항공과대학교)
부위원장 : 김수영(고려대학교)
총무간사 : 김정환(국립한밭대학교), 이주헌(한양대학교 에리카)
Room 4층 컨벤션1, 10월 29일

좌장 : 이주헌(한양대학교 에리카)

특별1-1 | 14:00 초청강연

Spin-selective transport through chiral ferromagnetic nanohelices
Young Keun Kim(Korea University)

Break Time | 14:25

NEW-HORIZON: 소재 융합연구의 혁신을 위한 AI-모델링-실험 연계 심포지엄

위원장 : 송재용(포항공과대학교), 권용우(홍익대학교)
실무위원 : 신정호(한국화학연구원)
Room 4층 컨벤션1, 10월 29일

좌장 : 박범철(고려대학교)

소재AI1-1 | 14:30 초청강연

Liquid Metal-Assisted CVD as a General Strategy for Unlocking Quasi-Stable Phases in Transition Metal Phosphides
Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

소재AI1-2 | 14:55 초청강연

Atomistic modelling of electrochemical Ag exsolution from Ag-doped Li6PS5Cl
Park Haesun*(중앙대학교)

소재AI1-3 | 15:20 초청강연

Phase changing oxides for neuromorphic computing
PARK TAEJOON*(Korea University)

Break Time | 15:45

좌장 : 장우선(연세대학교)

소재AI2-1 | 15:55 초청강연

Coupling phase-field methods with CALPHAD stoichiometric and limited soluble phases
김동욱, 김성균, 장형욱, 조휘재, 차필령*(국민대학교)

소재AI2-2 | 16:20 초청강연

Applications of Thermodynamic Modeling: From Pure Element to Multi-component Alloys
DongEung Kim*(한국생산기술연구원)

소재AI2-3 | 16:45 초청강연

Computational Design and Analysis of DNA-based Nanostructures
Lee Chanseok*(Hanyang University)

Break Time | 17:10

좌장 : 김용주(고려대학교)

소재AI3-1 | 17:20 초청강연

Accelerating Structure Search with Machine Learning Interatomic Potentials
Se Hun Joo(Sookmyung Women's University)

소재AI3-2 | 17:45 초청강연

Adaptive In-Sensor Vision: Synaptic Phototransistors for Precise Contour Extraction
Moon Kee Choi*(UNIST)

소프트소재

위원장 : 박철민(연세대학교)
총무간사 : 선정윤(서울대학교), 강석주(UNIST),
김수영(고려대학교), 심우영(연세대학교),
정성준(포항공과대학교), 김연수(포항공과대학교)
Room 4층 컨벤션2, 10월 29일

좌장 : 선정윤(서울대학교)

소프트1-1 | 09:20

Transparent PEDOT:PSS/MXene Thin-Film Heater with Improved Conductivity via Trifluoroacetic Acid Doping
Ju Jihwan, Jeong Beomjin*(Pusan National Univ.)

소프트1-2 | 09:35 Canceled

Bioinspired dynamically adaptive soft composites
강성훈*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

NEW-HORIZON: 웨어러블 소프트 소재 심포지엄

위원장 : 박철민(연세대학교)
실무위원 : 선정윤(서울대학교)
Room 4층 컨벤션2, 10월 29일

좌장 : 선정윤(서울대학교)

웨어러블1-1 | 10:00 초청강연

Molecularly Architected Soft Materials for Flexible and Wearable Batteries
Seok Ju Kang*(UNIST)

웨어러블1-2 | 10:25 초청강연

Soft Liquid-Metal Neural Interfaces for Precision Neural Stimulation and Recording
Jang-Ung Park(Yonsei University)

웨어러블1-3 | 10:50 초청강연

Strategic Regulation of Mobile Ions Toward Soft Neuromorphic Computing Devices
정범진(부산대학교)

웨어러블1-4 | 11:15 초청강연

Biomimetic Fully Soft Synaptic Electronics: From Devices to Integrated Systems
심현석*(Pusan National University)

좌장 : 정범진(부산대학교)

웨어러블2-1 | 14:00 초청강연

Soft, Resorbable Bioelectronics
Suk-Won HWANG(KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Department of Integrative Energy Engineering, Korea University)

웨어러블2-2 | 14:25 초청강연

Hybrid Skin Sensor Patch for Event-Driven Monitoring of Bio-Signals with Long-Term Skin Comfort
Juhee Kim(Korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), Seongjin Park, Wonseop Hwang(Korea Institute of Science and Technology), Sangha Kim, Rhokyun Kwak(Hanyang University), In-Suk Choi(Seoul National University), Hyunjung Yi(Korea Institute of Science and Technology, YU-KIST)

웨어러블2-3 | 14:50 초청강연

Imaging sensors with soft materials for intelligent robotics
Young Min Song*(KAIST)

웨어러블2-4 | 15:15 초청강연

Smart Wearable Devices for Anti-Biofouling Functions, Mechanical Computing, and Thermal Management
Bong Hoon Kim (DGIST)

Break Time | 15:40

좌장 : 심현석(부산대학교)

웨어러블3-1 | 16:05 초청강연

Emerging classes of organic luminescent materials for next-generation OLEDs
Hwan-Hee Cho(Yonsei University)

웨어러블3-2 | 16:30 초청강연

Unlocking the Power of Supramolecular Chemistry in Soft Materials Design
강지형(서울대학교)

웨어러블3-3 | 16:55 초청강연

Dynamic Colors on Soft Platforms: Emulsion-Driven Block Copolymer Photonics for Wearables
Kanghee Ku*(UNIST)

웨어러블3-4 | 17:20 초청강연

Flexible and Stretchable Artificial Synapses for Wearable Sensory Neuromorphic Displays
Tae-Woo Lee*(Seoul National University)

비철금속

위원장 : 김수경(한국지질자원연구원)
총무간사 : 강정신(서울대학교)
Room 4층 컨벤션3, 10월 29일

좌장 : 이현주(한국지질자원연구원)

비철1-1 | 09:00

NCM계 폐리튬이온 배터리에서 회수한 Black Mass의 CO 분위기 환원 거동
이상엽, 황재호, 이소영, 손호상*(경북대학교)

비철1-2 | 09:15

폐인쇄회로기판의 유해물질 무배출 건식 재활용 공정에 관한 연구
이해철*, 이지환, 하태형(태형물산(주)), 김태균(태형리싸이클링(주))

비철1-3 | 09:30

MgO으로부터 Mg - Al 합금 직접 제조를 위한 Al 음극 이용 신전해법 개발
심충용, 강정신*(서울대학교)

비철1-4 | 09:45

Mg - Zn 합금을 이용한 스테인리스강으로부터 선택적 니켈 회수
이준혁, 강정신*(서울대학교)

비철1-5 | 10:00

메테인 가스에 의한 용융 조동의 탈산반응의 속도론적 해석과 반응 거동 고찰
이소영(경북대학교, 서울대학교), 강정신(서울대학교), 손호상*(경북대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 조수미(포항소재산업진흥원)

비철2-1 | 10:25

저온 용사 가스 분사 조건이 구리 적층재의 밀도, 전도도 및 알루미늄과의 접합강도에 미치는 영향
안지영, 김형준, 김규낙(한국재료연구원), 조현욱(SHKOREA), 최돈현(현대모비스), 민경문(한국재료연구원), 박성혁*(경북대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

비철2-2 | 10:40

Cu-Ni-Si-Co 합금의 열간가공성 향상에 미치는 Cr, Sn 첨가 영향
황지인, 정현우, 박준상, 최은애, 한승전*(한국재료연구원)

비철2-3 | 10:55

시효 조건에 따른 Cu-Ni-Si 합금의 석출 거동 및 전기적, 기계적 특성 변화 분석
장정아(경상국립대학교), 김규낙(경상국립대학교, 한국재료연구원), 안지혁(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교)

비철2-4 | 11:10

Cu-Ni-Si(-Mn) 합금의 냉간 압연 특성에 미치는 불균일 핵생성 상의 영향
정현우, 신지용(부산대학교, 한국재료연구원), 정일석, 최은애(한국재료연구원), 권세훈*(부산대학교), 한승전*(한국재료연구원)

비철2-5 | 11:25

방열특성이 우수한 Cu-Cr-X계 동합금에 관한 연구

최준영*, 정원석, 이시담, 장태완, 박철민((주)풍산)

비철2-6 | 11:40

CRDM 노즐용 Alloy 690 단조재의 열간성형 공정 변수와 열처리 조건이 미세조직 균일도 및 석출상 거동에 미치는 영향

김동욱, 나라야나, 나혜성, 최재영*((주)에이치브이엠)

첨단항공용 터보샤프트엔진 핵심 부품소재 국산화 기술개발 심포지엄

위원장 : 서성문(한국재료연구원)

실무위원 : 손인수(한화에어로스페이스)

Room 4층 컨벤션3, 10월 29일

좌장 : 최백규(한국재료연구원)

국산화1-1 | 14:00 초청강연

국가 전략산업으로서 방위산업 R&D 지원 전략

정진휘*(한국산업기술기획평가원)

국산화1-2 | 14:30 초청강연

1000마력급 터보샤프트엔진 터빈 블레이드 및 베인용 단결정 신 합금 개발 현황

강동수*, 이동엽, 안성철, 손인수(한화에어로스페이스(주)), 도정현, 김인수, 최백규(한국재료연구원)

국산화1-3 | 14:50 초청강연

항공엔진 디스크용 Waspaloy 소재 국산화 개발 현황

권혁준, 김지윤, 손인수*(한화에어로스페이스)

국산화1-4 | 15:10 초청강연

Ti64 케이스 주조품 소재 국산화 개발 현황

이슬*, 주영규(한화에어로스페이스)

국산화1-5 | 15:30 초청강연

압축기 임펠러 Ti6242 소재 형단조품 국산화 기술 개발 현황

오승철*, 권혁준, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스), 주경준(케이피씨엠)

국산화1-6 | 15:50 초청강연 **Canceled**

17-4PH 베어링 하우징 합금 제조 기술 개발

박재영*(한화에어로스페이스)

Break Time | 16:10

좌장 : 송덕용(한화에어로스페이스)

국산화2-1 | 16:20 초청강연

가격 경쟁력이 우수한 3세대급 국산 단결정 초내열합금 개발

도정현*, 이상원, 최백규, 김인수, 정중은(한국재료연구원)

국산화2-2 | 16:40 초청강연

Waspaloy 합금 고온 성형성 평가 및 자유단조 공정 해석

이상곤*, 안지섭, 이인규, 이성윤, 황선광(한국생산기술연구원), 권혁준(한화에어로스페이스)

국산화2-3 | 17:00 초청강연

항공용 Ti64 원심정밀주조 압축기 케이스 개발

윤석현, 박병선*((주)에스에이치플러스)

국산화2-4 | 17:20 초청강연

항공용 Ti-6242 Ingot/Billet 소재 국산화

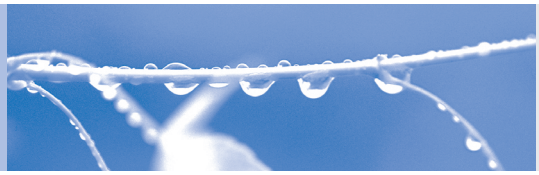
주경준, 손희영, 이기영*((주)케이피씨엠), 손인수, 주영규, 오승철(한화에어로스페이스)

국산화2-5 | 17:40 초청강연

항공용 17-4PH Master Ingot 제조 기술 개발

김현우(세아창원특수강), 우한별(한화에어로스페이스), 신정호*(세아창원특수강)

ORAL SESSION II 10월 30일



에너지 생산 · 저장 · 이송 산업용 소재 가공기술 심포지엄

위원장 : 배규열(포스코 기술연구원)
실무위원 : 오세권(한국생산기술연구원), 이제인(부산대학교), 강용준(한국재료연구원), 이광석(한국재료연구원), 문경일(한국생산기술연구원)
Room 2층 201/3, 10월 30일

좌장 : 이제인(부산대학교)

에너지가공1-1 | 09:00 초청강연
수소 이송/저장용 금속소재 기술 및 산업 동향
황병철*(서울과학기술대학교)

에너지가공1-2 | 09:20 초청강연
수소저장용기 제조/평가 기술 개발 및 산업 동향
오용록*(덕산에테르씨티(주))

에너지가공1-3 | 09:40 초청강연
그린수소생산을 위한 PEM수전해용 티타늄 다공성 확산체 개발
이창수(충남대학교, 한국에너지기술연구원)

에너지가공1-4 | 10:00 초청강연
이차전지용 파우치 소재 가공 및 응용 기술
김정한, 박진웅, 전소희, 한병준, Emmanuel(국립한밭대학교)

Break Time | 10:20

좌장 : 강용준(한국재료연구원)

에너지가공2-1 | 10:30 초청강연
대형선박의 친환경 연료와 엔진의 변화
신재우*, 조재현((주)케이에스피)

에너지가공2-2 | 10:50 초청강연
연료전지 분리판 산업연구동향 개요 및 무인 항공기 적용 현황
홍종화*(한국재료연구원)

에너지가공2-3 | 11:10 초청강연
해상풍력 하부구조용 강재 시장 동향 및 품질특성
김우겸(포스코기술연구원)

에너지가공2-4 | 11:30 초청강연
에너지 산업용 알루미늄 소재의 신뢰성 평가 방안
성효경*(국민대학교)

디스플레이용 발광 소재 및 소자의 광/전기적 특성 분석 심포지엄

위원장 : 이태우 (서울대학교)
실무위원 : 김수영 (고려대학교), 문제현 (한국전자통신연구원), 조힘찬 (한국과학기술원)
Room 2층 201/3, 10월 30일

좌장 : 박민호(숭실대학교)

발광1-1 | 14:00 Keynote
Deep level trapped defect analysis in optoelectronic devices by deep level transient spectroscopy
heo sung*(삼성종합기술원, 성균관대학교)

발광1-2 | 14:30 초청강연
Superbly Efficient and Stable Ultrapure Blue Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes with Tetradentate Pt(II) Complex with Vibration Suppression Effect
Kim Taekyung*(경희대학교)

발광1-3 | 14:50 초청강연
유기물 분자의 자발 배향 분극에 의한 OLED의 전하 축적과 엑시톤 소멸 메커니즘 분석
이재현*, 안성환, 이운하, 박시은, 김동준(국립한밭대학교)

발광1-4 | 15:10 초청강연
Revolutionary display technology: QLEDs based on microcavity structure
이태수*(Inha Univ.)

Break Time | 15:30

좌장 : 조힘찬(한국과학기술원)

발광2-1 | 15:50 초청강연
Enhanced Optical Properties of CsPbBr3 Nanoparticles by Post-Treatment of Aluminum Solution
Lee Chang-Lyoul*(Advanced Photonics Research Institute (APRI), Gwangju Institute of Science and Technology (GIST))

발광2-2 | 16:10 초청강연
Surface engineering for perovskite light-emitting diodes
이승진*(한국에너지공과대학교)

발광2-3 | 16:30 초청강연
Lattice Engineering via Fine Cation Incorporation in Halide Perovskite Nanocrystals for Stable and Efficient Light-Emitting Devices
박민호*(Soongsil Univ.)

발광2-4 | 16:50 초청강연

Surface Engineering for Efficient and Stable Metal Halide Perovskite Nanocrystals for Light-Emitting Diodes

Park Jonghyun*(Chonnam National University)

발광2-5 | 17:10 초청강연

Defect Engineering in Perovskites for Optoelectronic Devices

Hobeom Kim*(Gwangju Institute of Science and Technology)

적층제조 및 분말 II

위원장 : 김형섭 (포항공과대학교)

총무간사 : 홍순직 (공주대학교), 강민철 (3D프린팅연구조합)

Room 2층 206/7, 10월 30일

좌장 : 염화성(포항공과대학교)

적층5-1 | 09:00

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조한 결함이 존재하는 Al-Cu-Mg-Ag-ZrH_2 합금의 극저온 미세조직 및 기계적 특성

한규미, 하수빈, 손수정, 김래언, 구본우, 김형섭*(포항공과대학교)

적층5-2 | 09:15

Wire Arc Additive Manufacturing으로 제조된 Al-Mg-Sc-Zr 합금의 미세조직 및 기계적 특성 이방성

서예진, 전민수, 황원구(인하대학교), 오민선, 감동혁(한국생산기술연구원), 이기안*(인하대학교)

적층5-3 | 09:30

적층 제조된 AlSi10Mg 합금의 기계적 특성 향상을 위한 미세조직 기반 열처리 설계

한재연, 김준혁, 홍현욱*(창원대학교), 이지원, 조현철(두산에너빌리티)

적층5-4 | 09:45

알루미늄 다공체 구조와 기계적 물성에 미치는 분말 크기의 영향

최승혁, 김성진, 손승배, 이석재*(전북대학교)

적층5-5 | 10:00

재료 압출 기반 Cu 적층제조 금속의 HIP 처리에 따른 미세조직 및 충격 특성 평가

홍민기, 임민혁, 배주은, 유현우, 이지운*, 홍순직, 문종언, 송기안(국립공주대학교), 이기준(국립금오공과대학교)

적층5-6 | 10:15

Parametric study for size optimization for laser powder bed fusion fabricated parts

Raihan Hashmi Muhammad, Soung Yeoul Ahn, Bon Woo Koo, Man Jae Sagong, Hyojin Park, Jae Heung Lee, Rae Eon Kim, Hyoung Seop Kim*(포항공과대학교)

Break Time | 10:30

좌장 : 김세호(고려대학교)

적층6-1 | 10:40

Cold Spray Additive Manufacturing for Nuclear Energy Applications

염화성*(포항공과대학교)

적층6-2 | 10:55

Additively Manufactured $L1_2$-Strengthened High-Entropy Alloys: Improved Mechanical Properties via Direct Aging-Induced Heterostructures

Nam SeungJin(고려대학교), Sang Guk Jeong(포항공과대학교), Hahun Lee, Tae Jin Jang(고려대학교), Hyoung Seop Kim(포항공과대학교), Seok Su Sohn*(고려대학교)

적층6-3 | 11:10

Fe-Co-Cr-Ni-Mo 기반 철계 중엔트로피 합금의 최적 조성 탐색 및 시험: Direct energy deposition (DED) 기반 in-situ alloying

구본우, 이재흥, 이지영(포항공과대학교), 김대겸(한국생산기술연구원), 이정완, 김은성, 하효정(포항공과대학교), 김택수(한국생산기술연구원), 김형섭*(포항공과대학교)

적층6-4 | 11:25

L-PBF 공정을 적용한 산화물 분산 강화형 CoCrNi 중엔트로피 합금의 제조와 그 극저온 기계적 특성

최은비, 김수빈, 박소연(인하대학교), 김영균(한국재료연구원), 이기안*(인하대학교)

적층6-5 | 11:40

셀 구조 조절을 통한 초고강도 · 고연성 적층제조 마레이징 중엔트로피 합금 개발

이재흥, 권현석*, 구본우(포항공과대학교), 정상국(한화 에어로스페이스), 왕재민(막스플랑크 연구소), 안성열(포항공과대학교), 조성재(공주대학교), Stefanus Harjo, Wu Gong(J-PARC 연구소), 이성보(서울대학교), 홍순직(공주대학교), 홍순익(충남대학교) , 김형섭*(포항공과대학교)

좌장 : 손석수(고려대학교)

적층7-1 | 14:00 Canceled

차세대 국방 응용 분야를 위한 산화물 분산 강화 Ti-6Al-4V 적층 제조 합금 개발

임현태, 곽륜호, 박성민, 박창수, 박형기*(한국생산기술연구원)

적층7-2 | 14:15

L-PBF로 제조된 Ti, Si-modified Al-Zn-Mg-Cu 합금의 적층성 및 기계적 특성 향상

장동민, 김수빈(인하대학교), 이마태(포항공과대학교), 최중호, 김경태(한국재료연구원), 이병주(포항공과대학교), 이기안*(인하대학교)

적층7-3 | 14:30

Process Strategies to Enable Ti-6Al-4V Fabrication by Digital Light Processing

Gal Chang Woo*(Korea Institute of Materials Science), Yeong-Jin Choi (Korea Institute of Materials Science, Korea University of Science and Technology), Honghyun Park (Korea Institute of Materials Science), Hui-suk Yun *(Korea Institute of Materials Science, Korea University of Science and Technology)

적층7-4 | 14:45

레이저 클래딩 기반 타이타늄-텅스텐 카바이드 복합재의 하드페이싱 특성 연구

이승민(한국생산기술연구원, 부산대학교), 박석희(부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

적층7-5 | 15:00

합성곱 신경망(CNN)을 이용한 Ti6Al4V 합금 다공체의 기계적 특성 예측

김성진, 손승배, 이석재*(전북대학교)

적층7-6 | 15:15

Directed Energy Deposition(DED) 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V와 산화물 분산 Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 특성 비교

정재우, 이윤선, 성지현, 김건우, 김다혜*(한국생산기술연구원)

Break Time | 15:30

좌장 : 김정한(국립한밭대학교)

적층8-1 | 15:40

Ti-6Al-4V 격자 구조의 L-PBF와 EB-PBF 공정 차이에 따른 파단 거동 및 기계적 특성 분석

박윤지(국민대학교), 강성민(가천대학교), 강성규(경상국립대학교), 이경준(가천대학교), 성효경*(국민대학교)

적층8-2 | 15:55

Ti-6Al-4V 옥텟트러스 격자구조체의 구조 및 미세조직 변화에 따른 압축 변형 거동 분석

차다은, 박준영(경상국립대학교), 김종형(국립부경대학교), Muhammad Ishtiaq, 강성규*(경상국립대학교)

적층8-3 | 16:10

Effect of Compositional Intermixing on the Mechanical and Biological Properties of the DLP 3D printed Titanium Alloy (Ti64) and Hydroxyapatite (HA)

Bilal Muhammad(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Material Science (KIMS)), Chang Woo Gal(Korea Institute of Material Science (KIMS)), Hui suk Yun*(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Material Science (KIMS))

적층8-4 | 16:25

A Study on Photocurable Resin Systems to Enhance the Additive Manufacturing Perfomance of Ti-6Al-4V

Cho Haejoo(Korea University, Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Chang Woo Gal(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Joonho Lee(Korea University), Hui-suk Yun*(Korea Institute of Materials Science (KIMS), University of Science and Technology (UST))

AW-4 | 16:40 세아해암학술상 수상기념강연

금속복합재료의 in situ alloying 기반 적층제조

류호진(한국과학기술원)

에너지재료

위원장 : 신병하 (한국과학기술원)
부위원장 : 박찬진 (전남대학교)
총무간사 : 남대현 (고려대학교), 오지훈 (한국과학기술원), 유상우 (경기대학교)
Room 2층 208, 10월 30일

좌장 : 유상우(경기대학교)

에너지1-1 | 09:00

Tracking the Atomic-Scale Origin of the Overpotential-Driven Water Oxidation Mechanism on $LaCoO_3$

Park Chang Hyun, Lim younghwan(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), CHOI Jin-Seok(KAIST Analysis Center for Research Advancement), CHUNG Sung-Yoon*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

에너지1-2 | 09:15

Influence of Filler Dimension on the Electrochemical Performance in Composite Solid Electrolytes for All-Solid-State Lithium Metal Batteries

BAEK SEUNGJU, PARK CHANJIN*(Chonnam National University)

에너지1-3 | 09:30

Influence of CeO_x Support Size on Catalytic Performance of Pt/CeO_x-TiO_2 for CO Oxidation

Jieun Yun, Eunji Kang, Ju Hyeok Lee, Hongjin Park, Minkyeong Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National Univ.)

좌장 : 유상우(경기대학교)

에너지2-1 | 09:45

Strain-Engineering of Layered Transition Metal Dichalcogenides for Water Electrolysis

Lee Won-Kyu*(홍익대학교)

에너지2-2 | 10:00

Nanoscale Graded Nitrogen-Doping of TiO_2 via Pulsed Laser Deposition for Enhancing Charge Transfer in Perovskite Solar Cells

Jung Yonghoon, Kyung Tak Yoon(Department of Mechanical Engineering, Seoul National University), Junhyoung Park(Center for Nano Science and Technology, Istituto Italiano di Tecnologia), Hanseul Choi, Seongheon Kim, Hee Dong Kwak(Department of Mechanical Engineering, Seoul National University), Seong Ho Cho(Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology), Taehoon Kim, Jieun Lee, Yun Seog Lee*(Department of Mechanical Engineering, Seoul National University)

미래수소기술 특별세션

위원장 : 신병하 (한국과학기술원)
부위원장 : 박찬진 (전남대학교)
총무간사 : 남대현 (고려대학교), 오지훈 (한국과학기술원), 유상우 (경기대학교)
Room 2층 208, 10월 30일

좌장 : 신병하(한국과학기술원)

에너지3-1 | 10:15 초청강연

Interface Engineering for Highly Efficient and Stable Perovsktie Solar Cells and Their Applications
Kim Heejoo*, Yong-Ryun Kim, Ju-Hyeon Kim, Sanghan Lee, Kwnaghee Lee(Gwangju Institute of Science and Technology)

에너지3-2 | 10:40 초청강연

Design of H2-selective permeable polymeric membranes
김효원*(한국에너지공과대학교/KENTECH)

에너지3-3 | 11:05

Facet-Engineered Co_3O_4 Nanocrystals Assembled via Marangoni Flow for Selective Photoelectrochemical Nitrate Reduction
Hwang Jun Beom, Sanghan Lee*(광주과학기술원)

에너지3-4 | 11:20

Unveiling Fe-NiP Bifunctional Catalysts for High-Efficiency and Large-Area Photoelectrochemical Hydrogen Production with Organic and Perovskite Photoelectrodes
Kim Yejoon, Lee Sanghan*(광주과학기술원 (GIST))

에너지3-5 | 11:35

Control of Crystallization Dynamics via Vanadium-Polyethylene Glycol Interactions toward High-Performance $BiVO_4$ Photoanodes
Min Jihong, Byungha Shin*(한국과학기술원)

에너지3-6 | 11:50

Nanoscale Graded Nitrogen-Doping of TiO_2 via Pulsed Laser Deposition for Enhancing Charge Transfer in Perovskite Solar Cells
정용훈, 윤경탁(Seoul National University), 박준형(Istituto Italiano di Tecnologia), 최한슬, 김성헌, 곽희동(Seoul National University), 조성호(Massachusetts Institute of Technology), 이지은, 이윤석*(Seoul National University)

마그네슘

위원장 : 임창동 (한국재료연구원)
총무간사 : 이정훈 (경북대학교), 이내호 (다인경금속)
Room 2층 208, 10월 30일

좌장 : 이정훈(경북대학교)

마그네슘1-1 | 14:00

EPT 공정변수에 따른 난연성 Mg-Al-Ca 합금의 온도 및 미세조직 변화
이승엽, 이정훈, 유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), Shin-ichi Inoue, Yoshihito Kawamura(Kumamoto University), 이태경*(부산대학교)

마그네슘1-2 | 14:15

AZ31 합금의 선변형후 열처리를 통한 열전도도 제어 연구
천세호, 이승엽, 이정훈(부산대학교), 구현곤, 안재웅(한화에어로스페이스), 이태경*(부산대학교)

마그네슘1-3 | 14:30

Grain Refinement and Tensile Property Enhancement in Bimodal-Structured Mg Alloy Sheet via UNSM and Subsequent EPT
Won Pyo Hong(Kyungpook National University), Hyun Ji Kim(Agency for Defense Development), Taekyung Lee(Pusan National University), Jongbin Go(Max Planck Institute), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

마그네슘1-4 | 14:45

Effect of UNSM scanning direction on texture evolution and bending formability of annealed AZ31 alloy sheet
An gunwoong, Seoung-yooun Yu, Sung Hyuk Park *(Kyungpook National University)

마그네슘1-5 | 15:00

Microstructure of Porthole-die Extruded Hollow Magnesium Alloys and Their Deformation Characteristic
Kim Do-hyeon(Korea Institute of Materials Science, Kyungpook National Univ.), Ma Ying(Korea Institute of Materials Science, Pusan National Univ.), Lee Jun-Ho(Korea Institute of Materials Science, Korea Univ.), Yang Kyung Sun(Massive Lab Inc.), Moon Byung-Gi, Kim Young Min(Korea Institute of Materials Science), Park Sung Hyuk(Kyungpook National Univ.), Suh Byeong-Chan*(Korea Institute of Materials Science)

Break Time | 15:15

좌장 : 이태경(부산대학교)

마그네슘2-1 | 15:25

High-speed co-extrusion of Mg-5Bi-3Al / Al-0.7Mg-0.4Si alloys: influence of billet volume ratio on microstructure and mechanical properties
Seoung-yooun Yu, Gun Woong An, Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

마그네슘2-2 | 15:40

Microstructural control and hardness enhancement of 3D bicontinuous Mg-Ti composites via Co and Mo alloying of Ti-Cu precursors
Su-rin Cho, Bo-hyun Park, Hyun-jun Youn(Kyungpook National University), Jee-eun Jang(KITECH), Soo-hyun Joo(Dankook University), Sung-hyuk Park*(Kyungpook National University)

마그네슘2-3 | 15:55

시효경화성이 향상된 마그네슘 합금의 제조 및 시효경화 메커니즘에 관한 연구
이상봉*, 강민혁, 김성제, 김경택(국립금오공과대학교), Jose Victoria-Hernandez(Helmholtz-Zentrum hereon GmbH)

마그네슘2-4 | 16:10

2단 압출을 통한 생분해성 마그네슘 미세튜브 제조와 Mn, Sr 동시 첨가에 따른 기계적 물성과 생분해 거동의 변화
김재성, 김재연, 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식*(한국재료연구원)

마그네슘2-5 | 16:25

Comparative study on the effect of Al content on corrosion behavior and mechanical properties of mold-cast and die-cast Mg alloys
Liu Hongxiu(한국재료연구원, 창원대학교), Bae Jun-ho, Moon Young-hoon, Kim Jae-yeon*, You Bong-sun *(한국재료연구원)

제14회 터빈 소재 및 내열합금 심포지엄

위원장 : 서성문 (한국재료연구원), 심재혁 (한국과학기술연구원)
실무위원 : 윤대원 (한국재료연구원),
김진우 (한국과학기술연구원), 전종배 (동아대학교)
Room 2층 209/10, 10월 30일

좌장 : 서성문(한국재료연구원)

터빈1-1 | 09:00 초청강연 **Canceled**

항공용 가스터빈엔진 신합금 개발 적용성 평가 및 사례
손인수*(한화에어로스페이스)

터빈1-2 | 09:20 초청강연

항공엔진용 터빈 모듈 핵심소재 개발 성과
우한별*, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스)

터빈1-3 | 09:40 초청강연 **Canceled**

Brazing Technology for Gas Turbine Hot Gas Path Components
Hyun-Ki Kang*, Jongyeob Lee, Samsub Byun(Turbo Power Tech Co., Ltd.), Hi Won Jeong, Seong-Moon Seo, Hyungsoo Lee*(Korea Institute of Materials Science)

터빈1-4 | 10:00 초청강연

1.5% 레늄을 함유한 저비용 단결정 초내열합금 주조재의 결정방위에 따른 크리프 특성
구지호(한화에어로스페이스), 장익제(창원대학교), 정중은, 김인수(한국재료연구원), 이재현*(창원대학교)

Break Time | 10:20

좌장 : 최백규(한국재료연구원)

터빈2-1 | 10:30 초청강연

항공우주 부품용 Ni기 초내열 합금 고청정-고수율 분말 제조 기술
전창우*, 김충수, 이주호(주식회사 이엠엘 (R&D센터)), 김정재(한밭대학교 (기계공학과)), 박은수(주식회사 이엠엘 (R&D센터))

터빈2-2 | 10:50 초청강연

Multi-scale alloy design strategy for additive manufacturing of non-weldable CM247LC via electron beam melting
김태형, 이아름(국립창원대학교), 이찬희(한국과학기술원), 고원석(인하대학교), 이병수, 이해진(한국생산기술연구원), 홍현욱(국립창원대학교)

터빈2-3 | 11:10 초청강연

Weldability-Driven Control of Solidification Cracking in CMSX-4 for Additive Manufacturing
Shin Min Chang, Chun Eun Joon*(국립부경대학교)

좌장 : 홍현욱(국립창원대학교)

터빈3-1 | 14:00 초청강연

레이저 용융 증착 공정을 활용한 난용접-고강도 IN738LC 합금의 무균열 적층
강호성, 성예찬(경상국립대학교), 서성문, 이형수(한국재료연구원), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

터빈3-2 | 14:20 초청강연

인공지능을 이용한 석출경화형 단련용 니켈기 초내열합금의 개발
윤대원*, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수(한국재료연구원)

터빈3-3 | 14:40 초청강연

Temperature dependence of TCP phase on the deforamtion behavior in the Ni-based single-crystal superalloy
이상원*(KIMS, KAIST, Karlsruhe Institute of Technology), 도정현, 최백규, 정중은, 김인수(KIMS), Ujjval Bansal, Christopher Kirchlechner(Karlsruhe Institute of Technology), 최벽파(KAIST), 이수빈(Karlsruhe Institute of Technology)

좌장 : 윤대원(한국재료연구원)

터빈4-1 | 15:10 초청강연

수소가스터빈용 고온부품 소재의 수소취성 영향평가
송전영(두산에너빌리티), 윤희수, 남승훈(한국표준과학연구원), 김두현, 서진유(한국과학기술연구원), 마영화(두산에너빌리티)

터빈4-2 | 15:30 초청강연

실험계획법과 인공지능에 의한 니켈계 초내열합금의 조성에 따른 hot corrosion 저항성 분석
장희진(조선대학교), 서성문, 정희원, 유영수(한국재료연구원), 김희수*(조선대학교)

터빈4-3 | 15:50 초청강연

900 ˚C급Inconel 738LC의 Creep물성 향상 및 변형기구 규명의 연구
Jae Bok Seol(Kookmin University), Jong Bae Jeon(Dong-A University), Joong Eun Jung(Korea Institute of Materials Science)

터빈4-4 | 16:10 초청강연

H급 가스터빈용 Ni기 초내열 합금 물성 데이터베이스 구축
남승훈*(윤희수(한국표준과학연구원/수소에너지 그룹))

전산재료과학

위원장 : 권용우 (홍익대학교)
부위원장 : 이동화 (포항공과대학교)
총무간사 : 김형준 (한국과학기술원), 신정호 (한국화학연구원)
Room 2층 211, 10월 30일

좌장 : 장효선(한국재료연구원)

전산1-1 | 09:00

Phase-field Simulation of Grain Growth in U-7Mo Nuclear Fuel Considering Zener Pinning Effects
Jung Woo-Jin, Chang Kunok*(Kyung Hee Univ.)

전산1-2 | 09:15

Phase field Simulation of β-Nb Precipitation Behavior in Zr-Nb Alloy

LEE HWANHUI, Kunok Chang*(Kyung Hee University)

전산1-3 | 09:30

제일원리계산 및 기계학습 기반 γ-Fe 결정립계 특성에 따른 합금원소의 편석 예측 및 산화물 생성 저감

이호, 김상태*(한양대학교)

Break Time | 09:45

좌장 : 김경덕(포항공과대학교)

전산2-2 | 09:55

Fe-Mn 불순물이 포함된 알루미늄 주조합금의 응고 미세조직 형성에 대한 Calphad 기반 상장 모델 시뮬레이션

장형욱, 조휘재, 김동욱, 차필령*(국민대학교)

전산2-3 | 10:10

Phase-Field Model을 활용한 Q&P 강의 미세조직 및 계면 특성 분석

조휘재, 장형욱, 김동욱, 성효경, 김성균, 차필령*(국민대학교)

전산2-4 | 10:25

Order-disorder transition in 2D MC Potts model: I. simulation vs. mean field theory

Park MinSeong, Minguk Jang, Sukbin Lee*(Ulsan National Institute of Science and Technology)

Break Time | 10:40

좌장 : 신혜영(충남대학교)

전산3-1 | 10:50

Strain Engineering Effect on HER Activity through EMSI and Electronic Structure Tuning

KIM TAIHOON, Chung yongchae*(한양대학교)

전산3-2 | 11:05

Synergistic Metal-Support Effects in CO_2 Hydrogenation on Pd/Oxide Catalysts

Yejung Choi(Chungnam National University), Hyuk Choi(Nanyang Technological University), Suin Hwang, Seona Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National University)

전산3-3 | 11:20

Lithium Polysulfide Adsorption on Transition Metal-Nitrogen-Doped Graphene for Advanced Cathode Hosts in Li-S Batteries

Lee Soyun, Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

전산3-4 | 11:35

Moisture-Induced Surface Degradation Mechanism of Argyrodite Li_6PS_5Cl Under Dry-Room Conditions

Kim Yoon-Seong, Seo Dong-Hwa*(KAIST)

좌장 : 홍기하(국립한밭대학교)

전산4-1 | 14:00 초청강연

Phase-field modeling of the Laves phase during solidification of 7000 series aluminum alloys

김근우(고려대학교), 김성균, 김동욱, 차필령*(국민대학교.)

전산4-2 | 14:25

전산모사를 통한 열연코일의 재질편차 예측 및 개선

김동완*(포스코 기술연구원)

Break Time | 14:40

좌장 : 김형준(한국과학기술원(KAIST))

전산5-1 | 14:50 초청강연

분자동역학을 활용한 생체기능성 소재 연구: 기계공학적 관점

윤태영*(국립창원대학교/기계공학부)

전산5-2 | 15:15

전기장 매개 아밀로이드 K16 변이체의 기계적 안정성 저하

임송희, 신홍철, 윤태영*, 염준빈(국립창원대학교)

전산5-3 | 15:30 Canceled

Machine Learning Force Field-Driven Molecular Dynamics of SiH_4 Deposition in Hard Carbon Supports for Si-C Anodes

Heo Changhoon*, Choi Yeol Kyo (AI · Robot Convergence Lab, POSCO N.E.X.T. Hub), Kwak Woojin , Kim Dae Hyun , Lee YunJi , Kim Jin Won (Energy Materials Lab, POSCO N.E.X.T. Hub)

Break Time | 15:45

좌장 : 김용주(고려대학교)

전산6-1 | 15:55 초청강연

Acceleration of quantum mechanical property prediction using deep learning

Yang Jeong Park*(한국과학기술연구원)

전산6-2 | 16:20

Developing solid-state electrolyte using machine-learned potential

Lee Byungju*(Korea Institute of Science and Technology)

전산6-3 | 16:35

Synthesis Simulation of Sulfide Solid Electrolytes with Machine Learning Interatomic Potential

Park Seonhye, Kang Joonhee*(Pusan National University)

전산6-4 | 16:50

Solid-Electrolyte Interphase Formation and Oxygen-Doping Effects at Li | Li_6PS_5Cl Interfaces Revealed by a Machine-Learning Framework

Yang Sojeong, Byungju Lee*(Korea Institute of Science and Technology)

여성수상자 기념강연

위원장 : 김미소 (KAIST), 장혜정 (한국과학기술연구원)
총무간사 : 최현주 (국민대학교), 정은진 (RIST)
Room 2층 212/13, 10월 30일

좌장 : 김미소(KAIST), 장혜정(한국과학기술연구원)

Opening remarks | 09:00

여성1-1 | 09:10 **KOFWST-KIM KJMM 젊은 연구자상**

주증기배관용 SA508 Gr.1A 저합금강의 미세조직 변화가 파괴저항성에 미치는 영향
현세미(한국원자력연구원), 배소영(한국원자력연구원, 고려대학교), 홍석민, 김종민, 김민철*(한국원자력연구원)

여성1-2 | 09:30 **KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상**

스피노달 강화기구 활용한 철계 중엔트로피 합금 강화
박효진(포항공과대학교), Farahnaz Haftlang*(Northwestern University), 허윤욱*(포항공과대학교), 설재복(국민대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

여성1-3 | 09:50 **KOFWST-KIM EML 젊은 연구자상**

Flexible Transparent Conductive Electrodes with Enhanced Optoelectronic Performance via Electrodeposited Hierarchical Silver Networks
Eunyeong Yang, Choong-Heui Chung*(Hanbat National University)

Break Time | 10:10

좌장 : 정은진((재)포항산업과학연구원)

여성2-1 | 10:20 **초청강연**

금속 부식 현상의 이해
하헌영*, 이태호, 박성준(한국재료연구원)

여성2-2 | 10:40 **초청강연**

신재생 에너지를 활용한 탄소 저감 기술: 스마트 윈도우, 인공광합성, 탄자니아
이선영*(한양대학교)

좌장 : 김미소(KAIST)

여성3-1 | 11:00 **초청강연**

From Submission to Success: An Advanced Perspective
주소연(Deputy Editor of Advanced Materials, Wiley)

대학원생 때 알았으면 좋았을 것들

위원장 : 정은진 (RIST)
실무위원 : 이진영 (연세대학교)
Room 2층 212/13, 10월 30일

좌장 : 정은진((재)포항산업과학연구원)

대학원생1-1 | 14:00 **초청강연**

철강에서 배터리로
이준엽*(LG에너지솔루션)

대학원생1-2 | 14:25 **초청강연**

포기하지 않는 사람에게 기회는 온다
이준민*(포항공과대학교)

대학원생1-3 | 14:50 **초청강연**

보통 사람이 걸어가는 연구자의 길
김수민*(한국재료연구원)

대학원생1-4 | 15:15 **초청강연**

다양한 경험으로 슬기로운 회사생활
송덕용*(한화에어로스페이스(주))

대학원생1-5 | 15:40 **초청강연**

재료공학 연구 결과를 기술이전, 국제표준, 그리고 창업으로
김병준*(한국공학대학교)

재료정책세션

Room 2층 214, 10월 30일

좌장 : 석현광(한국과학기술연구원)

정책1-1 | 10:00 **초청강연**

AI 대전환의 시대! 나노소재산업이 가야 할 길
조진우(한국전자기술연구원)

좌장 : 이기안(인하대학교)

정책2-1 | 10:40 **초청강연**

제8차 산업기술혁신계획(2024~2028)의 비전과 전략
이헌구(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

정책2-2 | 11:00 **초청강연**

2026년 산업통상자원부 R&D 투자 방향
이지욱(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

정책2-3 | 11:20 **초청강연**

초격차 프로젝트 추진 현황과 산업기술 혁신정책
김무진(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

정책2-4 | 11:40 **초청강연**

금속재료 분야 R&D 전략 및 사업 기획 방향
이광석(한국산업기술기획평가원(KEIT))

좌장 : 송재용(포항공과대학교)

정책3-1 | 14:00

국가전략핵심소재 연구과제 발표

정책3-2 | 14:20 초청강연

항공용 고비강도 Al-Zn-Mg-Cu 알루미늄 합금 판재 제조기술

김형욱, 조용희, 김원경, 이윤수(한국재료연구원)

정책3-3 | 14:35 초청강연

차세대 극한 스케일링 반도체 배선 소재 기술개발

손성현, 백대윤, 백승현, 김형준(한국과학기술연구원 차세대반도체연구소)

정책3-4 | 14:50 초청강연

3차원 나노구조 인자를 활용한 재료 신물성 탐색

전석우(고려대학교)

Break Time | 15:05

정책3-5 | 15:10

과기정통부 연구현장 포럼

Break Time | 15:50

좌장 : 석현광(한국과학기술연구원)

정책4-1 | 16:00 초청강연

실패의 경험으로부터 배우는 기능성 소재의 상용화 전략

송용설((주)아모그린텍)

인공지능재료과학

위원장 : 이승철 (한국과학기술원)
부위원장 : 윤종필 (한국생산기술연구원),
김동훈 (한국과학기술연구원)
총무간사 : 김문조 (한국생산기술연구원),
김세종 (한국재료연구원), 김용주 (고려대학교)
Room 3층 301, 10월 30일

좌장 : 윤종필(한국생산기술연구원)

인공1-1 | 09:00

LLM 기반 소재 문헌 데이터베이스 구축을 통한 양방향 설계 방법론

천재은(국민대학교.), 어광준, 조용희(한국재료연구원), 조기섭*(국민대학교.)

인공1-2 | 09:15

PINN을 활용한 β-타이타늄계 초탄성 거동 분석

유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), Shuanglei Li(경상국립대학교), 임진환, 남태현(Huaqiao University), 이태경*(부산대학교)

인공1-3 | 09:30

내화 고엔트로피합금의 탄성물성 예측을 위한 기계학습 모델과 불확실성 평가

오창석, 장효선, 박지원*(한국재료연구원)

인공1-4 | 09:45

Intelligent Prompt Engineering for Literature Retrieval in Ni-Based Superalloys

Sejin Park, Yeji Won(Kookmin University), Youngbeum Song, Daewoong Kim(Agency for Defense Development), Kisub Cho*(Kookmin University)

좌장 : 김병현(한양대학교)

인공2-1 | 10:00

고차원 입력 공간에서의 GPR 기반 능동학습 한계 극복을 위한 매니폴드 제약 준지도 표현학습 프레임워크

최준혁, 조기섭*(국민대학교)

인공2-2 | 10:15

Generation of microstructures in high-elasticity aluminum casting alloys using a diffusion-based GAN architecture

Junyong Choi, Young-Hee Cho, Jaimyun Jung, Sehyeok Oh*, Ho Won Lee*(한국재료연구원)

인공2-3 | 10:30

Natural Language Processing Based Automated Extraction of Ionic Conductivity Data for Proton-Conducting Ceramic Electrolysis Cells

Shin Gaheun, Lee Seongho , Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

인공2-4 | 10:45

Large Language Model-assisted feature extraction for Machine Learning driven design of Ni-based superalloys

Min Hyungi(Seoul National University), Jung Heechan, Kang Dongsoo(Hanwha Aerospace), Park Eun Soo*(Seoul National University)

인공2-5 | 11:00

A Design Methodology for High-Ductility Refractory High Entropy Alloys via Metaheuristics and Bayesian Optimization with EMTO-CPA Calculations

PARK KI SEONG, JANG HYO SUN, PARK JI WON(Korea Institute of Materials Science), LEE JIN WOONG, LEE BYUNG DO(Sejong University), SON SU JUNG, LEE SHI WOO(POSTECH), SOHN KEE SUN(Sejong University), KIM HYOUNG SEOP(POSTECH), OH CHANG SEOK*(Korea Institute of Materials Science)

좌장 : 윤종필(한국생산기술연구원)

인공3-1 | 11:15 초청강연

Full-Cycle AI-Driven Materials Research: From Data Generation to Discovery

Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

인공3-2 | 11:40

Unsupervised EDS embedding resolves collapse of metastable chemical ordering in high-entropy chalcogenides

장한휘(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min-Wook Oh(Hanbat National University), Yeon Sik Jung(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

인공3-3 | 11:55

Data-Driven Prediction of Secondary Battery Health Indicators Using Self-Attention Mechanism

Lee Seongho, Joonhee Kang*(부산대학교)

마그넷

위원장 : 이우영 (연세대학교)
부위원장 : 이정구 (한국재료연구원), 임혜인 (숙명여자대학교)
총무간사 : 김태훈 (한국재료연구원), 이현숙 (연세대학교)
Room 3층 301, 10월 30일

좌장 : 김태훈(전남대학교)

마그넷1-1 | 14:00 초청강연

고성능 영구자석용 신소재 개발 지침
권해웅*(부경대학교)

마그넷1-2 | 14:25 초청강연

Microstructural and Magnetic Optimization of $SmFe_{12}$-Based Bulk Magnets via Vanadium Substitution and Thermal Processing
Park Jihoon*(한국재료연구원)

마그넷1-3 | 14:50

Effect of Reducing Agent Type on Reduction-Diffusion in Nd-Fe-B Magnet Sludge Recycling
Galkin Vitalii(DGIST, Kyungpook National University), Jong Wook Roh(Kyungpook National University), Dong Hwan Kim(DGIST), Dongsoo Kim(KIMS), Jeongmin Kim*(DGIST)

마그넷1-4 | 15:05 초청강연

교자성의 쓸모에 대하여
제승근*(전남대학교 물리학과)

마그넷1-5 | 15:30 초청강연

연자성, 경자성 재료 기반 모터 설계 연구 동향
박민로*(순천향대학교)

Break Time I 15:55

좌장 : 박지훈(한국재료연구원)

마그넷2-1 | 16:00 초청강연

In-Situ LTEM Observation of Magnetic Phase Transition in a Chiral Magnet
Tae-Hoon Kim*(Chonnam National University)

마그넷2-2 | 16:25 초청강연

Fabrication of fine-grained Nd-Fe-B anisotropic magnets using single-crystalline particles synthesized by reduction-diffusion process
Keunki Cho, Seol-mi Lee, Sumin Kim, Jung-Goo Lee, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))

마그넷2-3 | 16:50 초청강연

Simultaneous improvement in coercivity and remanence of (Nd, Pr)-ultra-saving Ce-substituted RE-Fe-B sintered magnets by grain boundary diffusion process using low-melting Nd-Cu-Al-Ga alloy
Sujin Lee, Sumin Kim, Kyoung-Hoon Bae, Dong-Hwan Kim, Jung-Goo Lee, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))

마그넷2-4 | 17:15

다중 재료 압출을 통한 적층제조 기반 고규소 Fe-Si 연자성 코어의 절연 구조 설계 및 자기적 특성 평가
임태협, 이강현, 김민종(한양대학교 ERICA), 이동주(충북대학교), 김종렬, 이선영*(한양대학교 ERICA)

제34회 피로 및 파괴 심포지엄

위원장 : 이홍철 (한화에어로스페이스)
실무위원 : 석무영 (한국재료연구원)
Room 3층 302/3, 10월 30일

좌장 : 석무영(한국재료연구원)

피로1-1 | 09:00 초청강연 **Canceled**

항공엔진 소재부품 피로파괴 사례 및 개발 방향
손인수*(한화에어로스페이스)

피로1-2 | 09:25

항공 엔진 소재의 주조품 등급별 피로특성 평가
김동혁*(한화에어로스페이스)

피로1-3 | 09:40 **Canceled**

항공용 가스터빈엔진 터빈 디스크 소재별 고온피로거동 연구
김영무*, 강동수, 권혁준, 김동혁, 정희찬, 손인수(한화에어로스페이스)

피로1-4 | 09:55

항공엔진 소재 LCF 특성 평가 Tool 개발
안두홍*, 손인수, 이동엽(한화에어로스페이스), 이명규, 심규장(서울대학교)

피로1-5 | 10:10

항공엔진 소재부품 Thermal Mechanical Fatigue 특성 평가
김보희*, 이동엽, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스)

Break Time | 10:25

좌장 : 강동수(한화에어로스페이스)

피로2-1 | 10:35 초청강연

미세조직 기반 일축 피로수명, 다축 피로수명 및 산포도 예측 기법 개발
최윤석, 신종훈(부산대학교)

피로2-2 | 11:00 초청강연

군용 가스터빈 엔진 고온부품의 결함사례 연구
이홍철*(한화에어로스페이스), 김시호, 조형진(공군 항공기술연구소)

피로2-3 | 11:25

자가치유를 고려한 열가소성 복합재 구조건전성 평가 방법
이두열*(부산대학교)

피로2-4 | 11:40

KT-100 항공기 엔진 상태분석검사(ACI) 수행사례
김홍석, 김영찬, 김시호*(공군 군수사령부 항공기술연구소)

좌장 : 이두열(부산대학교)

피로3-1 | 14:00

항공기 무장발사 Adapter 결함원인분석 및 수리방안 연구
권혁준*(항공기술연구소)

피로3-2 | 14:15

항공기 엔진 Ejector 손상분석 사례 연구
김영찬, 김홍석, 김시호*(항공기술연구소)

피로3-3 | 14:30

고엔트로피합금의 미세조직이 피로 균열 전파 특성에 미치는 영향
박윤지(국민대학교), 박상은(두산에너빌리티), 성효경*(국민대학교)

피로3-4 | 14:45

F.O. 제거 Sweeper 손상 메커니즘 연구
이병현*, 조형진, 김보광, 손경숙(공군 항공기술연구소)

Break Time | 15:00

좌장 : 권혁준(공군 항공기술연구소)

피로4-1 | 15:10

항공기 투명창 성형공정 개발
정대호, 김덕성, 안교진, 이재훈, 김희성, 송민환, 정유인*(한국항공우주산업(주))

피로4-2 | 15:25

국산 타이타늄 소재의 피로균열전파 시험을 통한 수명 적합성 통계적 분석
안교진, 김예진, 송민환, 정유인*(한국항공우주산업(주))

피로4-3 | 15:40

항공용 저밀도 실란트 국산화 및 성능평가 고찰
김희성, 강주현, 안교진, 송민환, 정유인(한국항공우주산업(주))

피로4-4 | 15:55

항공용 표준품 개발 현황 및 향후 과제에 대한 고찰
임종묵, 류호원, 정유인*(한국항공우주산업(주))

가공-용접 및 접합

위원장 : 배규열 (포스코 기술연구원)
총무간사 : 강용준(한국재료연구원),
문경일 (한국생산기술연구원), 오세권(한국생산기술연구원),
이광석(한국재료연구원), 이제인(부산대학교)
Room 3층 304, 10월 30일

좌장 : 박기태(한국재료연구원)

용접1-1 | 09:00

SMR용 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 용접부 고온균열 민감도에 미치는 합금원소의 영향
정혜은(한국재료연구원, 국립부경대학교), 강용준*, 박기태, 송상우(한국재료연구원), 천은준(국립부경대학교)

용접1-2 | 09:15

듀얼 레이저 빔의 출력 제어에 따른 Al-Cu 겹치기 용접부의 특성 평가
유채은, 윤성민(부산대학교), 김용(고등기술연구원), 이제인*(부산대학교)

용접1-3 | 09:30

Si_3N_4/Cu 이종 접합 방열 기판 개발 및 미세조직 평가
권홍기(포항소재산업진흥원), 김준태, 이경훈(주식회사 코웰), 박상원*(포항소재산업진흥원)

용접1-4 | 09:45

Effect of Lotus Cu on thermal shock properties in Ag-Sintered joints
김민수(Inha University), 김상욱(Lotus Materials Co., Ltd.), Hiroshi Nishikawa*(Osaka University), 현승균*(Inha University)

용접1-5 | 10:00

SS 304 확산접합부의 온도에 따른 수소취성 거동 분석
최동현(부산대학교), 김현준, 손영훈(동화엔텍), 강남현*(부산대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 박철호(조선대학교)

용접2-1 | 10:25

핵융합로 구조용 저방사화강 용접부 화학성분 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구
김경환, 강용준*, 박기태, 송상우, 이창훈(한국재료연구원)

용접2-2 | 10:40

빔 와블링으로 미세조직이 제어된 알루미늄/구리 이종 레이저 용접부의 피로특성 평가
윤성민, 유채은(부산대학교), 김용(고등기술연구원), 이제인*(부산대학교)

용접2-3 | 10:55

적외선 카메라 및 로젠탈 방정식을 이용한 Haynes 282 레이저 용접부의 미세조직 및 기계적 물성 분석
양희평, 조덕현(동아대학교), 이규흔, 신선미, 김병구(한국생산기술연구원), 전종배*(동아대학교)

용접2-4 | 11:10

Hybrid adhesive strategies for robust invar alloy to ceramic joints: Surface activation and nano-reinforced bonding for defense application
Gargi Roy, Raj Narayan Hajra(Hanbat National university), Se-Hwan Lee(Agency for Defense Development), Park-Jeong Ung(Chosun University), Jeoung Han Kim*(Hanbat National university)

용접2-5 | 11:25

단련재 및 적층제조 17-4PH 스테인리스 강의 이종 용접부에서 용접 열이력 및 모재 조건에 따른 후열처리 시 석출 거동 변화
주하연, 김종훈(국립창원대학교), 이지원, 최용혁(두산에너빌리티 AM 개발팀), 홍현욱*(국립창원대학교)

좌장 : 강용준(한국재료연구원)

용접3-1 | 14:00 초청강연

1.5GPa급 마르텐사이트강 용접금속의 기계적 특성 및 수소 취화 저항성 향상을 위한 미세조직 관점의 최적화 연구
배규열*(포스코기술연구원), 문준오(국립창원대학교)

용접3-2 | 14:25

수소 주입 유무에 따른 API X70급 ERW 강관 용접부의 피로 저항성 평가

백종민(국립창원대학교), 이찬희(한국과학기술원), 곽진섭, 전동현(현대스틸파이프), 홍현욱*(국립창원대학교)

용접3-3 | 14:40

316L 스테인리스 강 용접부의 델타페라이트 및 화학조성 차이에 따른 극저온 물성과 내수소취성

남지민(부산대학교), 유재석(한화오션), 지창욱(한국기술연구원), 이승건(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)

용접3-4 | 14:55

Fe-Zn LME를 저감하는 합금상의 역할과 합금상 형성 구동력

정대훈, 김성준*(포항공과대학교)

용접3-5 | 15:10

고주파 유도가열을 이용한 용접 변형 소재의 곡직 및 열변형 영향 분석

김병주*, 김성민, 송창섭, 이희근*(중소조선연구원)

Break Time | 15:25

가공-소성가공

위원장 : 배규열 (포스코 기술연구원)
총무간사 : 강용준(한국재료연구원),
문경일 (한국생산기술연구원), 오세권(한국생산기술연구원),
이광석(한국재료연구원), 이제인(부산대학교)
Room 3층 304, 10월 30일

좌장 : 신다슬(한국재료연구원)

소성1-1 | 15:40

고온 글리블 압축시험을 통한 Cu-Ti 합금의 압축 유동 응력 거동 및 프로세싱 맵 분석

최광수, 공만식*, 양현석, 정항철(고등기술연구원)

소성1-2 | 15:55

A Study of the Strain Path Dependency of Non-Heat Treatment Fe-Cr-Mn Steel for Cold Heading Quality Wire Rod

Jong Hyeok Lee(Inha Manufacturing Innovation School), Jae Han Lim(Inha Univ., Hyundai Steel R&D Center), Moon Won Park(Inha Manufacturing Innovation School), Kyu Ho Lee(Hyundai Steel R&D Center), Byoung Lok Jang*(Inha Manufacturing Innovation School)

소성1-3 | 16:10

냉간 신선 중 온도 상승이 펄라이트 강선 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향

이승희, 박형준, 이진우, 박주현(동아대학교), 정진영(고려제강), 강신곤*(동아대학교)

소성1-4 | 16:25

수소이송용 저비용 고강도 중엔트로피합금 튜브의 가공성 개선 및 수소취성 연구

이재호(한국재료연구원, 부산대학교), 김영균(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 나영상*(한국재료연구원)

소성1-5 | 16:40

금속-폴리머-금속 적층판재의 Deep Drawing 성형 거동 해석: Fracture and Wrinkling

김재훈, 최연택, 김래언, 구강희, 권지혜(포항공과대학교), 서민홍(포스코), 김형섭*(포항공과대학교)

철강B-압연,강종개발,후처리

위원장 : 김성연 (포스코)
총무간사 : 김성규 (포스코), 박주현 (한양대학교),
황병철 (서울과학기술대학교)
Room 3층 305/6, 10월 30일

좌장 : 김혜진(한국공학대학교)

철강B1-1 | 09:00

저탄소 초고강도 마르텐사이트 강의 강화기구 분석: 석출 거동에 따른 고용 탄소의 역할 규명

손성하(포항공과대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 노이준, 김세호(고려대학교), 서동우(포항공과대학교)

철강B1-2 | 09:15

3Mn Q&P강의 퀜칭 온도에 따른 기계적물성과 변형거동 분석

김규헌, 임용수(한양대학교), 김지훈(부산대학교), 김진경*(한양대학교)

철강B1-3 | 09:30 철강장학생 초청강연

마르텐사이트 기지와 정합성에 따른 바나듐 탄화물의 수소 탈착 활성화 에너지

이진영(연세대학교), 김민정(현대제철), 정현빈(한화파워시스템), 조원희, 설재복(국민대학교), 김창훈, 이동화(포항공과대학교), 이영국*(연세대학교)

철강B1-4 | 09:45

레이저 커팅이 1.5GPa 급 Q&P강의 수소취성에 미치는 영향성

김형준*(연세대학교.)

철강B1-5 | 10:00

S355NL 강의 열간 변형 거동 예측을 위한 구성방정식 매개변수 최적화

이정훈, 유진영, 천세호, 이성호, 박동준(부산대학교), 이진모, 이채훈((주) 태웅), 이태경*(부산대학교)

철강B1-6 | 10:15

The Evolution and Current Status of Hot Stamping at Hyundai Motor Group

Lee Chang Wook*(현대자동차)

좌장 : 한정호(한양대학교)

철강B2-1 | 10:30

Mn이 불균일한 저탄소 마르텐사이트/베이나이트강의 미세조직 분석

김지훈*(부산대학교)

철강B2-2 | 10:45

크리프 및 미세구조적 관점의 차세대 원자로용 9Cr 페라이트 마르텐사이트 강에서 붕소와 질소의 역할

김동하(연세대학교, 한국원자력연구원), 오정목*, 여승환, 김준환(한국원자력연구원), 이영국(연세대학교)

철강B2-3 | 11:00

The effect of Co and Mo on creep behavior of 10Cr heat-resisant steel

박봉천(한국재료연구원, 부산대학교), 석우영(한국재료연구원), 김성대(부경대학교), 박이호, 장재훈*(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)

철강B2-4 | 11:15

노치 곡률 및 변형률 속도에 따른 오스테나이트계 스테인리스강과 고망간강의 수소취성 변화

신승혁, 정민섭, 백관우(서울과학기술대학교), 이준엽, 이승건(한국재료연구원), 황병철*(서울과학기술대학교)

철강B2-5 | 11:30

Effects of Homogenization on Cu-rich Nanoprecipitation Behavior in 17-4PH Stainless Steel Fabricated via Directed Energy Deposition

Park Yejun*(KAIST), Subin Lee(Karlsruhe Institute of Technology), Pyuck-Pa Choi(KAIST)

철강B2-6 | 11:45

Development of TRIP-maraging steel through tailored segregation engineering and metastable phase separation

예정원, 김민석, 박은수*(서울대학교)

좌장 : 강신곤(동아대학교)

AW-5 | 14:00 현대제철학술상 수상기념강연

High-Temperature Observational Research in Steelmaking – Focusing on Refractory Reactions

정용석(한국공학대학교)

철강B3-2 | 14:25

Ti-Nb계 냉연 초고강도 저합금강에서 Ti 함량이 기계적 특성에 미치는 영향 평가

정종현, 신상훈, 이창근, 김수헌, 나광수*(현대제철 기술연구소)

철강B3-3 | 14:40

Nb-Ti 냉연 석출강의 기계적 특성에 미치는 미세조직의 영향

황유진*, 김종명, 신상훈, 나광수(현대제철)

철강B3-4 | 14:55

V-Ti 첨가 냉연 석출강의 재질에 미치는 초기 미세조직 영향

김종명, 정종현, 나광수(현대제철 기술연구소)

좌장 : 김지훈(부산대학교)

철강B4-1 | 15:10 초청강연

멀티스케일 시뮬레이션을 활용한 Tramp 원소 결정립계 액상 침투 메커니즘 규명

고원석*(고려대학교), 박종훈, 안혜현(인하대학교), 김동휘, 강민우, 김영재(현대자동차)

철강B4-2 | 15:35

Effect of Cu and Nb-Ti-V Alloying on Recrystallization Behavior and Mechanical Properties of High Strength Low Alloy Steel

김수헌, 정종현, 이창근, 신상훈, 나광수*(현대제철연구소)

철강B4-3 | 15:50

홀확장성이 우수한 1180MPa급 냉연 초고장력강 개발

문주연, 이상욱*, 정유담(현대제철 기술연구소)

철강B4-4 | 16:05

Hydrogen embrittlement under diverse mechanical environment in ultra-high strength press hardening steel

Ju Seokhwan, Lee Ho Hyeong, Oh Eun-Chae(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Lee Seawoong(POSCO), Suh Dong-Woo*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

철강B4-5 | 16:20

표면 석출물의 거동이 자기적 특성에 미치는 영향

이한샘, 유성현, 안용근(현대제철), 이소현, 김주영(울산과학기술원), 강춘구*(현대제철)

좌장 : 강지현(영남대학교)

철강B5-1 | 16:35

오스테나이트 스테인리스강의 초세립 기구 및 미세조직 변화

노한섭*, 추나연, 이재화, 김상석(POSCO 기술연구원)

철강B5-2 | 16:50

페라이트계 스테인리스강 슬라브의 오프코너 표층하 크랙의 진화 거동

이계만*, 이상진(㈜포스코)

철강B5-3 | 17:05

듀플렉스 스테인리스강의 산세성 개선을 위한 합금설계 연구

김문수*, 김진석, 채동철(포스코)

철강B5-4 | 17:20

고탄소 마르텐사이트 스테인리스강의 탄화물 석출 전산해석 모델 고도화

정일찬*(포스코)

자원순환형 저탄소 알루미늄 심포지엄

위원장 : 김형욱 (한국재료연구원)
실무위원 : 김명균 (포항산업과학연구원),
조영희 (한국재료연구원), 김세훈 (한국자동차연구원)
Room 4층 컨벤션1, 10월 30일

좌장 : 김명균(포항산업과학연구원)

저탄소1-1 | 10:00 초청강연

알루미늄 소재 분야 탄소 저감 기술 동향

강희삼*(현대자동차)

저탄소1-2 | 10:25 초청강연

사용 후 알루미늄 스크랩 사용량 증가에 따른 용탕청정도와 빌렛 품질 및 압출성의 상관관계에 대한 정량적 분석

오승환*, 노주현((주)에이알알루미늄)

저탄소1-3 | 10:50 초청강연

알루미늄 합금의 주조 및 열처리 공정에서 기계적 특성 예측

윤중묵*(애니캐스팅소프트웨어)

저탄소1-4 | 11:15 초청강연

고진공다이캐스팅용 알루미늄합금의 스크랩비율에 따른 용탕청정도 고찰 (Effect of Scrap Addition on Melt Cleanliness of Aluminum Alloys for High-Vacuum Die Casting)

정무섭(주식회사 동남), 장호성, 이규흔, 박진영(한국생산기술연구원), 김억수*(디엔케이모빌리티), 신선미*(한국생산기술연구원)

좌장 : 어광준(한국재료연구원)

저탄소2-1 | 14:00 초청강연

Secondary Aluminum Recycling for Korea

Yoon Min*(한국호세코)

저탄소2-2 | 14:25 초청강연

알루미늄 스크랩의 리사이클링을 통한 알루미늄 합금 개발

정인호*(서울대학교)

저탄소2-3 | 14:50 초청강연

EOL 스크랩 활용 저탄소 고강도 6000계 알루미늄 압출재 개발 및 미세구조 분석

강태웅*, 옥현탁, 김동경((주)알멕)

저탄소2-4 | 15:15 초청강연

알루미늄 스크랩 용탕 비금속개재물 정량평가 신뢰도 향상방안

김덕*, 김명균(포항산업과학연구원)

Break Time | 15:40

좌장 : 김세훈(한국자동차연구원)

저탄소3-1 | 15:50 초청강연

재활용 친화형 알루미늄 소재기술

어광준*, 조영희(한국재료연구원)

저탄소3-2 | 16:15 초청강연

Charge Weld 개선을 통한 알루미늄 압출 수율 향상 방안

심문세*(ALMAC / Technical Research Institute)

저탄소3-3 | 16:40 초청강연

고함유 Fe 알루미늄 합금의 고강도 고연신화 기술

김재황*(한국생산기술연구원, 과학기술연합대학원대학교, 한국과학기술연구원)

저탄소3-4 | 17:05 초청강연

저탄소 알루미늄 전환을 위한 실증 연구 인프라 구축

정영길*, 김세훈, 신재혁, 김진평, 한범석(한국자동차연구원)

NEW-HORZON: 스마트 바이오 인터페이스 소재 심포지엄

위원장 : 김유찬(한국과학기술연구원)
실무위원 : 이주헌(한양대학교), 이준민(포항공과대학교)
Room 4층 컨벤션2, 10월 30일

좌장 : 이준민(POSTECH)

스마트1-1 | 10:00 초청강연

BioNano Engineering for Interventional Medicine

박정훈*(울산대학교 의과대학, 서울아산병원)

스마트1-2 | 10:30 초청강연

Engineering Electrochemical Biointerfaces from Atoms to Devices

Jimin Park*(KAIST)

스마트1-3 | 11:00 초청강연

DNA-Functionalized Hydrogels For Adaptive and Self-Replicating Biomaterials

최영재*(GIST)

좌장 : 이주혁(대구경북과학기술원)

스마트2-1 | 14:00 초청강연

골 조직 재생용 줄기세포 분화 제어를 위한 대면적 콜라젠 배향제어 연구

옥명렬*(한국과학기술연구원), 허철호(국민대학교), 여기백(고려대학교 안암병원), 채민정, 인수환, 함정우(한국과학기술연구원), 전상호(고려대학교 안암병원), 김소연(한국과학기술연구원)

스마트2-2 | 14:30 초청강연

Fiber Electronics With Eco-friendly, Biodegradable for Healthcare Purpose

Jaehong Lee*(DGIST)

스마트2-3 | 15:00 초청강연

DNApatite: An Elastic Apatite with Sub-Nanometer Scale Organo-Inorganic Structures

이정헌*(성균관대학교)

Break Tme | 15:30

좌장 : 정현도(한양대학교)

스마트3-1 | 16:00 초청강연

Laser Microfabrication Enabling Human-Synchronized Bioelectronic Devices

전호정*(KIST)

스마트3-2 | 16:30 초청강연

Polypyrrole-based immune-compatible implantable bioelectrodes

이재영*(GIST)

스마트3-3 | 17:00 초청강연

Advanced 3D Printing Technologies for Bioceramics with Applications in Tissue Engineering

윤희숙*(한국재료연구원)

KOREA-TAIWAN Global Session

Room 4FL, Convention3, October 30

Chair : Moon-Jo Kim(Korea Institute of Industrial Technology)

K-Taiwan1-1 | 09:00 **Invited Talk**

Spin-orbit torque devices and their applications for neuromorphic computing

Chih-Huang Lai(National Tsing Hua University)

K-Taiwan1-2 | 09:25 **Invited Talk**

Generative Discovery of Ferroelectrics with a Diffusion Model

Byung Chul Yeo(Pukyong National University)

K-Taiwan1-3 | 09:50 **Invited Talk**

Active learning approach in designing entropy alloy nanocatalyst

YongJoo Kim(Korea University)

Break Tme | 10:15

Chair: YongJoo Kim (Korea University)

K-Taiwan2-1 | 10:25 **Invited Talk**

Synchrotron x-ray-based combinatorial stoichiometry & microstructure high-throughput machine learning-assisted prediction & validation of a high-entropy-alloy hardness mapping

E-Wen Huang, Mao-Yuan Luo, Ming-Yi Chen(National Yang Ming Chiao Tung University), Ching-Yu Chiang(National Synchrotron Radiation Research Center), Wen-Jay Lee(National Center for High-Performance Computing)

K-Taiwan2-2 | 10:50 **Invited Talk**

Fundamental Mechanisms of Discontinuous Deformation in Metals at Ultra-cryogenic Temperature

Soo Yeol Lee(Chungnam National University)

K-Taiwan2-3 | 11:15 **Invited Talk**

Data-Driven Prediction of Hardness and Modulus in Additively Manufactured Stainless Steel Using EBSD – Nanoindentation Mapping

Moon-Jo Kim(Korea Institute of Industrial Technology), Daehyun Kim, Sunghee Han(Gangneung-Wonju National University), In-Suk Choi(Seoul National University), Jungho Shin(Gangneung-Wonju National University)

제102회 철강기술 심포지엄

Room 4층 컨벤션3, 10월 30일

좌장 : 권태우(현대제철㈜)

개회사 | 14:00

정유동 (현대제철)

환영사 | 14:05

김성연 (포스코, 철강분과위원회 위원장)

철강기술1-1 | 14:10 초청강연

위기 아니 기회 : 산학연정정이 함께 준비하는 한국 철강의 미래

민동준*(연세대학교)

철강기술1-2 | 14:35 초청강연

글로벌 산업환경 변화와 철강산업의 대응전략

정은미*(산업연구원)

철강기술1-3 | 15:00 초청강연

친환경-미래산업용 철강 원료-공정-제품 R&D 방향

이광석*(KEIT(산기평))

Break Tme | 15:25

좌장 : 태순재(현대제철㈜)

철강기술2-1 | 15:40 초청강연

HyREX 기술개발 현황

신명균*(포스코)

철강기술2-2 | 16:05 초청강연

저탄소 공정 기술 및 제품 개발 현황 (미국 전기로 제철소 등)

김용희*(현대제철)

철강기술2-3 | 16:30 초청강연

Research collaboration for sustainable green steelmaking processes: Reunion from BF to EAF

박주현*(한양대학교)

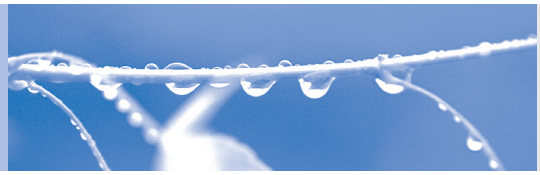
좌장 : 이준호(고려대학교)

철강기술3-1 | 16:55

[패널토론]기술 · 정책 · 시장 변화 속 철강산업의 대응과 협력 방향

민동준(연세대학교), 정은미(산업연구원), 이광석(KEIT(산기평)), 신명균(포스코), 김용희(현대제철), 박주현(한양대학교)

ORAL SESSION III 10월 31일



항공재료

위원장 : 이홍철(한화에어로스페이스)
총무간사 : 김시호(공군 항공기술연구소),
석무영(한국재료연구원), 송민환(한국항공우주산업㈜)
Room 2층 201/3, 10월 31일

좌장 : 강성규(경상국립대학교)

항공1-1 | 09:00

Molecular bonding of Ti/CFRP interfaces using polydopamine: influence of surface morphology on adhesion performance
Raj Narayan Hajra, Appiah Emmanuel, Gargi Roy, Shonmin Aan, Jeoung Han Kim*(Hanbat National University)

항공1-2 | 09:15

폐단면 관재의 3차원 열간 자유 튜브 성형(3D-HTFF) 공정 적용 가능성 검토
김정욱, 이승환(한국재료연구원), 김소연, 이석규(현대자동차), 권용남, 이동준, 석무영, 최현성, 박현일*(한국재료연구원)

항공1-3 | 09:30

레이저 분말 적층 융합으로 제조된 인코넬 718 격자 구조의 압축 거동 및 미세조직과의 상관관계 분석
정다은(국민대학교), 강성민(가천대학교), 강성규(경상국립대학교), 이경준(가천대학교), 성효경*(국민대학교)

Break Time | 09:45

좌장 : 김정기(경상국립대학교)

항공2-1 | 09:55

Reliability Assessment of Non-Destructive inspection Using Additively Manufactured Artificial Defect Specimens
Koo Hyeonsoo(Korea National Defense University), Kwon Hyukjun (Aero Technology Research Institute), Kim Youngchan , Lee Dooyoul *(Pusan National University)

항공2-2 | 10:10

HIP처리가 단결정 초내열 합금의 크리프 특성에 미치는 영향
조대현(창원대학교), 구지호(한화에어로스페이스), 이재현(창원대학교)

Break Time | 10:25

좌장 : 석무영(한국재료연구원)

항공3-1 | 10:35

Zr 함량에 따른 IN792 초내열합금의 고체/액체 계면 에너지 변화와 고온균열 민감성
진혜승(국립창원대학교), 한승전, 최은애, 서성문, 정일석(한국재료연구원), 구지호(한화에어로스페이스), 이재현*(국립창원대학교)

항공3-2 | 10:50

직접용융증착법으로 제조된 Inconel 625 / Al_2O_3경사기능재의 단열 및 기계적 특성
유현용(경상국립대학교), 유진영(부산대학교), 김태현, 이진수(경남대학교), 안성열(포항공과대학교), 이태경(부산대학교), 김세윤(경남대학교), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

항공3-3 | 11:05

직접용융증착법을 활용하여 접합한 IN738LC/CM247LC 이종소재의 인장 변형 중 계면 안정성
성예찬, 강호성, 김정기*(경상국립대학교)

항공3-4 | 11:20 **Canceled**

단결정 니켈기 초내열 합금 기반 항공용 부품의 이방성 해석적 반영
신종훈*, 강진혁(한화에어로스페이스)

재료분석

위원장 : 허윤욱(포항공과대학교)
총무간사 : 김성대(국립부경대학교)
Room 2층 206/7, 10월 31일

좌장 : 김성대(국립부경대학교)

분석1-1 | 09:00

XRD 기반 냉간압조용 선재의 오스템퍼링 열처리에 따른 베이나이트 분율 정량화 방법
김장중, 최준혁, 조기섭*(국민대학교)

분석1-2 | 09:15

SEM 이미지 기반 석출물 분율 측정의 한계와 AFM 검증
허성준, 천해영, 허성, 하준영, 박노근*(영남대학교)

분석1-3 | 09:30

Characterization of Formability Limits and Fracture Modes in DC05/AA5052 Dissimilar Joints Fabricated via Friction Stir-Assisted Synchronous Incremental Forming-Bonding
Zaigham Saeed Toor, Renhao Wu, Man Jae SaGong(POSTECH), Yue Wu, Xinmei Liu, Meng Li(Shanghai Jiao Tong University), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

분석1-4 | 09:45

Failure Analysis of Head Cracking in 12.9-Grade SNCM439 Bolts
Park Ki Duck, Oh Dong Hyun, Ham Jong Oh*(Korea Testing and Research Institute)

분석1-5 | 10:00

결정학적 정보를 활용한 복합다상강의 정밀 상분석
신누리(현대제철연구소, 성균관대학교), 강훈철, 서용기(현대제철연구소), 양철웅(성균관대학교)

열전

위원장 : 박수동(한국전기연구원)
총무간사 : 김일호(한국교통대학교), 이종수(경희대학교)
Room 2층 206/7, 10월 31일

좌장 : 오민욱(한밭대학교)

열전1-1 | 10:30

Thermoelectric Properties of n-type $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ Compounds as a Function of Sintering Temperature
Vu Ba Linh(Korea Institute of Materials Science, Kyungpook Nation University), Injoon Son(Kyungpook Nation University), Kyung Tae Kim, Seungki Jo*(Korea Institute of Materials Science)

열전1-2 | 10:45

Enhancing Room-Temperature Thermoelectric Performance of n-Type $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ through Copper-Alloyed Microstructural control
Jong Min Park(Korea Institute of Materials Science, Kyungpook National University), Soo-ho Jung, Linh Ba Vu, Jinhee Bae, Seungki Jo(Korea Institute of Materials Science), Kwi-Il Park*(Kyungpook National University), Kyung Tae Kim*(Korea Institute of Materials Science)

열전1-3 | 11:00

Nanowire-Bundled Grain Boundaries in Thermoelectric Materials
Park GwangMin(Korea University, Korea Institute of Science and Technology), Lee Seunghyeok(Korea Institute of Science and Technology, Hanyang University ERICA), Hong Jinseok, Nahm Seokho (Hanyang University), Baek Seung-Hyub, Kim Jin-Sang(Korea Institute of Science and Technology), Lee Seung-Yong*(Hanyang University), Kim Seong Keun*(Korea University, Korea Institute of Science and Technology)

열전1-4 | 11:15

데이터 기반 열전 설계를 위한 소재 물성 데이터의 표준화 및 통합 관리 체계
손지희, 장정인, 박종호, 정재환, 박수동, 류병기*(한국전기연구원)

열전1-5 | 11:30 초청강연

3D 레그구조 기반 열 저항 향상을 통한 교정용 표준열전소자 개발
박상현*, 구은아, 강새별(한국에너지기술연구원), 박수동(한국전기연구원)

역학측정

위원장 : 한흥남(서울대학교)
총무간사 : 김영천(국립경국대학교)
Room 2층 208, 10월 31일

좌장 : 김영천(국립경국대학교)

역학1-1 | 09:00

하이브리드 적층 구조를 갖는 생분해성 봉지 재료의 기계적 특성 및 수명 모델링 평가
유현지(UNIST), 황경석(Harvard University), 강승균(서울대학교), 김주영*(UNIST)

역학1-2 | 09:15

Exploring the local and global deformation in L-PBF processed multi-layered medium-entropy alloys
Gao Zhe(Hanyang University), Dong-Hyun Lee(Chungnam National University), Yakai Zhao(Institute of Materials Research Engineering), Hyoung Seop Kim(POSTECH), Upadrasta Ramamurty(Nanyang Technological University), Jae-il Jang*(Hanyang University)

역학1-3 | 09:30

고체냉각 소재 La-Fe-Co-Si 합금의 열간 변형 거동 및 자기 열량 특성 분석
양선영(UNIST), 이광석, 신다슬(한국재료연구원), 김주영*(UNIST)

역학1-4 | 09:45

사용후핵연료 처분용기 제작 및 성능 평가
우정현*, 김가영, 윤석(한국원자력연구원)

역학1-5 | 10:00

FIB-DIC 기반의 미소스케일 국부 잔류응력 측정
김종형*, 조현욱, 장서현(국립부경대학교), 김임덕, 강승균(서울대학교), 유스트 블라작(하버드대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 전한솔(계명대학교)

역학2-1 | 10:25

전기화학적으로 장입된 수소가 적층 제조 중엔트로피 합금의 인장 물성에 미치는 영향 평가
이시연, Zhe Gao, 최재혁(한양대학교), 김형섭(포항공과대학교), 장재일*(한양대학교)

역학2-2 | 10:40

나노다공성 금의 리가먼트 크기 효과와 변형률 속도에 따른 시간의존적 기계적 특성 분석
김영훈, 홍석원(UNIST), 전한솔(계명대학교), 김주영*(UNIST)

역학2-3 | 10:55

중엔트로피 합금의 역학특성에 미치는 강소성가공의 영향
최재혁, 이시연, Zhe Gao(한양대학교), 서진유(한국과학기술연구원), 장재일*(한양대학교)

역학2-4 | 11:10

미세 침습성과 고밀도 구현을 위한 자가 전개형 센서 소자의 기계적 설계

조지현, 김수민(UNIST), 황경석(Harvard University), 배재영, 강승균(서울대학교), 김주영*(UNIST)

재료강도

위원장 : 어광준(한국재료연구원)
총무간사 : 문준오(국립창원대학교)
Room 2층 209/10, 10월 31일

좌장 : 한도경(포스코 기술연구원)

재료강도1-1 | 09:00

Fundamental research on standardization of mechanical testing for hydrogen storage materials in cryogenic environments

Won hyo Yoo*, Yong Ki Seo, Sang Bae Jung, Jeong Kwan Kim, Seong Jun Byun(Hyundai Steel R&D Center)

재료강도1-2 | 09:15

Fundamental Study on the Fracture Toughness and Mechanical Properties of Boiler Steels in Hydrogen Gas Environments

NAKAMOTO HISASHI*(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC. Computational Science Center DX Technology Section), KOMODA RYOSUKE(Kyushu Institute of Technology, International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I2CNER), Kyushu University), ISHIHARA KENICHI(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC. Computational Science Center DX Technology Section)

재료강도1-3 | 09:30

코어-쉘 구조에서의 전위 상호작용에 대한 모델링

이호영, 류일*, 연경미(서울대학교)

재료강도1-4 | 09:45

전기화학적 수소주입에 의한 강재의 파괴인성 평가

오동규, 박가람, 정민섭(서울과학기술대학교), 민기득(주식회사 피레타), 유용재, 김규태(현대제철연구개발본부), 황병철*(서울과학기술대학교)

좌장 : 강용준(한국재료연구원)

재료강도2-1 | 10:00

미세 결정립 저니켈 오스테나이트계 스테인리스강의 강화 메커니즘과 마르텐사이트 변태 거동

조영근, 조형준, 김성준*(포항공과대학교)

재료강도2-2 | 10:15

Materials Evaluation Techniques at Cryogenic Temperatures

松田 有趣*, 原田 晋吾, 田中 慎吾(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC.)

재료강도2-3 | 10:30

표면 헤테로 구조화의 부분 오스테나이트화를 통한 우수한 고강도-성형성 동시 달성 방안

김래언, 구강희, 이정아, 박효진, 김형섭*(POSTECH)

재료강도2-4 | 10:45

Post-necking curvature를 활용한 금속 재료에서의 변형률 속도 민감도 측정

고태영, 권지혜, 구강희, 김래언, Renhao Wu, 김형섭(포항공과대학교)

재료강도2-5 | 11:00

포타슘 버블이 순수 텅스텐의 초기 소성과 연성-취성 천이 온도에 미치는 영향

김정석, 민건식(서울대학교), Phu Cuong Nguyen(The university of Texas at Dallas), 이성민, 오연주, 김황선(서울대학교), 김형찬(한국핵융합에너지연구원), 류일*, 한흥남*(서울대학교)

좌장 : 손석수(고려대학교)

재료강도3-1 | 11:15

저주기 피로와 드웰 피로가 피로수명에 미치는 영향

민기득*, 장현수, 최현선((주)피레타)

재료강도3-2 | 11:30

베이나이트계 저합금강의 저주기 피로 특성에 미치는 석출물과 클러스터 강화의 영향

한재연, 박정현(창원대학교), 이봉호(대구경북과학기술원), 박형권, 이창훈(한국재료연구원) , 정준호(현대제철), 홍현욱*(창원대학교)

재료강도3-3 | 11:45

Creep behavior of texture-controlled 316L stainless steels fabricated by electron beam-powder bed fusion

Lim Kwang-Hyeok, Jong-Soo Bae(KAIST), Shubham Chandra(Nanyang Technological University), Xipeng Tan(National University of Singapore), Gyumin Lee, Gi-Dong Sim*(KAIST)

재료강도3-4 | 12:00

탄소 함량에 따른 바나듐 첨가 고망간강 열간압연재의 미세조직 및 항복강도 분석

송호정(동아대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 박건우(울산과학기술원), 소태일(포스코), 김병준(한국생산기술연구원), 장재훈(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

이차전지 원료소재

위원장 : 손일(연세대학교)
총무간사 : 이병필(포항산업과학연구원), 강영조(동아대학교), 김영재(인하대학교)
Room 2층 212/13, 10월 31일

좌장 : 이병필(포항산업과학연구원)

이차전지1-1 | 09:00

EoL LFP계 리튬이온배터리 부산물 중 Li 선추출 및 회수 조건 연구

하륜, 강영조*(동아대학교)

이차전지1-2 | 09:15

황화수소 이용 환원법에 의한 황산리튬으로부터 고순도 황화리튬 제조

최범모, 강정신*(서울대학교)

이차전지1-3 | 09:30

스포듀민 하소 공정에서 로터리 킬른 내부 온도가 클링커 및 융착물 형성 거동에 미치는 영향

박성환(한양대학교), 이승석(포스코 미래기술연구원), 박주현*(한양대학교)

이차전지1-4 | 09:45

알칼리 로스팅을 이용한 리튬이온전지 침출잔사 흑연 음극재 재생 및 특성 평가

김기현, 안낙균, 박경수*(고등기술연구원)

Break Time | 10:00

좌장 : 강영조(동아대학교)

이차전지2-1 | 10:10 초청강연

전기차/배터리 밸류체인의 중장기 트렌드 및 원료 시장 영향 전망

박재범*(포스코경영연구원)

이차전지2-2 | 10:35

이차전지 양극재용 고순도 망간 원료 확보를 위한 제련 기술 동향 분석

박진균*, 최소원, 서민석, 김종호(RIST)

나노융합소재

위원장 : 송재용(POSTECH)
부위원장 : 김수영(고려대학교)
총무간사 : 김정환(국립한밭대학교), 이주헌(한양대학교)
Room 2층 214, 10월 31일

좌장 : 박범철(고려대학교)

나노융합1-1 | 09:00

Decoding the Relationships Between Synthesis Parameters and Optical Properties in $CsPbBr_3$ Perovskite via Machine Learning

Choe Hyejin, Kim Soo Young*(Korea University)

나노융합1-2 | 09:15

Cu_2O-Fe_3O_4 펜톤 나노입자를 활용한 고성능 수질 정화

부홍은, 김연범, 강승원, 장영준, 김영근*(고려대학교)

나노융합1-3 | 09:30

Abnormal Melting Behavior of Chemically-Reduced Spiky Gold Mesoparticles with Complex Size and Morphology

Lee Jieun, Kim Jiyoung, Kwak Minkyung, Min Hyungi, Park Eunsoo*(Seoul National University)

나노융합1-4 | 09:45

구리-마그네슘 전구체 탈합금화를 통해 제조된 나노다공성 구리의 기계적 물성 및 촉매 특성

여지윤, 김효석, 김정기, 권재호, 이승현, 조승호*, 박성수*(울산과학기술원)

나노융합1-5 | 10:00

Metastable Mo_4P_3 Nanowires via Liquid Gallium CVD for Selective $2e^-$ ORR

Kim Seo Hyun, Yeon Sik Jung*(한국과학기술원 / KAIST), Hyeuk Jin Han*(성신여자대학교 / Sungshin Women's University)

나노융합1-6 | 10:15

전기화학 가역증착기술 기반 스마트윈도우 개발

문천우*(순천향대학교)

Break Time | 10:30

좌장 : 문천우(순천향대학교)

나노융합2-1 | 10:40 초청강연

Reconfigurable ferroelectric field-effect transistors based on single-walled carbon nanotubes and aluminum scandium nitrid

Dongjoon Rhee*(Kookmin University)

나노융합2-2 | 11:05 초청강연

Emerging iontronic materials and devices

Hyeon Han*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

나노융합2-3 | 11:30

Bilayer Semiconductor Sensors for High-Performance Gas Sensing

Seo Jung-Hoo, Yoon Seong-Young, Jeong Seong-Yong*(Kongju National University)

나노융합2-4 | 11:45

Electronic structure of oxygen-deficient $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ phases during electrochemical phase transitions

Shin Yongjin*(Dankook Univ.)

가공-표면처리

위원장 : 배규열(포스코 기술연구원)
총무간사 : 강용준(한국재료연구원),
문경일(한국생산기술연구원), 오세권(한국생산기술연구원),
이광석(한국재료연구원), 이제인(부산대학교)
Room 3층 301, 10월 31일

좌장 : 정찬원(부경대학교)

표면처리1-1 | 09:00

Laser Shock peening 공정 변수가 SS 304의 부식 거동에 미치는 영향

이주희, 장희진*(조선대학교)

표면처리1-2 | 09:15

Microstructural evolution and corrosion behavior of Al-Zn-Si-Mg-Ca coatings for hot-stamping after austenizing heat treatment

EunChan Wang(Korea Institute of Industrial Technology, Chonnam National University), Yun-Il Choi*(Korea Institute of Industrial Technology)

표면처리1-3 | 09:30

저기압 산화에 의한 황동의 탈합금 (dealloying) 거동 연구

최문수, 황지인, 최은애(한국재료연구원), 주수현(단국대학교), 한승전*(한국재료연구원)

표면처리1-4 | 09:45

저기압 산화를 통한 철과 산화층 간의 접합성 향상

박준상, 김강민, 정현우, 정일석, 최은애, 한승전*(한국재료연구원)

Break Time | 10:00

가공-열처리

위원장 : 배규열(포스코 기술연구원)
총무간사 : 강용준(한국재료연구원),
문경일(한국생산기술연구원), 오세권(한국생산기술연구원),
이광석(한국재료연구원), 이제인(부산대학교)
Room 3층 301, 10월 31일

좌장 : 김준호(한국생산기술연구원)

열처리1-1 | 10:10

A Study on Induction Heat Treatment Technology for Improving Deep Hardening Depth in High-Strength Heat-Treated Rails

Jinhyeok Kim, Jae Yeong Choi, JEONGHUN Kim, Jun Ho Chung, SUNG HO YEOM*(현대제철기술연구소)

열처리1-2 | 10:25

초고강도 냉간압조용 중탄소 Cr-Mo 강 선재의 구상화 어닐링 거동에 대한 연구

강현우, 장병록*(제조혁신전문대학원)

열처리1-3 | 10:40

PM-HIP 공정을 통해 제작된 고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 미세조직 및 기계적성질

이병찬, 문준오*, 홍현욱(국립창원대학교), 김동수, 안세환(두산에너빌리티)

열처리1-4 | 10:55

BA 처리 스테인리스 스틸 316L 전해연마 튜브의 미세조직 및 표면 특성에 관한 연구

박은혜(한국폴리텍대학, 인하대학교 제조혁신전문대학원), 이수연(인하대학교), 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)

표면계면

위원장 : 박창규(서울과학기술대학교)
총무간사 : 함명관(인하대학교), 조지웅(홍익대학교)
Room 3층 302/3, 10월 31일

좌장 : 조지웅(홍익대학교)

표면계면1-1 | 09:30

Drying-Process-Driven Nanoporosity Control in Highly Crystalline Single-Walled Carbon Nanotubes for Enhanced Dispersibility

Kim Min Jun(Chonnam National University, Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON)), CHO HYE RI, NAM SEUNG HYUN(Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON)), JEON KWAN GU(E-CUBE Materials), KIM YOONG AHM(Chonnam National University), KIM WON SEOK, KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON))

표면계면1-2 | 09:45

Germanene 단일층에서의 금속 (M = K, Ca, Sc, Ti, V) 단원자 흡착에 따른 수소 저장 메커니즘

유승민, 김민중, 박상원*(수원대학교)

표면계면1-3 | 10:00

Electrochemical Functionalization of Graphene-on-Cu(111) : Substrate Effect & Reaction Mechanism Study

Kim Minhyeok, Rodney S. Ruoff*, Lee Sun Hwa*(Institute of Basic Science, Ulsan National Institute of Science and Technology)

표면계면1-4 | 10:15

DFT 계산을 통한 2차원 전이금속 tetraboride(TiB_4, CrB_4, VB_4)의 Li, Na, Ca 이온 저장 메커니즘 연구

이동휘, 김예은, 박상원*(수원대학교)

표면계면1-5 | 10:30

Molecular Surface Activation of Al-8079 for Enhanced Direct Bonding with Cast Polypropylene in Lithium-Ion Battery Pouch Films

Appiah Emmanuel Owusu, Park Jin Woong, Byoung Jun Han, Kim Jeoung Han*(Hanbat National University)

Break Time | 10:45

좌장 : 박창규(서울과학기술대학교)

표면계면2-1 | 10:55

친환경차 내장부품 코팅용 비불소계 고분자복합재료의 마찰마모특성에 관한 연구

정동일(한국자동차연구원, 고려대학교), 김인서(한국자동차연구원), 강희민(고려대학교), 최현주*(한국자동차연구원)

표면계면2-2 | 11:10

레이저 클리닝 조건에 따른 금속 미세조직 및 물성 변화 연구

강현식, 박창규*(서울과학기술대학교/Seoul National University of Science and Technology)

표면계면2-3 | 11:25

DED 기반 레이저 재조사를 통한 적층 제조된 샘플의 표면 특성 개선 연구

장연하, 주효문, 조영철, 김성진, 용왕현, 최준혁, 김한재*(현대자동차)

표면계면2-4 | 11:40

자동차 브레이크 분진 배출 저감을 위한 디스크 코팅 공법 연구

박종성, 이상목*(현대자동차)

상변태

위원장 : 박은수(서울대학교)
총무간사 : 류욱하(국립금오공과대학교),
임가람(한국재료연구원), 최현주(국민대학교)
Room 3층 304, 10월 31일

좌장 : 류채우(홍익대학교)

상변태1-1 | 09:00 초청강연

Effect of constitutional undercooling on fluidity during rapid cooling of Bi-Mn alloys

Ryu Wook Ha(Kumoh National Institute of Technology), Kwak Min Kyung , Park Eun Soo *(Seoul National University)

상변태1-2 | 09:25

Tailoring Thermal Expansion of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloys via Thermomechanical Training and Ti Alloying

Park Yejun*(KAIST), Won Seok Choi(SK Innovation), Won-Seok Ko(Inha University), Pyuck-Pa Choi(KAIST)

상변태1-3 | 09:40

Ti 결정립계 구조에 따른 입계 수소화물 석출 분포 분석

전초록(한국과학기술연구원(KIST), 서울대학교), 정원석(로렌스리버모어국립연구소), 김태엽(한국과학기술연구원(KIST)), 윤영철(한국과학기술연구원(KIST), 서울대학교), 강재동(한국과학기술연구원(KIST)), 허태욱*(로렌스리버모어국립연구소), 박은수*(서울대학교), 김진우*(한국과학기술연구원(KIST))

상변태1-4 | 09:55

초기 구조가 다른 Zr계 비정질 합금의 열처리를 통한 물성 제어

이명준, 유근희(서울대학교), 류욱하(국립금오공과대학교), Shuang Su(Harbin Institute of Technology), 박은수*(서울대학교)

상변태1-5 | 10:10

Al-Si eutectic system에서의 급속 응고 기반 비정질 실리콘 형성

문준혁(서울대학교), 류채우(홍익대학교), 박은수*(서울대학교)

Break Time | 10:25

좌장 : 류욱하(국립금오공과대학교)

상변태2-1 | 10:30

오스테나이트계 내열주강 (25Cr20Ni0.4C)에서의 Nb 첨가(0,1,2wt%)가 MC(M=Nb), $M_{23}C_6$(M=Fe,Cr) 정출 및 석출 거동에 미치는 영향

홍창완*, 윤국태, 이락규, 김주업(대구기계부품연구원), 이만길(진성정밀금속), 최현주(한국자동차연구원), 김기용(계양정밀)

상변태2-2 | 10:45

CrMnFeCoNi계 고엔트로피 합금의 형상기억 특성에 미치는 탄소 첨가의 영향

정휘윤, 이제인*(부산대학교)

상변태2-3 | 11:00

고강도 석출 강화형 중엔트로피 합금 설계를 위한 전위 밀도 기반 석출 거동 분석

한상윤, 류채우*(홍익대학교)

상변태2-4 | 11:15

고내마모-고인성 압연롤 개발을 위한 VC기반 공구강 합금설계

박성민(한국생산기술연구원, 고려대학교), 정소진(한국생산기술연구원), 정야호, 김한수(코나솔), 박광석, 서보성(한국생산기술연구원), 김동회(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

상변태2-5 | 11:30

Grain Refinement and Precipitqation Engineering in Fe-Mn-Si SMAs: Thermomechanical Treatment Optimization for Superior Recovery Stress

Yun Jane, Ji Young Kim , Eun Soo Park*(Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University)

상변태2-6 | 11:45

Growth behavior of alpha Fe in Fe amorphous as a function of immiscible element type observed with small angle scattering technique

Ahn Subin, Min Hyun Gi , Park Eun Soo*(Seoul National University)

생체재료

위원장 : 김유찬(한국과학기술연구원)
총무간사 : 이주헌(한양대학교), 이준민(POSTECH)
Room 3층 305/6, 10월 31일

좌장 : 이준민(포항공과대학교)

생체1-1 | 09:00

Biodegradable optical multimodal monitoring platform for large area brain sensing

Junseok Shim, Jaeyoung Bae, Seung-Kyun Kang*(Materials Science & Engineering, Seoul National University)

생체1-2 | 09:15

Nanoengineered Surface with Zn/AgNP to Inhibit Catheter-associated Urinary Tract Infection

Dong-Sung Won, Yubeen Park(Asan Medical Center), Myoung-Ryul Ok(Korea Institute of Science and Technology), Hyun Lee(The Catholic University of Korea), Hyun-Do Jung(Hanyang University), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine)

생체1-3 | 09:30

Biodegradable MgO@MnO_x Nanozyme: A Self-triggered ROS Scavenger for Anti-inflammation

Kim Taeyeon(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Seung-Kyun Kang*(Seoul National University), Pil-Ryung Cha*(Kookmin University), Seongchan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Gyeongsang National University), Hyojin Lee*, Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), University of Science and Technology (UST))

생체1-4 | 09:45

Enhanced Delivery of RB1 mRNA and Triptolide Using Lipid Nanoparticles for Synergistic Retinoblastoma Treatment

이효진*, 최소영, 전규민(한국과학기술연구원)

Break Time | 10:00

좌장 : 이준민(포항공과대학교)

생체2-1 | 10:10

교류 기반 안정적 역이온영동을 위한 마이크로니들 전기삼투 다이오드

최이정, 최명균, 한지은, 강승균*(서울대학교)

생체2-2 | 10:25

Biodegradable Metallic Stents with Spatiotemporal Drug Delivery via Magnetic Hyperthermia Suppresses Tissue Hyperplasia and Enhances Urethral Regeneration

박유빈(Hanyang University, Asan Medical Center), 나유현(The Catholic University of Korea), 이현(Korea Institute of Industrial Technology), 정현도(Hanyang University), 박정훈*(Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine)

생체2-3 | 10:40

Long-term stable and scalable delivery of biopharmaceuticals via a cryoprotectant-compatible nanoporous platform

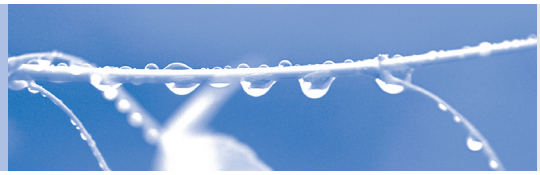
이시안(한국과학기술연구원, 고려대학교), 정주은(서울대학교), 구자현(고려대학교), 강지형*(서울대학교), 이효진*(한국과학기술연구원)

생체2-4 | 10:55

Tough, solvent-free polymer networks with tissue-like softness

HYUNJUN KIM, JIHEONG KANG*(Seoul National University)

POSTER SESSIONS I 10월 29일



P1 : Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00
(심사 및 질의응답 시간 14:00~16:00)

P1-1

Chemical interaction trends in rare-earth oxides (RE_2O_3): from binary to high-entropy oxide systems

Jeong-Min Cheon, In-Ho Jung*(Seoul National University)

P1-2

Anharmonic Phonon Scattering Triggering Multi-Ion Migration in Oxide-based Superionic Conductors

Jae-Bum Kim, Wootack Chung, Yong-Mook Kang*(Korea Univ.)

P1-3

생성형 확산 모델 기반 DNA 오리가미 설계 기술

트렁콕치엔, 전경화(서울대학교), 이찬석*(한양대학교), 김도년*(서울대학교)

P1-4

선택적 레이저 용융으로 제조된 순수 타이타늄의 열간 등방 가압법 후처리 공정에 따른 효과 연구

한승준, 강경록(한국생산기술연구원, 성균관대학교), 이택우, 김건희(한국생산기술연구원), 한혁수(한양대학교), 강현수*, 김원래*, 김형균*(한국생산기술연구원)

P1-5

Quasi-Abundant Electron Charging Station by Multifunctionality of AlOX Shell on ZnS:Cu Microparticles for Highly Repeatable Mechanoluminescence

Hong In Jeong*(한양대학교)

P1-6

Development of Dual-phase High-entropy Alloy with Enhanced Work-hardening Behavior through Heat Treatment

jongtae kim, Juree Jung(Korea Institute of Industrial Technology, Yonsei Univ.), Jinwoo Seok, Leeseung Kang(Korea Institute of Industrial Technology), Donghyun Bae(Yonsei Univ.), Junhee Han*(Korea Institute of Industrial Technology)

P1-7

Physiological Mechanical Stimulation and Real-Time, Non-Invasive Stiffness Measurement in a Microphysiological Lung-on-a-Chip System

Junmin Lee*, Giheon Ha(POSTECH)

P1-8

Controlling Structural Disorder Toward Reversible Phase Transition in a Layered Manganese Oxide Cathode

Suwon Lee, Seongkoo Kang, Jihyun Kim, Yong-Mook Kang*(Korea Univ.)

P1-9

Polycarbonate based thermal switch for on-demand biodegradation of transient electronics

wonhyoung Choi, Jaewon Kim, KWON MIN SEONG, Jahyun Koo*, Kyu Back Lee*(Korea Univ.)

P1-10

Surface Specularity-Driven Conductivity Enhancement in Co/Co_xTi_{1-x} Iso-elemental Stacked Films : A Potential Barrier-free Metallization

Gayun Kim, Joonho Moon , Kiyoung Lee*(Hongik Univ.), Shinyeong Park , Jiwon Chang (Yonsei Univ.), Yehbeen Im , Changhwan Choi (Hanyang Univ.), So-Yeon Lee(Geumo Univ.), Hwanhui Yun(Korea Research Institute of Chemical Technology)

P1-11

Dual-Mode Mechanical Stimulation Enables Biomechanical Coupling and Functional Maturation in Arterial Microphysiological Systems

Geonwoo Kim, Lee Junmin*(POSTECH)

P1-12

Self-assembly prediction of architecture-controlled bottlebrush copolymers in solution using graph convolutional networks

Wooseop Hwang(KOREA Univ.), Sangwoo Kwon, Won Bo Lee*(SEOUL NATIONAL Univ,), YongJoo Kim*(KOREA Univ.)

P1-13 **Canceled**

Radiation Tolerance of All-Graphene Gas Sensor

Jaeyeon Oh, Seungwook Choi, Ansoon Kim, Jongin Park, Yeonhoo Kim*(Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS))

P1-14

Machine Learning-Guided Discovery of High-Entropy Alloy Nanoparticles for Highly Conductive and Dendrite-Free Lithium Metal Anodes

Hyechan Park, YongJoo Kim*(Korea Univ.)

P1-15

Advancing the Design of RHEAs via Atomic Size Misfit

Juree Jung, Jongtae Kim(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH), Yonsei Univ.), Jinwoo Seok(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)), Donghyun Bae(Yonsei Univ.), Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH))

P1-16

From Greenhouse Gases to Single–walled Carbon Nanotubes: Tandem process via CO_2 Methanation and CH_4 Pyrolysis

Jaewon Jang(Korea Institute of Industrial Technology, Hanyang Univ.), Junghoon Yang, Jungpil Kim*(Korea Institute of Industrial Technology)

P1-17

Biodegradable Shape–Morphing Vascular Clip for Stepwise Control of Cerebral Blood Flow in Post–Ischemic Recovery

Sungeun Kim, Sehwan Park , Seunghun Han(Korea Univ.), Soo–Hhwan Lee, Hyojin Lee(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Unseong Baik, Jintae Kim(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Won–Sang Cho(Seoul National University Hospital (SNUH)), Jahyun Koo*(Korea Univ.)

P1-18

High–Conductivity, Deformation–Insensitive Biodegradable Fiber Electrodes for Sustainable Wearable and Implantable Device

Jinho Kim, Jaehong Lee*(대구경북과학기술원)

P1-19 **Canceled**

Lightweight alloy design for additive manufacturing: High–modulus steel

Eun Seong Kim, Soung Yeoul Ahn(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Sang Guk Jeong(Hanwha Aerospace), Gangaraju Manogna Karthik(IIT (BHU) Varanasi), Jaemin Wang(Max Planck Institute), Byeong–Joo Lee(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Soonjik Hong(Kongju National University), Hyoung Seop Kim*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

P1-20

Self–Amplifying Catalytic Cascades for Efficient ROS Scavenging and Anti–Inflammatory Applications

Taeyeon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Seung–Kyun Kang*(Seoul National University), Pil–Ryung Cha*(Kookmin University), Seongchan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Gyeongsang National University), Hyojin Lee*, Yu–Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), University of Science and Technology (UST))

P1-21

Ultra–density chemical functionalized M13 bacteriophage reprograms the tumor microenvironment through covalent anchoring for antitumor immunotherapy

munhwan lee(Hanyang University), hyunsun park, junsang doh*(Seoul National University), juhun lee*(Hanyang University)

P1-22 **Canceled**

Digital SERS platform with fixed nanoparticle pattern generation sites based on trench geometry and hydrodynamic behavior

Young Woo Han, Gwangsik Mun, Junil Ryu, Hyoungsoo Kim*, Yeon Sik Jung*(한국과학기술원)

P1-23

Investigating the effects of amorphous film condition on the phase stability: case study of Sn–O system

MinSung Kang, Sung Beom Cho*(Ajou Univ.)

P1-24 **Canceled**

Ambient–Pressure Synthesis of Metastable Phases via Liquid Metal Mediated Growth

Seo Hyun Kim(KAIST, Sungshin Women's University), Yeon Sik Jung*(KAIST), Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

P1-25

Impact of bottom electrode Ar plasma treatment on the electrical and structural properties of HZO thin film

이정광, 박민혁*(Seoul Nat.l Univ.)

P1-26

Enhancing Oxygen Reduction Kinetics of Fe–N–C Catalysts by Asymmetric Electron Coordination and Stereo–geometry

Lulu Lyu, Yong–Mook Kang*(Korea University)

P1-27

Revealing Outstanding Specific Capacity Above 2000 mAh g^{-1} in MWCNT Electrodes Enabled by Electrochemical Activation

JeongA Kim, Jungpil Kim, Junghoon Yang*(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P1-28

LLM–Based Recipe Generator for Accelerating Solid–State Materials Synthesis

Dong Won Jeon, Sung Beom Cho*(Ajou Univ.)

P1-29

Effect of Process Condition and Position of Dopant Layer on Ferroelectricity of Al–doped HfO_2

Dong In Han, Jaewook Lee, Hyojun Choi, Ju Yong Park, Min Hyuk Park*(Seoul National University)

P1-30 **Canceled**

Promising cryogenic strength–ductility and hydrogen resistance of a computational guided gradient face–centered cubic alloy by additive manufacturing

Renhao Wu, Hyojin Park, Eun Seong Kim(POSTECH), Xiaoqing Li(KTH – Royal Institute of Technology), Peihao Geng(Shanghai Jiao Tong University), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

P1-31 **Canceled**

A Parametric Study of Torch Angle on Weld Bead Formation in Immiscible Copper–Cast Iron Welding

Jae–Deuk Kim*, Young–Ho Lee, Seok Yoon, Jin–Seop Kim(Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI))

P1-32

Accelerated Multi–Objective Optimization of High–Entropy Alloy Electrocatalysts for Hydrogen and Oxygen Evolution

Kwangsoo Kim(Korea University), Byung–Hyun Kim*(Hanyang University ERICA), YongJoo Kim*(Korea University)

P1-33

Strain–driven Adsorption Site Modification on Pd–Based Nano Cube for Fuel Cell Application

Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Seokho Lee, Seohee Jang, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

P1-34

Catalytic Enhancement Through Element Substitution in Core–Shell Pt Nanoparticles

Seohee Jang, Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Seokho Lee, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

P1-35

Exploring the Possibilities of Pt Nanostructure Size for Enhanced Oxygen Reduction Reaction Efficiency

seokho lee, Seohee Jang, Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

P1-36

실리콘 섬유 기반 음극재 개발을 위한 용융염 전해 정련 연구

이효연, 최우석(충남대학교), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고 신소재 연구소)

P1-37 **Canceled**

Stabilizing Metastable PtO_2 on SnO_2 Nanowires: Oxidation State–Dependent Gas Sensing Mechanisms

seongsu Choi, Yeon Sik Jung*(KAIST), Hyeuk Jin Han*(성신여자대학교)

P1-38

A Successful Fabrication of Fine–Grained Nd–Fe–B Permanent Magnets Using Fine Particles Synthesized by Reduction Diffusion Proces

keunki cho, Seol–mi Lee, Sumin Kim, Tae–Hoon Kim*, Jung–Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

P1-39

공침법 및 용액 연소 합성법을 이용한 LLZO 합성과 열처리 온도에 따른 특성 변화 평가

윤혜진(충남대학교), 네르시시얀 하이크(충남대학교 급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

P1-40 **Canceled**

적층 제조 Ni 기반 합금의 온도 불감 강도-연성을 구현하는 석출상 셀 네트워크

박효진, 렌하우, 이재홍, 허윤욱, 이도원, 이지수, 김선규(포항공과대학교), 하프트랑 파라나즈(northwestern university), 정상국(한화 에어로스페이스), 주효문(현대자동차), 이병주, 이동화, 김형섭*(포항공과대학교)

P1-41

고상 연소 합성법을 통한 CaB_6 나노 큐브 촉매의 수전해 특성 평가 및 DFT 기반 반응 메커니즘 연구

정준모(충남대학교), 네르시시얀 하이크(충남대학교 급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

P1-42

초극저온 변형 불안정 거동에 미치는 적층결함에너지 영향에 관한 연구

신필욱(부경대학교), 김영균(한국재료연구원), 김형섭(포항공과대학교), 이수빈*(Karlsruhe Institute of Technology), 나영상*(한국재료연구원), 배재웅*(부경대학교)

P1-43

3–Dimensional Structurally Colored Heterogeneous Polymer Nanopatterns forChemically Tunable Optical Devices

Su Min Lee, Nam Tae Won*(Pusan National University)

P1-44

Facile Fabrication Approach for Synaptic Transistors Based on Mixed Metallic and Semiconducting CNTs

Donghee Shin, Beomjin Jeong*(부산대학교)

P1-45

Overcoming the solubility limit in iridium–based oxides for durable oxygen evolution electrocatalysis

Ki Hyun Park, Sung–Yoon Chung*(KAIST)

P1-46

Mechanically Robust and Ion–Conductive Polyampholyte Elastomers via Dimeric Ionic Bonding

Taebin Kim, Jong Gun Jung, Cheolmin Park*(연세대학교)

P1-47

Three–Dimensional Structural Evaluation of Porous Carbon Derived from Amygdaloideae Fruit Tree Pruning Waste

INSEO KO, Jong Ho Won*(Dankook University)

P1-48 **Canceled**

Intrinsic Separation of Heat and Charge Transport in the New Thermoelectric Candidate $SrSb_2$

Kangkeon Lee, Hanhwi Jang, Yeon Sik Jung*(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min–Wook Oh*(Hanbat National Univ.)

P1-49

Grain boundary targeted dewetting for low adhesion graphene transfer printing strategy

Juhyun Kim, Nam Taewon*, Lee Hyunjin(Pusan Univ.)

P1-50

Ultrasensitive, Multiplexed On–Microneedle Sensors with Ultrabright Plasmon–Enhanced Fluorescent Nanoprobes for Diagnosis of Skin Diseases

Sungjae Yoo, Sang Ihn Han*(Korea Institute of Science and Technology)

P1-51

Photoluminescence Enhancement of Quantum Dots via Phase–Separated Polymer Thin Films

KIHOON KIM, NAM Tae Won*(Pusan National University)

P1-52 **Canceled**

Modulation of Carbon Nanotube–Solvent Interfaces via Hydrogen Peroxide–Mediated Plasma Treatments

Soomin Cheon, Yoo Jeong Huh, Gi–Ra Yi, Byoungwoo Kang, Seung Soo Oh*(POSTECH)

P1-53

Enhancing Photoluminescence of PMMA/Quantum–Dot Composite Films through Controlled Surface Roughness.

Seung Pyo Seo, Nam Taewon*(Pusan National Univ.)

P1-54

Light–triggered Theragenerative Bioink for Enhanced Chronic Wound Healing Post–Melanoma Resection

Seojoon Bang(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Hyeong Seok Kang, Jong Hwa Seo, Chan Ho Moon, Ju Yeong Gwon, Hyun–Do Jung*(Hanyang University)

P1-55

Sundew-Inspired 4D Platform for Minimally Invasive Bone Cancer Therapy and Bioadhesive Regeneration

Seo Jong Hwa(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Seojoon Bang, Hyeong Seok Kang, Chan Ho Moon, Ju Yeong Gwon, Hyun-Do Jung*(Hanyang University)

P1-56

Nettle-Inspired Microneedle Platforms for Theragenerative Skin Cancer Therapy

Chan Ho Moon(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Seojoon Bang, Hyeong Seok Kang, Ju Yeong Gwon, Jong Hwa Seo, Hyun-Do Jung*(Hanyang University)

P1-57

Anisotropic Absorption in Three-Dimensional Quantum Dot Structures

Jisoo Seo, Tae Won Nam*(Pusan National Univ.)

P1-58

Hierarchical Au Double-Nanoring/ZIF-8 Hybrid for Single-Substrate, Label-Free Multiplex SERS Gas Sensing

Jeongwoo Ham, Sungjae Yoo, Myoung-Ryul Ok*(KIST)

P1-59

Analysis of the Fault Assisted hP_{24} Phase Transformation And Stacking Fault Energy guided Design Strategy of a Co based superalloys system

Min Hyungi(Seoul National University), Streit Cunningham(University of California Santa Barbara), Yoon Kooknoh(University of California Berkeley), Kim Minseok(Seoul National University), Daniel S Gianola(University of California Santa Barbara), Park Eunsoo*(Seoul National University)

P1-60

Enhanced Performance of Stretchable Ferroelectric Capacitors via Amine-Functionalized Graphene Oxide

JANG SEONGBO, JEONG BEOMJIN*(Pusan National Univ.)

P1-61

Active Learning-Driven Optimization of Paste-Molded Soft Magnetic Composites

AhYeon Cho(Korea Univ.), Hea-Ran Kim, Jae Won Jeong(Korea Institute of Materials Science), YongJoo Kim*(Korea Univ.)

P1-62

Implantable and suturable Fiber Electroceuticals for Seamless Biointerfacing with Wireless Therapeutic Modulation

Hwajoong Kim, Jaehong Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

P1-63

Reactivation of Ir-based Catalysts for Sustainable Water Electrolysis Realized by Work Function Engineering

Juyoung An(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Gyu Rac Lee(Massachusetts Institute of Technology (MIT)), Sae Yane Paek, Jong Min Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Yeon Sik Jung*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

P1-64

냉각속도 제어에 따른 Al-Cr-Fe-Ni-Mo계 중엔트로피 합금의 $L1_2$ 석출거동 및 기계적 특성 분석

소영섭, 이준석(국립부경대학교), 박현영, 이초현, 설재복*(국민대학교), 배재웅*(국립부경대학교)

P1-65

Nucleation- and Growth-Controlled Nano-Arborvitae for Uniformly Enhanced SERS Detection Across All Surfaces

Eunji Lee, Yoonseo Huh(Kyonggi University), Jaeyeong Lee, Hak Ki Yu(Ajou University), Jihun Oh(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Sangwoo Ryu(Kyonggi University)

P2 : 비철금속

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P2-1

$CaCl_2$-NaCl-CaO 용융염계에서 Ca · Ni 도핑 $YCrO_3$ 불활성 양극의 제조법에 따른 고온 부식 특성 평가

김완배(충남대학교), 네르시시얀 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)

P2-2

모의 방사화 CRUD로 오염된 STS304 배관의 전해제염 및 2차 폐기물 유리화 공정 개발

최우석, 박성현(충남대학교), 네르시시얀 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)

P2-3

폐촉매로부터 유래된Fe-Pt 합금의 수계 전해질에서의 선택적 전해 정련을 통한 백금 고순도 분리 및 회수 연구

박성현, 최우석(충남대학교), 네르시시얀 하이크(금속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 금속응고신소재연구소)

P2-4

NaCl – $CaCl_2$ – $MgCl_2$ 용융염 마그네슘 전해제련 공정에서 음극 소재가 마그네슘 전착 효율에 미치는 영향

이동희(충남대학교), 네르시시얀 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)

P2-5

친환경 MgO 용융염 전해법을 이용한 NPI로부터 Mg-Ni 합금 직접 제조기술 개발

한동진, 김수하, 노현창, 맹은석, 이효영, 심충용, 강정신*(서울대학교)

P2-6

FMM용 Invar 합금 내 개재물 개질 조건

김두연, 전상혁, 강영조*(동아대학교)

P2-7

착화제 첨가를 통한 LLZO($Li_7La_3Zr_2O_{12}$) 고체전해질 분리 정제 기초연구

이현준(과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원), 배무기, 이현주, 최종원, 최영중(한국지질자원연구원), 김수경*(과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원)

P2-8

통전 처리에 따른 Cu-4.5Ni-0.95Ni 합금의 미세조직 및 기계적 특성

정이화, 무하마드 이시티아크(경상국립대학교), 김규낙(경상국립대학교, 한국재료연구원), 안지혁(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교)

P2-9

금속열환원법으로 제조한 Ti 분말의 산화 억제를 위한 부동태화 연구

임규석(충남대학교), 네르시시안 하이크(금속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 금속응고신소재연구소)

P2-10

Si계 무연 황동 압출재의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화

김규낙(한국재료연구원, 경상국립대학교), 안지영, 김형준(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

P2-11

NCM계 폐리튬이온 배터리에서 회수한 Black Mass의 Ar 분위기 중 환원거동

황재호, 이상엽, 이소영, 손호상*(경북대학교)

P2-12

마찰교반용접 구리 용접부의 환경별 전기화학적 부식 특성 분석

고신범(한국재료연구원, 국립부경대학교), 김승현*, 김정민, 송상우(한국재료연구원), 노상훈(국립부경대학교)

P2-13

아연 제련 분진의 건식 환원을 통한 고순도 산화아연 회수 연구

심선호(국립한국해양대학교, 한국지질자원연구원), 박태준*(한국지질자원연구원)

P2-14

NCM계 폐LIB에서 회수한 Black mass의 탄산화 배소와 수침출에 의한 Li 회수

소지영, 황재호, 이상엽, 손호상*(경북대학교)

P2-15

전산모사를 활용한 Cu-Cr 합금 열간크랙 개선방안 연구

장태완*, 정원석, 최준영, 이시담, 박철민((주)풍산)

P2-16

Controlled Combustion in SHS for Tailored Boron Nanoparticles and Boride Compounds with Enhanced Reactivity

Joo Sinhyong(Chungnam National Univ.), Nayk Nersisyan, Lee JongHyeon*(Chungnam National Univ., Rapidly Solidified Material Research Center)

P2-17

용해조건에 따른 Mn-Cu계 합금의 기계적 특성

김태형, 송람, 신제식, 조훈*(한국생산기술연구원)

P2-18

알루미늄 클래드재 미세조직 분석을 위한 에칭 기법 개발

김학현*, 이정훈, 정수진, 배동화(포항산업과학연구원)

P2-19

납이 첨가되지 않은 친환경 무연황동에 관한 연구

최준영*, 정원석, 이시담, 장태완, 박철민((주)풍산)

P2-20

Direct recovery of metallic Lithium from Black powder of spent Lithium-ion batteries.

Nguyen Xuan Viet, Joo Sin-hyong, Choi Woo-seok(Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea), Lee Jong-hyeon*(Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea, Rapidly Solidified Materials Research Center, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea (RASOM).)

P2-21

Pre-Aging Heat Treatment-Driven δ Phase Processing for Grain Refinement in Inconel 718

나혜성*, 나라야나, 최재영(에이치브이엠)

P2-22

Cu-Ni-Co-Si계 합금의 열간가공성 향상을 위한 연구

강덕호, 최영철, 홍혜민((주)풍산 소재기술연구원)

P2-23

Co 첨가량에 따른 콜슨(Corson)계 동합금의 기계적, 전기적 특성에 미치는 영향

박현철*, 최영철, 홍혜민, 강덕호, 정진곤((주)풍산)

P2-24

EIGA 공정을 통해 제조된 ODS 내열강 분말을 활용한 Y-Oxide 분산 거동 연구

김현서, 차은빈, 서보성, 박광석*(한국생산기술연구원)

P2-25

고압 다이캐스팅으로 제조된 스틸-알루미늄 이종소재 부품의 주조접합 특성에 미치는 아연도금층의 영향

김태형(한국생산기술연구원), 문재호((주)코넥), 신제식*(한국생산기술연구원)

P2-26

Mn-Cu계 합금의 주조성에 미치는 합금 성분 영향

김태형, 송람, 조훈, 신제식*(한국생산기술연구원)

P2-27

동합금 소재의 항균 항바이러스 성에 대한 연구

문선영, 박철민(풍산(소재기술연구원)), 임완택(한경대(생명공학부))

P2-28

내열성과 저마찰 특성이 우수한 니켈하지 주석도금 연구

남효문, 박철민*, 최영철((주)풍산)

P2-29

Cu-Ni-Co-Si 합금의 압하율, 석출열처리 조건에 따른 기계적 특성 거동 연구

정진곤*, 박철민, 최영철, 홍혜민, 강덕호, 박현철((주)풍산)

P2-30

지르코늄 및 우라늄 표면에너지 계산을 통한 평형입자모양 예측

안양덕*, 김경훈, 정양일, 이영우(한국원자력연구원), 이희준, 문경석, 방준호(경상국립대학교)

P2-31

SWAAT 환경에서 알루미늄의 부식 거동에 대한 Cl^- 및 아세트산의 영향

하온유, 한예원, 오세권*(한국생산기술연구원)

P2-32

Active-Material Delamination from LIB Cathodes and Extraction of Transition Metal Components (Li, Ni, Co, and Mn) by Supercritical CO_2 Process

서원욱*(포항산업과학연구원(RIST)), 임준혁(서강대학교), 이재원(단국대학교), 임종성(서강대학교)

P2-33

Ni 첨가에 따른 Cu-3%Ti 합금의 미세조직 및 기계적 특성 평가

이민숙, 김용근, 나혜성*((주)에이치브이엠)

P3 : 적층제조 및 분말

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P3-1

L-PBF로 제조된 마레이징강의 열처리 공정에 따른 미세조직 및 수소취성 거동 분석

이민호, 김태형(국립부경대학교), 이승연(국립부경대학교, 한국재료연구원), 박정민(한국재료연구원), 배재웅*(국립부경대학교)

P3-2

나노 셀 경계가 적층제조된 AlSi10Mg 합금의 극저온 인장 거동에 미치는 영향

박하음(한국재료연구원, 고려대학교), 유지성, 황효진(한국재료연구원), 진민수(한국과학기술원), 조용희(한국재료연구원), 장태진(고려대학교), 유지훈(한국재료연구원), 손석수(고려대학교), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)

P3-3

Study on Microstructure and Mechanical Properties of Maraging 300 for Iron-Based MMCs

jongtae kim, Jinwoo Seok, Juree Jung, Mi Hye Lee, Seulki Han, Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology)

P3-4

비동일분율 Ti-V-Nb-Mo 하이엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 특성

송유진, 이진규*(국립공주대학교)

P3-5

V_2O_5 첨가에 따른 다이아몬드 공구용 비트리파이드 본드의 미세조직 및 특성

손도상, 이진규*(국립공주대학교)

P3-6

Microstructural Evolution and Mechanical Performance of BN-Reinforced Aluminum Composites via Directed Energy Deposition

KIM SUMIN, JaeHyeong Kim, Yoon Suk Shoi*(Pusan Univ.)

P3-7

DED 공정 조건에 따른 중망간강의 미세조직 및 변형 거동 분석

이민영, 조원희(국민대학교), 김현중(국립공주대학교), 강민유(국민대학교), 김은성(포항공과대학교), 최현주, 성효경(국민대학교), 홍순직(국립공주대학교), 김형섭(포항공과대학교), 설재복*(국민대학교)

P3-8

Structure Characterization of the Oxide Layer and Non-Metallic Inclusions in Steel Powder Produced via the Vacuum Induction Melting Gas Atomization (VIGA) Process

Yao Su, Sunghwan Park(Hanyang University), Dongsoo Kim(Doosan Company), Joohyun Park*(Hanyang University)

P3-9

Ti-6Al-4V 복합 격자의 압축 거동 및 미세조직 관찰

김영훈, 박현영, 이지민, 성효경*(국민대학교)

P3-10 **Canceled**

LPBF 316L 스테인리스강의 미세조직, 잔류응력 및 초기 산화 거동 분석

정창현(국립순천대학교), 배기창(한국세라믹기술원), 김도형(영남대학교), 조의제*(국립순천대학교)

P3-11

Positive Lattice Misfit Induced Cracking Resistance in Additively Manufactured Ni-Based Superalloys

Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Ye Hun Shim, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Myeong Se Kim(Auratech)

P3-12

L-PBF 적층제조된 Ti-6Al-4V 성형체 및 Lattice 구조의 미세조직-기계적 특성 상관성 고찰

김준혁, 한재연(국립창원대학교), 권영삼(CetaTech), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

P3-13

DED 공정으로 제작한 P21-STS316L 경사기능재료의 미세조직 및 경도특성 평가

강수성(한국생산기술연구원, 부경대학교), 김중훈(한국생산기술연구원, 울산과학기술원), 김형찬, 김병준(한국생산기술연구원), 노상훈*(부경대학교), 김병구*(한국생산기술연구원)

P3-14

적층제조 AISI 316L의 공정조건이 내부식성에 미치는 영향

이승환, 이수진, 장희진*(조선대학교/Chosun Univ.)

P3-15

L-DED를 통해 제작한 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금의 수소 취성에 미치는 HCP/FCC 상분율의 영향

장도현, 박민수, 이욱진*(부산대학교)

P3-16

3D 프린팅과 인베스트먼트 주조를 이용한 알루미늄 격자 구조의 제조

이주영, 박지영, 이욱진*(부산대학교)

P3-17

직접용융증착법으로 제조된 IN939 합금의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성

김영우(경상국립대학교), 김범준(GODTECH), 강호성 , 성예찬, 김정기*(경상국립대학교)

P3-18

직접용융증착법을 활용한 NiCr/IN738LC 경사기능재료 제조 시 공정변수 최적화

정민재, 김정기*, 유현용, 감호성(경상국립대학교)

P3-19

Fe-6.5Si 합금의 LPBF 적층제조 공정 변수에 따른 미세조직 및 자성 특성 변화

윤지상, 김연우(한국재료연구원), 배재웅*(국립부경대학교), 정재원(한국재료연구원), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)

P3-20

CP Ti-WC 복합재의 L-DED기반 레이저 클래딩 하드페이싱 특성 분석

이승민(한국생산기술연구원, 부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

P3-21

WAAM 기반 하이브리드 적층제조를 이용한 고순도 구리 적층층 형성 연구

이영호*, 김재득, 윤석(한국원자력연구원)

P3-22

Optimization of mechanical properties on additive manufactured 18Ni-maraging steel via dual-step aging treatment

Sung Hwan Hong*, Hae Jin Park, Ki Buem Kim(Sejong University), Jaiyoung Cho(Hankook Tire & Technology Co., Ltd.)

P3-23

하이브리드 적층 제조를 위한 밀링 공정의 비파괴적 건전성 평가 연구

김효규*, 한동운, 최동진, 김성탁(한국생산기술연구원)

P3-24

표준 열처리 조건 적용에 따른 L-PBF 및 가공재 IN718 합금의 고온 기계적 특성 및 미세조직 평가

임하은(한국생산기술연구원, 경희대학교), 이승호, 김영경(한국생산기술연구원, 한양대학교), 안소희, 윤종천*(한국생산기술연구원), 이빈*(경희대학교)

P3-25

대기 주조 유도용해 공법(Induction melting)으로 제작한 3D 프린팅 분말용 Maraging 300 합금의 청정도 및 건전성 평가

김용근, 이민숙, 최재영*(HVM)

P3-26

L-PBF 공정조건에 따른 Ti-6Al-4V ODS 합금의 미세조직 변화 및 Ti64 대비 기계적 특성

강동욱, 박창수, 박형기, 문인용, 송영환*(한국생산기술연구원)

P3-27

In-situ 가스 분무 및 스파크 플라즈마 소결로 제조된 산화물 분산 강화 Ti-6Al-4V 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 대한 Y_2O_3 함량의 영향

임현태, 곽륜호, 박성민, 박창수, 박형기*(한국생산기술연구원)

P3-28

산화물 분산 강화 Ti-6Al-4V 합금의 in-situ 분말 제조 및 소결 거동 분석

임현태, 곽륜호, 박성민, 박창수, 박형기*(한국생산기술연구원)

P3-29 **Canceled**

반도체 공정 인라인 가스필터 제조용 STS 분말 표면 개질을 위한 플라즈마 공정 최적화 연구

성준규(한양대학교, 한국생산기술연구원), 안치성*(한국생산기술연구원)

P3-30

LPBF 공정으로 적층제조된 AlSi10Mg 합금의 적층방향과 적층높이에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화

이승연, 박하음, 이승용, 유지훈(한국재료연구원), 손석수(고려대학교), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)

P4: 고엔트로피합금

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P4A-1

V 첨가에 따른 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 미세조직 및 고온물성 변화 연구

권민철, 박강현, 최순원(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 심상훈, 임가람(한국재료연구원), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

P4A-2

UNSM 공법을 적용한 Co-Cr-Fe-Ni-Mo 고엔트로피 합금의 잔류응력 형성과 초극저온 기계적 거동 분석

임현빈(국립공주대학교), 이재흥, 하수빈, 김형섭(포항공과대학교), 문종언*(국립공주대학교, 첨단분말소재부품센터)

P4A-3

배터리케이스용 Ni 도금강의 미세조직 및 집합조직에 따른 전기화학적 부식 특성

이정민, 임현빈, 박강현, 최순원(국립공주대학교), 문종언*(국립공주대학교, 첨단분말소재부품센터(CAMP2))

P4A-4

전기음성도 차이를 고려한 고항복강도 CrCoNi 중엔트로피 합금 설계

정휘윤, 이제인*(부산대학교)

P4A-5

Cr 첨가에 따른 MoNbTi 내열 엔트로피 합금의 고온 산화 거동 연구

신승환, 이강진(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

P4A-6

$Al_{0.5}CoCr_{(1-x)}Fe_{(1+x)}NiTi_{0.1}$ 고엔트로피 합금의 Cr 함량 제어에 따른 부식 특성 변화 연구

최순원, 박강현, 이정민, 문종언, 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

P4A-7

Ti–Zr–Hf–Ta–Mo 준안정 내열 고엔트로피 합금의 기계적 변형 거동 연구

허민아, 정윤종, 이강진(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

P4A-8

DLC/HEA/Al 코팅 시스템에서의 gradient–C structured buffer layer를 통한 밀착력과 마찰마모 성질 향상

이상원, 손석수*(고려대학교), 김영목(한국과학기술연구원)

P4A-9

Mo 첨가에 따른 in–situ TiC 강화 NbTaVTi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 특성

유형규, 최혁재, 이진규*(국립공주대학교)

P4A-10

FeCrMnNiCo High–Entropy Alloy의 부식 특성에 Titanium 및 Carbon 첨가가 미치는 영향

김수빈*, 이주희(조선대학교), 이상화, 정재길(전북대학교), 장희진(조선대학교)

P4A-11

Co–Cr–Fe–Ni–Mo 중엔트로피 합금의 레이저 용접부에 대한 레이저 쇼크 피닝 (laser shock peening) 공정 시 반복 조사에 따른 기계적 물성 변화 관찰

이재혁(단국대학교), 이선욱(국립공주대학교), 이성광(한국생산기술연구원), 이정훈(경북대학교), 이동준(한국재료연구원), 이동경, 문종언(국립공주대학교), 주수현*(단국대학교)

P4A-12

Effect of loading conditions and geometric factors on complex concentrated alloys with various deformation mechanisms

예정원, 민현기, 김동환, 이명규*, 박은수*(서울대학교)

P4B-1

Al 및 V 첨가에 따른 FCC 이중상 구조의 고연성 CoCuFeNi 기반 고엔트로피 합금의 기계적 물성 향상

이규필, 하준수, Yusupov Dilshodbbek, Abbas Muhammad Aoun, 홍동성, 강원묵, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

P4B-2

Ti–Modified $CoCrFeNi_2$ High–Entropy Alloys with Dual–Phase structure for Improved Hydrogen and Oxygen Evolution Catalysis

ABBAS MUHAMMAD AOUN, Kiran Shinde, Yusupov Dilshodbek, Dong Sung Hong, Ga Eun Jo, Sung Hwan Hong, Hae Jin Park, Ki Buem Kim*(Sejong University)

P4B-3

Effect of Al content on the microstructure and mechanical behavior of $(CrFeNiCu)_{100-x}$ Al_x (x = 0 – 15 at.%) high entropy alloys

Dilshodbek Yusupov, Abbas Muhammad Aoun, Kiran Shinde, Hae Jin Park, Sung Hwan Hong, Ki Buem Kim*(Sejong University)

P4B-4

Zr 및 V 합금화에 의한 TiHfNb 기반 중엔트로피 합금의 강도 및 산화 거동 제어

박태연, 허재혁, 최인철*(국립금오공과대학교)

P4B-5

Al–Ti 비율 조절에 따른 초경량 AlTiVCr 공정 고엔트로피 합금의 미세구조 및 변형 메커니즘과 고온 물성 분석

강원묵, 홍동성, Yusupov Dilshodbek, Abbas Muhammad Aoun, 강결찬, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

P4B-6

Ni 기반 3원계 합금 바인더를 적용한 초경합금의 미세조직 및 기계적 특성

양준열, 이정연, 장민서, 김은채, 권한중*(전북대학교)

P4B-7

석출–격자 왜곡 간 경쟁적 상호작용을 통한 중엔트로피합금의 강도–연성 최적화

정희재, 이재홍, 권현석*, 구강희, 왕재민, 이병주(포항공과대학교), 이상봉*(국립금오공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

P4B-8

열처리 기반 AlTiVCr 공정 고엔트로피 합금의 상변태와 고온 항복 강도 특성 평가

홍동성, 하준수, Yusupov Dilshodbbek, Abbas Muhammad Aoun, 강원묵, 이규필, 강결찬, Kiran Shinde, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

P4B-9

고압 비틀림 공정을 통한 B, N 첨가 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 헤테로구조 형성과 기계적 거동

하수빈, 손수정, 김래언, 이정완, 이도원(포항공과대학교), 장재일(한양대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

P4B-10

실시간 X–선 회절을 이용한 부분재결정 철계 중엔트로피합금의 변형 거동 분석

김진우, 이재홍, 권현석, 구강희, 이지영(포항공과대학교), 정상국(Tohoku Univ.), Emad Maawad(Helmholtz–Zentrum Hereon), 하창완(포항공과대학교), 설재복(포항공과대학교, 국민대학교), 홍순익(포항공과대학교, 충남대학교), 이상봉(국립금오공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교, Tohoku Univ.)

P4B-11

4.2 K에서 기계적 불안정성이 완화된 $L1_2$ 강화형 중엔트로피 합금 개발

이준석, 신필욱, 소영섭(부경대학교), 김영균, 나영상(한국재료연구원), 배재웅*(부경대학교)

P4B-12

Coexistence of weak ferromagnetism and superconductivity with stabilized vortex pinning in magnetic high–entropy alloy NbTaTiZrNi

Rahmatul Hidayati, Jin Hee Kim, Jae Hyun Yun(Kyung Hee University), Beongki Cho(Gwangju Institute of Science and Technology), Jung–soo Rhyee *(Kyung Hee University)

P4B-13

Design and Development of Fe–Rich Complex Concentrated Alloys for High–Temperature Applications

vikas Shivam*, Dong Whan KIM, Jae Kwon Kim , Eun Soo Park(Seoul National University)

P5 : 알루미늄

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P5-1

7xxx계 Al합금의 데이터 연구를 위한 석출물 고속 분석 방법 연구

이우영, 전서연, 이경환, 최현주*(국민대학교)

P5-2

미량 원소 첨가가 Al-0.3Fe 합금의 전기 전도도 및 기계적 특성에 미치는 영향

윤연희(한국재료연구원, 한양대학교), 이재석(한국재료연구원), 김형준(한국재료연구원, 부산대학교), 안지혁, 오영석, 이윤수*(한국재료연구원) , 장재일*(한양대학교)

P5-3

Influence of Brazing Temperature on the Interfacial Joining Behavior and Properties of 3102 Aluminum Alloy Clad Material

Ko Eun Chan, Lee Byeong Kwon(Korea Institute of Industrial Technology, Chonnam National University), Yoo Hyo Sang, Kim Yong Ho, Son Hyeon Taek*(Korea Institute of Industrial Technology), Kim Tae Hoon(Chonnam National University)

P5-4

Effects of Mg Additions on the Microstructure, Mechanical Properties, and Electrical Conductivity of Al-4Zn-2Cu-0.5MM Alloys

BYEONGKWON LEE, EUNCHAN KO(Chonnam national university, Korea Institute of Industrial Technology), YONGHO KIM, HYOSANG YOO, HYEONTAEK SON*(Korea Institute of Industrial Technology), TAEHOON KIM(Chonnam national university)

P5-5

Ni 첨가에 따른 고강성 Al-18Si-xNi 주조 합금의 미세조직 변화와 물리적 특성의 상간관계

이윤호, 이상익(한국재료연구원, 한양대학교), 이정무(한국재료연구원), 장재일(한양대학교), 조영희*(한국재료연구원)

P5-6

친환경 자동차 소재를 위한 폐스크랩을 활용한 Al합금 연구(A study Al alloys using waste scrap for eco-friendly automotive meterials)

이도윤*(조선대학교)

P5-7

기계학습을 위한 실험계획 기반 조합데이터셋 구축

이경환, 전서연, 천재은, 조기섭, 최현주*(국민대학교)

P5-8

Zr 첨가와 열처리에 의한 Al-Si-Cu합금의 미세조직과 기계적 특성의 변화

강준이*(조선대학교)

P5-9

Al-Zn-Mg-Cu알루미늄 합금에서 Sc 및 Er첨가가 인장특성에 미치는 영향

정대한(한국재료연구원, 부산대학교), 이윤수, 김원경(한국재료연구원), 김양도*(부산대학교), 김형욱*(한국재료연구원)

P5-10

마찰교반 용접된 금속소재의 결정립 크기 예측 연구

김현, 이승준*(한국공학대학교)

P5-11

AlSi10Mg 합금의 제조 공정 및 열처리에 따른 미세구조와 기계적 특성 분석

이희상(홍익대학교), 문준혁(서울대학교), 류채우*(홍익대학교)

P5-12

마찰교반 공정을 적용한 AA7075 합금의 마모 거동

한지혜(한국공학대학교), 이광진(한국생산기술연구원), 이승준*(한국공학대학교)

P5-13

비열처리형 Al-5Mg-2Si-Mn 주조용 합금의 공정 Mg_2Si 개량화 기구 연구

강청아(한국재료연구원, 부산대학교), 정수진(포항산업과학연구원), 한상섭(기초과학연구원), 이제인*(부산대학교), 조영희*(한국재료연구원)

P5-14

전력 케이블 적용을 위한 재생 알루미늄의 기계적 및 전기적 특성 평가

양원석*, 김창근, 조정민, 신동훈(대한전선(주))

P5-15

T6 처리한 Al-7Si-0.4Mg 합금에서 예비시효 조건이 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향

안재은, 손현우, 조영희, 이정무*(한국재료연구원)

P5-16

알루미늄 tube 압출재에서의 결정립 제어를 위한 열처리 공정 조건 검토에 관한 연구

김선기*((주)나이스엘엠에스), 하성호, 이근효, 이상현, 조대연(한국생산기술연구원), 윤상민, 김영균(고등기술연구원), 구승현((주)나이스엘엠에스)

P5-17

스크랩을 첨가한 알루미늄 소재의 특성 변화에 미치는 열처리 공정조건에 대한 연구

김선기*, 김경수((주)나이스엘엠에스), 이근효, 이상현, 조대연(한국생산기술연구원), 노미란, 구승현, 황종일((주)나이스엘엠에스)

P5-18

Li 첨가 고강도 경량 알루미늄 합금의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 연구

김용호*, 유효상, 이병권, 고은찬, 손현택(한국생산기술연구원)

P5-19

고강도 알루미늄 및 니켈 코팅을 이용한 반도체용 웨이퍼 링 프레임의 경량화 및 내구성 향상 기술 개발

김참일, 강헌(한국생산기술연구원)

P5-20

유한요소 해석을 활용한 알루미늄 웨이퍼 링 프레임용 프레스 트림 공정 기술 개발

김참일, 강헌*(한국생산기술연구원)

P5-21

고강도 Al-Li계 합금의 Mg 첨가량에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 연구

유효상*, 김용호, 이병권, 고은찬, 손현택(한국생산기술연구원)

P5-22

외부장 인가에 의해 제조된 AA6082 합금 연속주조 빌렛의 열처리

송림*, 김태형, 정재헌, 조훈(한국생산기술연구원)

P5-23

비전 인식 기술을 활용한 알루미늄 스크랩 실시간 분류 시스템 개발

강헌, 김참일(한국생산기술연구원)

P5-24

Al-Mg-Si계 합금의 시효거동에 미치는 Zr 미량첨가의 영향

백성현, 남수민, 어광준, 손현우*(한국재료연구원)

P5-25

Microstructural Evolution and Mechanical Anisotropy of Aluminum 8011 Alloy under Hot Rolling with Different Final Thicknesses

Kim Kyung Il*(Korea Institute of Industrial Technology)

P6 : 수소재료

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P6-1

극저온환경에서 CP-Ti(Pure Ti)의 인장 변형 및 파괴 거동 분석

이정찬, 윤준원, 안찬울(한국생산기술연구원, 고려대학교), 손석수(고려대학교), 이민수*, 박창수*(한국생산기술연구원)

P6-2

제조 공정에 따른 SUS 316L의 미세조직 차이와 수소취성 저항성

이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

P6-3

Severe Hydrogen Embrittlement of CrCoNi Medium-Entropy Alloy Under In-Situ Conditions

Chung Yoonmoon, Seung Jae Lee, Jeongho Han*(Hanyang University)

P6-4

AB_2 수소저장합금 A-site 불순물 치환에 따른 평탄압 예측식과 실제 실험 결과 비교

백민아, 석경찬, 홍성찬(한국생산기술연구원, 고려대학교), 최병철(한국생산기술연구원, 강릉원주대학교), 김동회*(고려대학교), 나태욱*(한국생산기술연구원)

P6-5

Ni 수전해 촉매의 산소 농도에 따른 알칼라인 수전해 성능 변화 연구

박태윤, 박성민(한국생산기술연구원, 고려대학교), 권제영, 서보성(한국생산기술연구원), 차은빈(한국생산기술연구원, 고려대학교), 박광석*(한국생산기술연구원), 김동회*(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

P6-6

Investigation of Hot Stamped 1.5 GPa High Performance Ultra High Strength Steels (UHSS) for Effects of (Nb + Mo) Alloying on Mechanical Properties and Hydrogen Embrittlement (HE).

SHIM EI-JOON, SEO JAE-WAN, LEE SEUNG-JOON, KIM HYE-JIN*(Tech University of Korea (TU Korea))

P6-7

Hydrogen plasma reduction for direct upcycling of battery waste into high-performance alloys

RO IJUN, Kim Se-Ho*, Lee Won-Hyoung, Lee Chang-Gi(고려대학교)

P6-8

SLM(Selective Laser Melting) 적층 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 열처리 조건에 따른 극저온 인장물성평가

임승혁(한국생산기술연구원, 고려대학교), 이민수, 송영환, 김효규, 김성탁(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

P6-9

수소 혼소 배관 적용을 위한 API 5L x42 강의 In-situ 수소 장입 기반 초음파(20kHz) 피로평가

김동오, 이진영(서울과학기술대학교), 이창희, 이정훈, 강성(포항산업과학연구원), 권용남, 석무영(한국재료연구원), 이창우(포항금속소재산업진흥원), 김정환, 이화영(한국가스안전공사), 변재원*(서울과학기술대학교)

P6-10

Al6061 합금의 마찰교반 용접조건에 따른 극저온 물성변화 분석

안찬울(한국생산기술연구원, 고려대학교), 이민수, 천현필, 안중관(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

P6-11

음향 방출 기법을 활용한 316 스테인리스강의 수소취성 분석

최수환, 신승혁, 이동규(서울과학기술대학교), 민기득, 최현선(주식회사 피레타), 황병철*(서울과학기술대학교)

P6-12 **Canceled**

CeO_2 @Ni$(OH)_2$ Catalyst with Ultra-Low Pt Loading for Alkaline and Industrial Scale AEM Water Electrolyzers

Ahmed Shahbaz, Mallappa Mahanthappa, Samim Akhter(Kumoh National Institute of Technology, Gumi-si, Korea, GHS. Co. Ltd., Gumi-si, Korea), Soon Yong Kweon(GHS. Co. Ltd., Gumi-si, Korea, Korean National University of Transportation, Korea), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology, Gumi-si, Korea, GHS. Co. Ltd., Gumi-si, Korea)

P6-13

고온 수소 노출에 따른 스테인리스강 및 Ni 합금의 수소열화현상 평가

조준영, 염화성*(포항공과대학교)

P6-14

Engineering Nanoporous Mg via Redox Agent-Mediated Chemical Dealloying for Advanced Hydrogen Storage

유병문, 조용준, 고진석(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Aqil Jamal(Saudi Aramco), 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P6-15

고망간강 용접부의 수소 환경 하 고주기 피로 거동 평가

정수진, 배동화, 이영광, 김학현, 이창희, 이정훈(포항산업과학연구원(RIST)), 이창우(포항소재산업진흥원(POMIA)), 강태훈*(포항산업과학연구원(RIST))

P6-16

V-Cu-Ni-Al 합금에서 회복 및 재결정화에 따른 수소 확산 거동 분석

한정훈, 송상윤(고려대학교), 백주현(고려대학교, 한국과학기술연구원), 남정훈, 이건직(고려대학교), 서진유(한국과학기술연구원), 손석수*(고려대학교)

P6-17 **Canceled**

Cobalt-Induced Structural Modulation of Electrodeposited CrOx for Enhanced Water Oxidation in AEM Water Electrolyzer

Sk Samim Akhter, Shahbaz Ahmed, Mallappa Mahanthapa(Kumoh National Institute of Technology, GHS Co. Ltd.), Soon Yong Kweon(GHS Co. Ltd., Republic of Korea , Korea National University of Transportation), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology, GHS Co. Ltd.)

P6-18

알루미늄계 도금 종류에 따른 Hot Press Forming 강에서의 수소확산거동

천세영, 문병록, 강남현*(부산대학교), 이석규, 엄상호(POSCO)

P6-19

탄소, 산소 첨가에 의한 TiFe계 수소저장합금의 초기수소화 성능 개선

이재용*(한국과학기술연구원, 성균관대학교), 심재혁*(한국과학기술연구원)

P7 : 소프트소재

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

좌장 : 김호범(광주과학기술원)

P7-1

Investigating Electrochemical Doping Mechanism of Water-Soluble Green Polymer for Biosensing OECT

Kim Yeonjoo(Seoul National University), Park Sangshin(Kwangwoon University), Park Eunje, Kim Taehoon , Nam Youhyun(Seoul National University), Son Sungyun(Kwangwoon University), Kang Keehoon*(Seoul National University)

P7-2

Design and Development of Multifunctional Nanofiber-Based PAN/PVDF/SiO_2 Aerogel Composites for Enhancing the Performance and Durability of Triboelectric Nanogenerators (TENGs

NHAT NAM HOANG, Jae Won Lee*(Kangwon National University, Republic of Korea)

P7-3

Polymer Electrolyte Gated Tin-Based Perovskite Field-Effect Transistors

Jung Taemin, Kim Yongjin, Kim Dohyun, Kang Keehoon*(Seoul National University)

P7-4

Dual-Functional Additive Strategy for Stable and Efficient Lead-based Halide Perovskite Electronics

Choi Jungyoon, Kim Yongjin, Kong Taehyun, Lee Junpyo, Choi Hyeonmin, Cho Jaeyoon , Kim Dohyun, Keehoon Kang*(Seoul National University)

P7-5

Tactile Sensory Light Emitting Synapse For Helthcare Monitoring

Kim Woojoong, Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Yeonji, Park Seungjun, Jung Jong Gun, Park Cheolmin*(Yonsei Univ.)

P7-6

Crystallinity-driven Enhancement of Charge Transport Properties in Mixed Lead-Tin Halide Perovskite via Co-Additive Strategy

Lee Junpyo, Choi Hyeonmin, Cho Jaeyoon, Choi Jungyoon, Kim Yongjin, Kang Keehoon*(Seoul National University)

P7-7

Reconfigurable Photoluminescence - Structural Color Display Enabling Dual-Responsive Optical Encryption

Jung Jong Gun, Han Hyowon, Oh Jin Woo, Kim Taebin, Kim Gwanho, Kim Woojoong, Kim Yeonji, Park Seungjun(Yonsei Univ.), Park Cheolmin*(Yonsei Univ., KIST)

P7-8

Geometric Control of Metal-Ligand Coordination Bonds for Topological Modification of Polymer Networks

Kim Junhyeok, Lee Haeseung, Kang Jiheong*(Seoul National University)

P7-9

Ferroelectric artificial synapse for Tactile Perception

Park SeungJun, Kim Woojoong, Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Yeonji, Jung JongGun(Yonsei Univ.), Park Cheolmin*(Yonsei Univ., KIST)

P7-10

Complementary Moisture and Triboelectric Energy Harvesting Enabled by Deformable MXene/Organo-ionic Hydrogel Foam

Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Woojoong, Kim Yeonji, Park Seungjun, Jung Jonggun, Park Cheolmin*(Yonsei University)

P7-11

Plasma Frequency-Tunable Transparent Conducting Polymer Electrodes for Pressure-Sensing Applications

Choi Jaehyeok, Wooyoung Shim*(Yonsei University)

P7-12

Photothermal Ionic Semiconducting Elastomer Enabled by MXene for Switchable Logic gate

Kim Yeonji, Kim Gwanho, Kim Taebin, Park Seungjun, Kim Woojoong, Jung Jong Gun, Park Cheolmin*(Yonsei Univ.)

P7-13

Photoresponsive Thermoplastic Elastomers Enabled by Sterically Hindered Stiff Stilbene

Kim doyun, Lee minwoo, Kang Jiheong*(서울대학교)

P7-14

Polymer Toughening effect Induced by Small Amounts of Liquid Metal Particles

CHO Hyeonwoo, CHANG Gunho, KANG Jiheong*(Seoul National Univ.)

P7-15

Unidirectional Rotations of Polymer Chains Toughen the Polymer Network

박찬범(카이스트), 강지형*(서울대학교), 강태원(카이스트)

P7-16 **Canceled**

Thiourea polymer blend for enhancing mechanical elasticity

정주은, 강지형*(서울대학교)

P7-17

Cellulose-based Hydrovoltaic Energy Generator
Shin EunAe, Shim JinKie*(한국생산기술연구원)

P7-18 **Canceled**

Modulus Patternable Stretchable Substrate for Stretchable Electronics
Jaehoon Jung, Jiheong Kang*(Seoul National University)

P8 : 철강-제선,제강,환경,에너지

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P8-1

철광석 펠렛의 가스 환원 속도상수 측정
이지언, 유홍재, 강영조*(동아대학교)

P8-2

H2-CH4 혼합가스에 의한 철광석 환원에서의 sticking 현상 고찰
김은주, 명다빈, 서인국, 이준호*(고려대학교)

P8-3

Effect of Mineralogy of Iron Ores on Assimilation by Low-Melting Compound
Kim Haeun, Lee Joonho*(Korea University)

P8-4

Influence of Sulfur Content on Nitrogen Absorption in DRI Production from High-Sulfur, Low-Grade Iron Ore
Heeju Kim, Il Sohn*(Yonsei University)

P8-5

Effects of Na_2O and MgO on Heat Flux and Crystallinity in CaO-SiO_2 Based Mold Flux
Ji-In Chung, Hanxing Ren, Seungyeon Lee, Il Shon, Gibeom Kim*(Yonsei Univ.)

P8-6

MgO-C 내화물 내산화성 향상을 위한 온도별 B_4C의 효과
이지혁, 박찬근, 정용석*(한국공학대학교)

P8-7

친환경 가탄재 적용에 따른 슬래그 포밍 내 반응 메커니즘 고찰
안효주, 김윤서, 신재은, 박노근*(영남대학교)

P8-8

Multi-stage reduction of iron ore by hydrogen
Seong-Jin Kim, Dohyeon Kim(포항공과대학교), Seongkyu Cho(포스코기술연구원), Leonardo Rocha, Sung-Mo Jung*(포항공과대학교)

P8-9

부산물 재활용을 통한 송유용 강관 탈황 Flux 개발
차은환, 김기원, 정용석*(한국공학대학교)

P8-10

슬래그 조성 및 내화물 탄소 함량 변화에 따른 MgO-C 내화물 침식 거동 연구
하주영, 김동희, 정용석*(한국공학대학교)

P8-11

Cost-Effective and Eco-Friendly EAF Processing Optimization through Life Cycle Assessment
Ryu Jieun, Cho Yeongrae, Kim Minho, Sohn Il*(Yonsei Univ.)

P8-12

저품위광을 사용한 고로 슬래그의 점성 측정 및 예측 모델 도출
정택용, 신현우, 강영조*(동아대학교)

P8-13

전기로 공정에서의 폐자원 연료 기반 친환경 가탄재 물성 및 적용성 평가
유희덕, 하륜, 강영조*(동아대학교)

P8-14

Carbothermal Reduction of DRI with Steelmaking By-Products via a Hybrid Conventional-Microwave Heating Approach
Han Dahye, Seojin Lee, Sohn Il*(Yonsei Univ.)

P8-15

전기로 전력 효율 개선을 위한 가탄제 가이던스 기술 개발
김주호*(현대제철연구소)

P8-16

용강 내 마그카본 퍼징 플러그를 통한 산소 주입 시 열화 거동
명재우, 김기원, 박찬근, 정용석*(한국공학대학교)

P8-17

정련제 수입대체를 위한 폐자원 고부가가치화 및 정련성능 평가
김인아, 정은진*(포항산업과학연구원)

P8-18

Development of MgO-containing low-melting temperature agent as a flux material for the sintering process of iron ores
Leonardo Rocha*, Seong-Jin Kim(포항공과대학교), Seongkyu Cho, Byung-Jun Chung(포스코기술연구원), Sung-Mo Jung*(포항공과대학교)

P8-19

폐타이어의 전기로 슬래그 포밍제 적용 연구
김기현*, 임동혁, 차흥주(고등기술연구원)

P9 : 고온재료

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P9-1

L-PBF 공정으로 제조된 IN718 합금의 재결정 구동력에 미치는 Layer thickness의 영향
심영래(한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 이상원, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원)

P9-2

열처리 조건에 따른 미세조직 변화가 L-PBF 공정으로 제조된 IN718 합금의 크리프 특성에 미치는 영향

심영래(한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 이상원, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원)

P9-3

IN718 합금의 균질화 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 평가

장수민, 한수빈, 송혜진, 김동혁*(한국생산기술연구원)

P9-4

강도-연신 특성이 우수한 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo DED 성형체의 미세조직 및 결정학적 변형기구 해석

한재연, 김준혁(국립창원대학교), 권영삼(㈜쎄타텍), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

P9-5

인코넬 939 계열 니켈계 내열합금의 석출상 구성 원소 분율 제어를 통한 기계적 특성 최적화 전략

김동환, 김민석, 박은수*(서울대학교)

P9-6

Designing High-γ′ Ni-Based Superalloys with Superior High-Temperature Properties via Higher Lattice Misfit and Atomistic Characterization

Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Byoong Soo Lee(KITECH)

P9-7

방전 플라즈마 소결을 통한 스퍼터링 타겟용 Mo-Ti 합금 소결체 제조 및 특성평가

오병헌, 김 건, 윤지오, 이동주*(충북대학교)

P9-8

Cr 및 그 희박 합금의 저온 소성 변형에 대한 활성화 인자 비교 및 고용연화 현상에 대한 고찰

박준서, 박예준, 강태혁, 최벽파*(한국과학기술원(KAIST))

P9-9

DSA 760과 Nimonic 80A의 원소 조성과 미세구조 차이에 따른 2형 고온부식 거동의 시간별 비교 분석

정이, 강창민, 장희진*(조선대학교)

P9-10

700 ℃ V_2O_5 + Na_2SO_4 혼합 용융염 환경에서 Inconel690 합금의 시간에 따른 고온 부식 거동 연구

강창민, 정이, 장희진*(조선대학교)

P9-11

다목적 최적화 기반 니켈기 초내열합금 조성 탐색

김수정, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수, 윤대원*(한국재료연구원)

P9-12

Effect of SiC addition on grain refinement, mechanical strength, and oxidation behavior of NbSi2-based composites

이정한*(한국생산기술연구원)

P9-13

용융염 원자로용 Ni기 모델합금의 고온 기계적 특성

윤지현*, 이현근(한국원자력연구원)

P9-14

리튬 이차전지 양극재 소성용기 내식성 향상을 위한 CaAl12O19소재에 대한 연구

이진구*(한국생산기술연구원)

P9-15

50톤급 대형 가스터빈 압축기 소재의 미세조직과 열역학 해석

이형수, 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문*(한국재료연구원)

P9-16 **Canceled**

ODS계 Ni 합금의 고온 특성

김송이*(한국생산기술연구원)

P10 : 타이타늄

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일 10:00~17:00

P10-1 **Canceled**

Effects of cryogenic quenching on microstructural evolution and tribological behaviour of Ti-6Al-4V

Hyun-hak Kang*(Incheon National University), Min-su Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Tea-Sung Jun(Incheon National University)

P10-2

Bi-modal 조직을 가지는 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직 인자와 기계적 특성의 상관성 고찰

김종훈, 한재연(국립창원대학교), 김치원(한국재료연구원), 홍현욱*(국립창원대학교)

P10-3

항공기용 Ti-6Al-4V의 상분율에 따른 저온 진동 피로 특성과 기계적 특성 분석

송민준, 박정연, 이동근*(국립순천대학교)

P10-4

중간재를 활용한 초고내식 다중금속판재 금속간화합물 억제 기초 연구

박상원*, 권홍기((재)포항소재산업진흥원), 유경훈((주)우양에이치씨)

P10-5

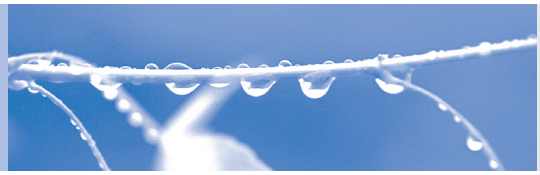
Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어 공정에 따른 인장 변형 거동 및 고주기 피로 거동 분석

신수홍, 박정연, 이동근*(국립순천대학교)

P10-6

V-Fe 합금원소에 의한 α+β계 타이타늄 합금 특성 변화

이수정, 이성호, 윤재원, 임진수랑, 이제인(부산대학교), 김상훈(국방과학연구소), 이태경*(부산대학교)



P11 : Wiley · Advanced Materials 특별 포스터 세션

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00
(심사 및 질의응답 시간 14:00~16:00)

P11-1

Unveiling the critical role of pre–alloyed Pr on shell formation and coercivity of heavy rare–earth free Pr–diffusion processed Nd–Fe–B sintered magnets

Sujin Lee(Korea Institute of Materials Science), Ganghwi Kim, Ki–Suk Lee(Ulsan National Institute of Science and Technology), Sumin Kim, Tae–Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science), Kyoung–Hoon Bae, Dong–Hwan Kim(Star Group Ind. CO., Ltd.), Jung–Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

P11-2

Simultaneous improvement in coercivity and remanence of Nd–ultra–saving Ce–substituted Nd–Fe–B sintered magnets by grain boundary diffusion process using low–melting Nd–Cu–Al–Ga alloy

Sujin Lee, Sumin Kim, Tae–Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science), Kyoung–Hoon Bae, Dong–Hwan Kim(Star Group Ind. CO., Ltd.), Jung–Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

P11-3

Bioorthogonal Assembly of Protein – Nucleic Acid Hybrids for Next–Generation Therapeutic Materials

Hyesung Jo(POSTECH), Munsu Kyung, Seonmin Ju, Jong–Seo Kim, Sang Taek Jung(Seoul National Univ.), Seung Soo Oh*(POSTECH)

P11-4

Superhydrophobic Conical–Structured Membrane with Ion–conductive Nanocoating for Flooding Mitigation and Operational Durability in Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Sang Jin Park(Korea Institute of Science and Technology, Korea University), Jun Hyuk Ko, Tae–Jun Ko, Min–Seok Kim(Korea Institute of Science and Technology), Sahn Nahm(Korea University), Myoung–Woon Moon*(Korea Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University, KIST–SKKU Carbon–Neutral Research Center)

P11-5

Entropy–Engineered Catalyst for Direct Ammonia Protonic Ceramic Fuel Cells

Dongyeon Kim(KAIST), Dong Jae Park(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Incheol Jeong(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), Seeun Oh, Hyeonggeun Kim, Mincheol Lee(KAIST), Sang Won Lee(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Kangyong Lee(KAIST), Ki–Min Roh(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), Joongmyeon Bae(KAIST), Tae Ho Shin(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Kang Taek Lee*(KAIST)

P11-6

Enhancing Energy Density and Structural Stability of Nickel Manganese Oxide Cathode through Compositionally Complex Multi–Cation Doping Strategy

Jaejung Park(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Jinyoung Jeong(Soongsil University), Bumsoo Park(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kyoungmin Min*(Yonsei University), Seungchul Lee*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

P11-7

Room–Temperature Synthesized α–phase $CsPbI_3$ Perovskite Nanocrystals for High–Performance Red Light–Emitting Diodes

Jihoon Kim(성균관대학교), Dongwoon Lee, Jaeyoung Jang*(한양대학교), Bo Ram Lee*(성균관대학교)

P11-8

Water–free in–situ HI mediated pure–red perovskite quantum dot light–emitting diodes

Jihun Kim(Sungkyunkwan Univ.), Seyeong Lim, Ho Seong Jang*(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Bo Ram Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

P11-9

Ion–Beam Structuring of Fe–Coordinated Cellulose Nanowires toward Multifunctional Properties

Young A Lee*(한국과학기술연구원), Chan Young Oh(한국과학기술연구원 , 서울대학교), Sang Jin Park, Myoung Woon Moon*(한국과학기술연구원)

P11-10

DNA–Based quasi–Solid Electrolyte for High–Performance Zinc Ion Batteries

JINKYU LEE, Jaeyoung Jeong, Tae Gwang Yun*(Ajou Univ.)

P11-11

Ultra–High–Performance Nanocrystalline Soft Magnetic Materials with an Expanded Processing Window via Multi–Cluster Strategy

Subin Ahn, Hyun Gi Min, Eun Soo Park*(Seoul National University)

P11-12

Temperature–Responsive Optical Encryption Using Eco–Friendly Lead–Free Halide Double Perovskites for Secure Information Protection

Jae Ho Kim(Changwon National University), Myungkwan Song*(Korea Institute of Materials Science)

P11-13

Phase Evolution and Texture Development in High-Ce-Substituted Nd-Fe-B Hot-Deformed Magnets Prepared from HDDR Precursors

Jae Gyeong Yoo, Tae Hoon Kim, Hee Ryoung Cha, Sumin Kim, Jung Goo Lee*(Korea Institute of Materials Science)

P11-14

Development of TRIP-maraging steel with exceptional J-based fracture toughness through the segregation engineering and metastable phase separation

JeongWon Yeh, Min Seok Kim(Seoul National University), Punit Kumar(Lawrence Berkeley National Laboratory, UC Berkeley), David Cook(UC Berkeley), Robert Ritchie*(Lawrence Berkeley National Laboratory, UC Berkeley), Eun Soo Park*(Seoul National University)

P11-15

Thermoelectric performance analysis of BiTe-based reference module using finite element method

Seunghyun Oh(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Kyungpook National University), Sudong Park, Byungki Ryu*(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI))

P11-16

Dual Control of Size Uniformity and Surface Chemistry in $CsPbBr_3$ Nanocrystals via an S_N2-based Heat-Up Synthesis for Efficient Perovskite LEDs

Gyeongeun Seok(Sungkyunkwan Univ.), Yubin Lee, Jigeon Kim, Younghoon Kim*(Kookmin Univ.), Bo Ram Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

P11-17

Enabling Electrochemical Simulations with Electronically Grand Canonical Machine Learning Interatomic Potential

Dongmin Kim(Korea University), Seung Jae Kwak(Seoul University), YongJoo Kim*(Korea University)

P11-18

Soft and implantable hydrovoltaic electricity generator by micropatterned conductive polymer hydrogels

Sangmin Song, Yejin Lee(Korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), Hyeok Kim(Korea Institute of Science and Technology), Daeyeon Won, Seung Hwan Ko*(Seoul National University), Hyung-Seop Han*, Ji-Soo Jang*, Hojeong Jeon*(Korea Institute of Science and Technology)

P11-19

Development of ultra-high strength aluminum thin foils with severe asymmetric cold rolling of high Mg Aluminum alloy, Almag6

ALI NAVEED(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Kwang Min Choi(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Bong-Hwan Kim*(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Hyo Yun Jeong, Ram Song(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Shae K Kim(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P11-20

A Compositional Engineering Approach to Bimetal-Doped $BaCoO_{3-\delta}$ for Enhanced Bifunctionality and Phase Stability in Reversible PCECs

Seeun Oh, Jiwon Kim, Dongyeon Kim, Hyeonggeun Kim, Kang Taek Lee*(KAIST)

P11-21

Deciphering the Relationship between Spatial Microstructural Heterogeneity and Anode Degradation in Lithium-Ion Batteries

YEJIN KANG, SEUNGSOO JANG, JUNGHYUN MOON, EUN AE CHO, KANG TAEK LEE*(KAIST)

P11-22

Defect Engineering in Ceria Thin Film Interlayers for High-Performing Solid Oxide Electrochemical Cells

Hyeongmin Yu(KAIST), Incheol Jeong(KIGAM), Sang Won Lee, Tae Ho Shin(KICET), Kang Taek Lee*(KAIST)

P11-23

Wearable Ring Sensor for Enhanced Accuracy and Comfort in Blood Pressure Monitoring

Seongu Kim, Jeonghyun Kim*, Lurong Yang, Hyejun Kim, Junghoon Lee, Yeonjae Yang(Kwangwoon Univ.)

P11-24

Development of improved microstructure of cast Mg alloy with high shear melt treatment and ZnO grain refiners

Kwangmin Choi, Heon Kang, Bonghwan Kim*(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P11-25

Rose petal-inspired, hierarchical structures on Cu current collector enhancing electrolyte superspreading and Long-term cycling performance in Anode-free Li-metal batteries

Eun Ji Seo, SangJin Park, YoungA Lee, MinSeok Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), GwangHee Lee(Institute for Advanced Engineering (IAE)), MyoungWoon Moon*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Sungkyunkwan University (SKKU))

P11-26

Phase-Transformation-Induced Cyclic Behavior in NiTi Shape Memory Alloy Thin Films

Hyemin Ryu, Zhuo Feng Lee(KAIST), Jiaqi Dong, Kelvin Xie(Texas A&M University), Gi-Dong Sim*(KAIST)

P11-27 **Canceled**

한국형 핵융합로 저방사화 구조재 ARAA강의 물성 결정 및 DB 구축 현황

이윤승*(경상국립대학교, 한국원자력연구원), 이형연(한국원자력연구원), 남기언(경상국립대학교), 권효성, 박이현, 안무영(한국핵융합에너지연구원)

P11-28

Scale-bridging digital twin for hierarchical architecture morphogenesis

Siwon Yu, Seungsoo Jang, Yejin Kang(KAIST), Young Seok Cho(Trinity Engineering), Ho Jin Ryu(KAIST), Kang Taek Lee*(KAIST)

P11-29

산소 공공 형성에 의한 Ti–Fe–O 합금의 초저압 수소화 거동 및 기구

윤영철(한국과학기술연구원, 서울대학교), 크리쉬나모한 테케파트, 강재동, 이승철*, 이영수*(한국과학기술연구원), 박은수*(서울대학교), 김진우*(한국과학기술연구원)

P11-30

Machine Learning–Accelerated Multiscale Modeling of Metal/MoC Electrocatalysts for Alkaline Hydrogen Evolution

Jinuk Moon, Jeong Woo Han*(Seoul National Univ.)

P11-31

Property–Driven Generative Modeling for Efficient LOHC Molecule Discovery

Seoyeon Kim, Jeong Woo Han*(Seoul National Univ.)

P11-32

A Triboelectric–Noncontact Piezoresistive Dual–Mode Sensor Based on Aerogels and Electrospun Nanofibers for Flexible Electronic Skin

YANG LURONG, Jeonghyun Kim*(Kwangwoon Univ.), Yang Li(Shandong Univ.)

P11-33

Multimodal framework of molecular hydrogen carrier encoding for accurate physicochemical property prediction

Jimin Han, Jeong Woo Han*(Seoul National University)

P11-34

Graphene–Decorated Carbon Black Derived from Greenhouse Gas for Enhanced Battery Conductive Additives

Eunchae Oh, Yeonwoo Jeong, jungpil kim*(Korea Institute of Industrial Technology)

P11-35

Mo–Doped Perovskite Electrodes and Electrolytes for Sulfur–Tolerant Protonic Ceramic Electrochemical Cells in H2S Electrolysis

Taehong Kim, Dongyeon Kim, Daehan Chung, Kang Taek Lee*, Joongmyeon Bae*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P11-36

Ultrafast Laser–Induced Nanocoatings: A Breakthrough in Hydroxyapatite Layer Fabrication for Biomedical Implants

Dae Hyeok Kwon(Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Jaehong Lee(Korea Institute of Science and Technology), Hojeong Jeon*(Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Yu–Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology)

P11-37

Integrated Morphological and Compositional Design of $SrCoO_{3-\delta}$ Electrodes for Intermediate–Temperature Solid Oxide Cells

Hyeonggeun Kim, Hyeongmin Yu, Ha–Ni Im, Yeonghyeon Moon, Kang Taek Lee*(KAIST)

P11-38

Enhanced thermoelectric performance by chemical phase transformation of NaCl into Bismuth Antimony Telluride alloy

SAURABH THORAVAT, Jae Hyun Yun , Anil Kumar (Kyung Hee University), Junyoung Park, Hyungyu Jin (Pohang University of Science and Technology), Jong–Soo Rhyee *, Jin Hee Kim *(Kyung Hee University)

P11-39

Equimolar Ni – Fe – Cu – Co B–Site Co–Substitution of $BaZr_{0.4}Ce_{0.4}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_{3-\delta}$ as a Promising Catalyst for Ammonia–Fueled Protonic Ceramic Fuel Cells

Daehan Chung, Dongyeon Kim, Kang Taek Lee*, Joongmyeon Bae*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P11-40

세차 전자 결정학을 활용한 산소 조성에 따른 Ti–Fe–O 합금 내 수소 결합위치 규명

강재동(한국과학기술연구원), 윤영철(한국과학기술연구원, 서울대학교), 크리쉬나모한 테케파트(한국과학기술연구원), 전초록(한국과학기술연구원, 서울대학교), 이승철, 김진우*(한국과학기술연구원)

P11-41

Biodegradable Mg/MoO_3 Self–Powered Iontophoretic Patch with WO_3 Colorimetric Feedback for Enhanced Delivery and Real–Time Control

Sung–Geun Choi(korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), Se–Hun Kang(Seoul National University), Soo–Hwan Lee(korea Institute of Science and Technology), Geonjin Shin, Yu–Lim Lee(Seoul National University), Aejin Kim(korea Institute of Science and Technology), Joo–Hyeon Park, Seung–Kyun Kang*(Seoul National University), Hyojin Lee*(korea Institute of Science and Technology)

P11-42 **Canceled**

Subgap Density–of–States of high–performance La–doped $SrSnO_3$ observed with multi–wavelength light

Sojin Jung(Jeonbuk National University), Junghyun Koo(University of Minnesota), Hongseung Lee(Jeonbuk National University), Dongho Won (Hongik University), Donghwan Kim(University of Minnesota), Jaewook Yoo, Minah Park, Seohyeon Park, Seongbin Lim(Jeonbuk National University), TaeWan Kim(University of Seoul), Bharat Jalan, Gang Qiu*(University of Minnesota), Kiyoung Lee*(Hongik University), Hagyoul Bae*(Jeonbuk National University)

P11-43

Axial Piezoelectric Anisotropy Programmed by Vectorial Magnetic Fields Enables Selective Response in Tactile Sensors and Soft Robotic Applications

Yubin Kim, Minjeong Ha*(Gwangju Institute of Science and Technology)

P11-44 **Canceled**

Seed–Directed In Situ Growth of Oriented 3D Perovskite Nanocrystal Films for Efficient Light–Emitting Diodes

Jinju Jeong, Jaehun Kim, Seungjin Lee*(KENTECH)

P11-45

습식 공정 기반 Planetary Mill을 적용한 SUS316L 분말 판형화 입자 제어 및 특성 평가 연구

위재혁, 유시홍, 이성의*(한국공학대학교)

P11-46 **Canceled**

Plasmonic Au-decorated metal-phenol network cluster for colorimetric quantification and separation of nanoplastic

Do hyeon Jung, Yejin Cho, Hui-Hun Cho, Jun Hyuk Heo, Jung Heon Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

P11-47

액티브 러닝을 활용한 고성능 다원계 합금 수소 분리막 설계

김태엽, 황인우, 서진유, 이영수(한국과학기술연구원), 비탈리 스타빌라(Sandia National Laboratories), 김진우*(한국과학기술연구원)

P11-48

Hydrobromic Acid-Assisted In-situ Resurfacing $CsPbBr_3$ Nanocrystals for Efficient Light-Emitting Diodes

Jaehun Kim, Jinju Jeong, Seungjin Lee*(KENTECH)

P11-49

Molecular Interface Engineering by Mixed Self-Assembled Monolayers for Efficient and Stable Perovskite LEDs

Yeonji Son, Byungjun Yoo, Junmo Park, Sangjeung Park, Hobeom Kim*(Gwangju Institute of Science and Technology(GIST))

P11-50

Fully Recyclable Digital Light Processing 3D-Printed $BaTiO_3$ Composites Enable Sustainable, High-Power Triboelectric Nanogenerators

Yun Kwag(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan Univ.), Jaewon Cho, Jisoo Nam(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Hyunhee Kwon, Myung-Gil Kim(Sungkyunkwan Univ.), Miso Kim*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P11-51

A Deep Learning Approach to Surface Passivation Material Design for High-Efficiency Perovskite Light-Emitting Diodes

Dongbeen LEE, Hobeom KIM*(Gwangju Institute of Science and Technology(GIST))

P11-52

Dual-Oxide Sintering Aids Enable Low-Temperature Sintering of (K, Na)NbO_3 - $SrZrO_3$ with Temperature-Stable Capacitance and Low Loss

Seong Uk Ju(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University), Jaewon Cho(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min Sun Choi(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University), Yunseok Kim(Sungkyunkwan University), Miso Kim*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P11-53

Defect Modulation via Interfacial Engineering in Halide Perovskite Memristors

SangJeung Park, Junmo Park, Yeonji Son, Inhyeok Oh, Jungdae Lee, Hanwool Yeon(광주과학기술원), Yeongjun Lee(한국과학기술원), Sanghan Lee , Hobeom Kim*(광주과학기술원)

P11-54

Suppressed Size Effect of $Co_{1-x}Pd_x$ using Grain Boundary Engineering as for Alternative Interconnect Material

Hyeong Jun Kim(한양대학교), Joonho Moon, Kiyoung Lee*(홍익대학교), Changhwan Choi*(한양대학교)

P11-55

황산염 기반 전해질을 활용한 고순도 니켈 전해제련 공정 개발

권예리(한국재료연구원, 부산대학교), 이주열, 유병욱*(한국재료연구원)

P11-56

휘발성 방향족 탄화수소의 고감도 · 고선택성 검지를 위한 CeO_2 촉매층이 코팅된 이중층 구조의 가스센서 설계

윤성영, 서정후, 김남철, 정성용*(국립공주대학교)

P11-57

고감도 · 고속성 H_2 검지를 위한 다공성 PdO-SnO_2 가스센서 설계

서정후, 윤성영, 김남철, 정성용*(국립공주대학교)

P11-58

Selective Doping of Laser-Induced Graphene via Liquid Laser Ablation for Active Device Applications

HeeRa Lee(Pusan National University), Sukang Bae (Jeonbuk National University, Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Jong-Seong Bae(Korea Basic Science Institute), Tae-Wook Kim(Department of Flexible and Printable Electronics, Jeonbuk National University), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

P11-59

Pseudo-Integrated, Stress Dissipating Interface for Soft - Rigid Polymer Integration in Biomedical and Robotic Systems

최유림, 이준민*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

P11-60

Lead-Free $Cs_3Pd_2I_5$ 0D Metal Halide Perovskite with Pd Nanoparticle Exposure for Advanced Hydrogen Sensing

Ju Hyoeng Yu, Gun Gook Kim(Pusan National University), Jong-Seong Bae(Korea Basic Science Institute), Myoeng Kwan Song(Korea Institute of Material Science), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

P11-61

Growth of MoS_2 Wires with Perpendicular Layer Stacking for Edge-Standing Heterostructures

Seo Hyeon Moon(Pusan National University), Yeongeun Kim(Inha University), Hyeon-Sik Jang(Gyeongkuk National University), Sukang Bae(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Naechul Shin*(Inha University), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

P11-62 **Canceled**

Engineering " Plug-and-Play" Functional Metallized Ceramics Using DNA as Synthesis Scaffolds

Priyannth Ramasami Sundharbaabu, Cheol Hyun Park, Yun Seong Cho, Jun Hyuk Heo*(Sungkyunkwan University (SKKU)), Joohoon Kang*(Yonsei University), Jung Heon Lee*(Sungkyunkwan University (SKKU))

P11-63

MD 기반 AA8079－폴리프로필렌 계면 접합 메커니즘 연구

박진웅, 한병준(국립한밭대학교), 김준현(롯데인프라셀), 김정한*(국립한밭대학교)

P11-64 **Canceled**

Subgap–States–Mediated Transitions as a Direct Metric for Bias Stress Instability in Solution–Processed Indium–Zinc–Oxide Thin–Film Transistors

Dongwook Kim, Hyeonju Lee, Seulee Lee, Taehui Kim, Seungbin Kim, Sooyoung Bae, Jaehoon Park*(Hallym University)

P12: 전산재료과학

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

P12A-1

알루미늄 재활용을 위한 전기로 · 연소로 에너지 및 조업 특성 비교 연구

유한준, 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)

P12A-2

Machine Learning Interatomic Potential Based Molecular Dynamics Prediction of Polymers on surfaces

이희열, 강준희*(부산대학교)

P12A-3

Machine Learning Potential Development for Ti–Mn–Based Hydrogen Storage Alloys

Hun–Min Jo(Inha Univ.), Won–Seok Ko*(Korea Univ.)

P12A-4

유한요소해석을 이용한 파괴인성 시험 재현 및 예측

하재민, 신선호, 성효경*(국민대학교)

P12A-5 **Canceled**

Machine Learning Potentials for Structural and Thermodynamics Analysis of Phase Transitions in Inorganic Halide Perovskite

Seohui Jo, Seongho Choi, Ki–Ha Hong*(Hanbat National Univ.)

P12A-6

Lattice thermal transport screening for layered NaZnSb/KZnBi–type thermoelectrics: High–throughput workflow via the machine learning potential

Semi AnYonsei University), Kisung Kang(Chonnam National University), Aloysius Soon *(Yonsei University)

P12A-7

Insights into the Synergistic Effect of RuFe Bimetallic Catalysts for Ammonia Synthesis

Suin Hwang, Hyuk Choi, Seona Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National University)

P12A-8

Numerical Methodology to Predict Fatigue Life of Thermal Barrier Coatings

Lee SangLim, WangRok Soek, Yoon Suk Choi*(Pusan National University), Sangwon Myoung, Hunhee Kim(Doosan Enerbility)

P12A-9

카테콜의 흡착 · 탈착 거동에 대한 그래핀 계열 소재의 분자동역학

정수민*, 윤태영*(국립창원대학교)

P12A-10

ABAQUS 기반 저주기 피로 시뮬레이션 및 이력 곡선 예측

오문열*, 성효경*(국민대학교)

P12A-11

KKS 기반 상평형 시뮬레이션을 통한 Al–Cu 합금의 냉각속도 변화와 Jackson－Hunt 이론 비교 분석

박용욱, 차필령*(국민대학교)

P12A-12

Computational Study on PAA Binder Design for Silicon Anodes with Pre–lithiation Induced by Li Precursors

Gyuri Kim, Junso Son , Tae Kyung Lee *(Gyeongsang National Univ.)

P12A-13

Development of Joint Energy–Force–Stress Negative log–likelihood Training of Bayesian Machine learning Potentials

SONG JOOYEON(경기대학교, 성균관대학교), Myung Changwoo*(성균관대학교)

P12A-14

이미지 분석과 Python 프로그래밍을 통한 결정립 크기 자동화 측정 기법 개발

조진우, 이혜원, 정원석, 박노근*(영남대학교)

P12A-15

Exploring Liquid Gallium Alloys with a Pre–Trained Graph Neural Network for Non–Crystalline Systems

Jang Jimin(Yonsei University), Kang Kisung(Chonnam National University), Park Jihye(Hydrogen and Fuel Cell Development Center, Hyundai Motor Company), Aloysius Soon*(Yonsei University)

P12B-1

Molecular–Level Understanding of Molecularly Functionalized Separators for Electrodes Stabilization in Lithium Metal Batteries

Yubhin Cho , Jiyoon Lee , Tae Kyung Lee*(Gyeongsang National University)

P12B-2

Facet–Dependent Etching of Hydrogen－Terminated Silicon Surfaces: A Density Functional Theory Study

Song Eunjeong, Shin Hyeyoung*(Chungnam National Univ.)

P12B-3

Graph Neural Network–Driven Design of Liquid Organic Hydrogen Carriers for Electrochemical Dehydrogenation

KIM JAEGEOL, SHIN HYEYOUNG*(Chungnam National Univ.)

P12B-4

Systematic Evaluation of Attention Mechanisms in Transformer Models for De Novo UTS-Driven Silk Protein Sequence Design
염준빈, 신홍철, 박유진, 윤태영*(Changwon National University)

P12B-5

Utilizing Latent Feature Embedding for Accurate OOD Energy Prediction in Machine Learning Potentials
Jo Kwanghyeon, Chang Woo Myung*(SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY)

P12B-6

Exploring Direct Electrochemical Fischer-Tropsch Synthesis of C1-C7 Hydrocarbons via Perimeter Engineering of Au-SrTiO3 Catalyst
Sim Gi Beom, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

P12B-7

Rational Design of Highly Selective Electrocatalyst for Chlorine Evolution Reaction via Heteroatom Incorporation: A DFT Study
Ko myeongbum, Hyeyoung Shin*(Chungnam National University)

P12B-8

Multi-GPU Machine Learning Interatomic Potential Development for Large-scale Molecular Dynamics Simulation
Choi Won Woong, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

P12B-9

Combined DFT and machine learning investigation of hydrogen storage behavior in C14 type high-entropy alloys.
Seo-Hui Park(Inha University), Won-Seok Ko*(Korea University)

P12B-10 **Canceled**

A Sparse Bayesian Committee Machine Potential for Oxygen-Containing Organic Compounds
Kim Seungwon, Myung Chang woo*(Sungkyunkwan University)

P12B-11

Integrated Phase Field Modeling & Active Learning for Ferroelectric HZO
방진현, 슈가탄 산디프, 차필령*(국민대학교)

P12B-12

PEGDE 개질제 및 이온성 액체를 활용한 Electrochemically Debondable Adhesives (EDA) 에폭시 시스템의 전산 시뮬레이션 연구
박유진, 윤태영(국립창원대학교)

P12B-13

Development of a Methodology to Improve the Accuracy and Training Efficiency of First-Principles Machine Learning Potentials via Direct Force Pre-Training
LEE WONHO, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

P12B-14

A Bayesian Committee Machine-based Force Field for Organic Nitrogen Compounds
Park Hyun Gyu, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

P12B-15

Development of a Bayesian E(3)-Equivariant Ab Initio Interatomic Potential
Park Taehyeon, Chang Woo Myung*(Sungkyunkwan Univ.)

P12B-16

CoCrCuFeNi 고엔트로피 합금의 조성 변화에 따른 He 버블이 기계적 물성에 미치는 영향
문찬혁*, 윤태영*(국립창원대학교)

P12B-17

Surface-Modified Tin Oxide for Enhanced Chlorine Evolution with the Suppressed Competing Reaction: A DFT Study
Jaecheon Kim, Nhi Thi Yen Phan, Hyeyoung Shin*(Chungnam National Univ.)

P12B-18

확장된 Born-Haber Cycle과 열역학 데이터베이스를 이용한 다상 합금의 전기화학적 전위 맵핑 및 갈바닉 부식 예측
김도현, 차필령*(국민대학교)

P12B-19

공정 조건에 따른 박막 내 다결정 미세구조 진화의 상장 시뮬레이션
최다은, 이환욱, 권용우*(홍익대학교)

P12B-20

Defect dynamics modeling of mesoscale plasticity
KYEOGMI YEON, JUNHO SEONG, ILL RYU*(서울대학교)

P12B-21

CNT Alignment Using the Dimensionally Limited Self-Alignment (DLSA) Process: MD and DPD Study
EOM SANGMIN, SHIN YEHYUN, KWON JIMIN*, KIM BYUNGJO*(UNIST)

P12B-22

High-Temperature Interfacial Behavior of $Li_{13}Si_4$ Anodes with Molten Salt Electrolytes
Junghun Bae, Heonjae Jeong*(Sogang University)

P12B-23

Predicting Interfacial Stability of Molten-salt electrolyte/FeF3 Cathode
Myeongjae Heo, Heonjae Jeong*(Sogang University)

P12B-24

Resistance Variability in $Ge_2Sb_2Te_5$- vs. GeTe-Based Phase-Change Memories: A Multiphysics Simulation Study Incorporating Stochastic Nucleation
gim hyesu, Kim yechan, Kwon yongwoo*(Hongik univ)

P12B-25

Intergrated phase-field simulation of thin-film growth and crystallization
hwanwook lee, yongwoo kwon*(Hongik univ)

P12B-26

Simulation of resistive switching phenomenon in filament-type RRAM using phase field and finite element method
Jung Dongmyung, Kwon Yongwoo*(Hongik Univ.)

P12B-27

Order–disorder transition in 2D MC Potts model: II. Interfacial energy and critical nuclei size

Park MinSeong, Minguk Jang, Sukbin Lee*(Ulsan National Institute of Science and Technology)

P13 : 마그넷

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P13-1

네오디뮴 자석 리싸이클링

홍석우, 노이준, 김세호*(고려대학교)

P13-2

Microstructural Optimization and Coercivity Enhancement in Nd–Ce–Fe–B Magnets through Grain boundary diffusion of Pr–La Mixed Alloy

Jang Ye Ryeong, Wooyoung Lee*(Yonsei University)

P13-3

영구자석 소재의 미세구조 효과를 확인하기 위한 디지털 트윈 적용 전략

김민규, 남충희*(한남대학교)

P13-4

Influence of Thermal and Magnetic Properties According to the composition of Fe–P–C

Hayan Shin, Hyunkyung Lee, Haein Choi–Yim*(Sookmyung Women's University)

P13-5

Investigation of Magnetic Property Enhancement by Incorporating Eutectic Alloys in Ce–Fe–B Hot–Deformed Magnets

Lee Kyungmi, Jang Ye Ryeong, Lee Wooyoung*(연세대학교)

P13-6

재료 압출식 3D 프린팅을 이용한 Ni–Zn 페라이트 연자성 코어 제조 및 자성 특성 평가

이강현, 임태협, 김민종, Bayi Nelson M, 이선영*(한양대학교)

P13-7

Influence of Cu content on Thermal behavior and Magnetic Properties of Fe–based Amorphous Alloy

kim seongjun, Lee Juhyeok, Seong Jian, Seonghoon Yi*(Kyungpook National University)

P13-8

Effect of Heat Treatment Conditions on Cu Clustering and Magnetic Properties in Fe–Based Amorphous Alloys

Lee Jongil, Jeong Mingyo, Yi Seonghoon*(Kyungpook National University)

P13-9

방전 플라즈마 소결 변수 제어를 통한 $SmFe_{11}Ti$ 환원확산 분말의 소결 공정 최적화

윤경식, 김정현, 전희연, 김현성(서울과학기술대학교), 이영인*(서울과학기술대학교, 분말기술연구소)

P13-10

Optimization of Fe–Si–B Amorphous Soft Magnetic Alloys for EV Wireless Charging Pads Material

Kim Serin, Lee Hyunkyung, Choi–Yim Haein *(Sookmyung Women's University)

P13-11

Magnetic Properties of Anisotropic Nd–Fe–B Sintered Magnets Fabricated by Spark Plasma Sintering and Internal Grain Boundary Diffusion

Kim Seong Chan(DGIST), Dong Hyun Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Jungwoo Ha(DGIST), Kyoung–Hoon Bae(R&D Center, Star Group Ind. Co.), Jong Wook Roh(Kyungpook National Univ.), Jong Tae Kim, Tae–Young Yun, Seok–Hwan Chung, Jeongmin Kim, Dong Hwan Kim*(DGIST)

P13-12

Development of High Saturation Magnetized Fe–P–B–Based Amorphous Soft Magnetic Alloys for Electric Vehicle Wireless Charging Pad Materials

Han Ingyeong, Lee Hyunkyung, Choi–Yim Haein*(Sookmyung Women's University)

P13-13

Microstructural Optimization and Coercivity Enhancement in Nd–Fe–B Sintered Magnets through Two–Step Grain Boundary Diffusion of CuF_2 and Pr–Based HRE–Free Alloy

seongmin Choi, Ye Ryeong Jang, Wooyoung Lee*(Yonsei Univ.)

P13-14

Optimization of magnetic properties in Nd–Fe–B sintered magnets through grain boundary diffusion using dry–coated Pr–LRE–Tb–Al–Cu alloys

Dong Hyun Lee, Seong Chan Kim, Hyeonjong Jeong, Ju–young Baek, Tae–Young Yun, Jong Tae Kim, Seok–Hwan Chung(DGIST), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee(R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh*(Kyungpook National Univ.), Dong Hwan Kim*, Jeongmin Kim*(DGIST)

P13-15

De–nitridation Based Synthesis of Single–Phase Fe_4N

Kim Ho–Jeong, Choi Hyojin, Lee Seung Yong(Yonsei University), Lee Jung–Suk, Lee Jisung, Heo Taegwan, Kim Dohoon(Hyundai Motor Company), Lee Kyu Hyoung, Lee Wooyoung*(Yonsei University)

P13-16

Enhanced Coercivity of Nd–Fe–B Magnets Using Low–Dysprosium Dy–LRE–Zn–Cu Alloys

Jeong Hyeonjong(DGIST), Dong–Hyun–Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Jung Woo Ha, Ju–young Baek, Tae–Young Yun, Jong Tae Kim(DGIST), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee(R&D Center, Star Group), Seok–Hwan Chung(DGIST), Vitalii Galkin*(DGIST, Kyungpook National Univ.), Dong Hwan Kim*, Jeongmin Kim*(DGIST)

P13-17

Optimizing Microstructure－Magnetic Property Relationships in Melt–Spun Nd–Ce–Fe–B Ribbon

Ha Jung Woo, Hyeonjong Jeong, Seong Chan Kim(DGIST), Dong Hyun Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Ju–young Baek, Tae–Young Yun, Jong Tae Kim(DGIST), Jaehyuk Kim(Yonsei Univ.), Seok–Hwan Chung, Jeongmin Kim, Dong Hwan Kim*(DGIST)

P13-18

Enhancing Phase Stability and Magnetic Properties of Antiperovskite Mn_4C by Doping (Co, Cu) Couple

ZHANG BAOCHAO, Jihoon Park a*(Korea Institute of Materials Science)

P13-19

Systematic investigations of Initial REE Content on the Microstructure and Magnetic Properties of (Pr,Nd)–Fe–B Permanent Magnets and subsequent studies of heavy and low REE Grain Boundary Diffusion

hyunjoong kim, Babu Madavali , Soon–Jik Hong*(Kongju national university)

P13-20 **Canceled**

High Density $Sm_2Fe_{17}N_3$ Magnets with Improved Magnetic Performance through Low Melting Metal Powder Additives

Kim Jaehyuk(Yonsei Univ.), Lee Jung Suk, Lee Jisung, Hoe Taegwan, Kim Dohoon(Hyundai Motor Company), Lee Wooyoung*(Yonsei Univ.)

P13-21

Fe–Co strip의 자기특성과 유도초음파 발생 상관관계

권아람*(한국생산기술연구원)

P14 : 에너지재료

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P14-1

고엔트로피 탄화물 촉매를 이용한 CO_2 환원 촉매 반응 평가

이현주*, 이종현*, 네르시시얀 하이크(충남대학교)

P14-2

10–μm–Thick Ultrafine–Grained Mg－Li Foil as an Anode Current Collector for Lithium–Metal Batteries

Junoh Jung, Hee–Tae Jeong, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)

P14-3

Effect of Carbon Nanotube Addition to Aluminum Foil Anodes on Electrochemical and Mechanical Properties for Lithium–Ion Batteries

JunYoung Kim, HeeTae Jeong, WooJin Kim*(Hongik Univ)

P14-4 **Canceled**

Cation–selective graphene oxide membranes for scalable power generation

Park Seokmin, Wooyoung Shim*(연세대학교)

P14-5

An NZSP Nanofiber/In–situ Polymerization Approach for High–Efficiency Sodium Batteries with a Composite Solid Electrolyte

JEONGMIN KIM, CHANJIN PARK*(Chonnam Univ.)

P14-6

이온의 도핑이 YSZ의 결정립계 이온전도도에 미치는 영향에 대한 연구 Effects of Ce doping to yttria–stabilized zirconia on its grain boundary conductivity

김건홍, 이진구*(한국생산기술연구원)

P14-7

Hierarchical Grain–Boundary Networks in Al－Si Alloy Foils for High–Capacity Lithium–Ion Battery Anodes

Hee–Tae Jeong, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)

P14-8

나노 성형 기반 표면 구조화를 통한 알루미늄 음극재 효율 향상

문준혁(서울대학교), 류채우(홍익대학교), 박은수*(서울대학교)

P14-9

Enhanced Electrochemical Performance of NCM811 Cathodes Using MWCNTs in Solid Polymer Electrolyte Batteries

Wuyoung Goh, Chanjin Park*(Chonnam National University)

P14-10

A study of the high–efficiency solar evaporation system using 3D porous black TiO_{2-x} structure with high–density oxygen vacancies

Jeon Hee Yeon, Jeong Hyun Kim(Seoul National University of Science and Technology), Young–In Lee*(Seoul National University of Science and Technology, The Institute of Powder Technology)

P14-11 **Canceled**

Electrochemically Surface–Engineered CoNiFe on Stabilized Layered Ti_3C_2 MXene: A high–performance, cost–efficient catalyst for AEM Water Electrolyzers

Mallappa Mahanthappa, Shahbaz Ahmed, SK Samim Akther (Kumoh National Institute of Technology), Kweon Soon–Yong(GHS Co. Ltd., Korea National University of Transportation), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology)

P14-12 **Canceled**

Metal–organic framework derived sulfur－doped bimetallic phosphoselenide electrocatalysts for hydrogen and oxygen evolution reactions

Perumal Naveenkumar, Karattadipalayam Periyasamy Nithyanandam, Hyeon Woo Yang, Sun–Jae Kim(Sejong University)

P14-13

Effect of Zr on intergranular corrosion of low Cr stainless steel

JinHo Park*(KAERI)

P14-14 **Canceled**

Fabrication of nanocomposite of ZnS－NiS_2 @NC electrode materials for enhanced supercapacitor applications

Sun–Jae Kim *(Sejong University)

P14-15

Effects of Nano-sized Ba(Zr0.1Ce0.7Y0.2)O3-δ Synthesis on Solid Oxide Fuel Cell Performances

Jin Goo Lee*(Korea Institute of Industrial Technology)

P14-16

PbO_2 Nanoparticle Size Effects on Lead-Acid Battery Degradation Pathways

JO SUNGGEUN, Wooyoung Shim*(연세대학교/Yonsei Univ.)

P14-17 **Canceled**

우라늄 밀도(gU/cc)에 따른 기장로 초기노심용 U-7Mo 판형핵연료 압분체 및 우라늄 심재크기에 대한 연구

송화영*, 황형진, 허명립, 이용환, 권순태, 정효진, 이선용, 박동준, 정용진(한국원자력연구원)

P15 : 디스플레이재료

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 김호범(광주과학기술원)

P15-1

Polymer-Engineered Halide Perovskite Scintillators for Enhanced X-ray Detection and Imaging

Ha Neul Kim(Hanyang Univ.), Seong Ho Lee(HYU-KITECH joint Graduate school), Hyekyoung Choi(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Ju Yong Woo(HYU-KITECH joint Graduate school, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Bo Kyung Cha*(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Seong-Yong Cho*(Hanyang Univ.)

P15-2

Monolithic Fabrication of Hierarchical Transmissive Color Routers Using High-Refractive-Index Inorganic Materials

Park Sehyeon, Samuel Kim, Myungjae Lee*(Seoul National University)

P15-3

Bi-Sphere Whispering Gallery Mode Resonators for Raman Signal Enhancement in Display Inspection

Baek Gyuin, Kyungnam Kam, Eunsun Kim, Lee Myungjae*(Seoul National University)

P15-4

Fast-Response Thermochromic Display using Molecular Microprinting

Wooyoung Shim*, Kim SeungYeon(연세대학교)

P15-5

Structurally Graded Silica Nanohelices for Polarization Control in Next-Generation Display Optics

안은영, 정영준, 이명재*(Seoul National Univ.)

P15-6

High Resolution and Low Exposure Dose Direct Optical Lithography of in-situ Crystallized Metal Halide Perovskite Films

Hyungdoh Lee, Himchan Cho*(한국과학기술원)

P15-7

온도 및 pH 조건 최적화 후 사카린 첨가량 변화에 따른 Fe - Ni 합금의 전주도금 거동

김선민, 김진범, 안다영, 김인경, 박용범, 신세은*(Sunchon National University)

P15-8

Direct optical lithography of intrinsically stretchable colloidal emissive nanocrystals

Park Sun Jae(KAIST), Taewon Kang(Northwestern university), Wonbeom Lee(KAIST), Jiheong Kang*(서울대학교), Himchan Cho*(KAIST)

P15-9

La3Si6N11:Ce3+(LSN) 대체를 위한 M2SiO4:Eu^{2+} (M=Ca, Sr, Ba) 황색 형광체 개발

홍명환, 김재찬*(고등기술연구원)

P15-10

Highly Bright Deep-Blue Perovskite Light-Emitting Diodes via Dual-Passivating Halide Exchanger

Lee Jun-Seo(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea), Himchan Cho*(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea, Graduate School of Semiconductor Technology, School of Electrical Engineering (EE), Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea), Hyungdoh Lee(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea)

P15-11

Modular Photonic Integrated Circuits for Transparent and Reconfigurable Display Backplanes

Kim Samuel, Myungjae Lee*, Gyuin Baek, Youngjun Chung, Sehyeon Park, Eunyoung Ahn(서울대학교)

P15-12

Phase-Matched Coupling of Colloidal Quantum Dots to Photonic Crystal Band-Edge Modes for Highly Directional Emission

Chung Youngjun, Gyuin Baek(Materials Science and Engineering, Seoul National University), Jonggwan Min(Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University), Sehyeon Park, Sunwoo Woo(Materials Science and Engineering, Seoul National University), Myungjae Lee*(Materials Science and Engineering, Seoul National University, Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University)

P15-13

공침법 기반의 (Sr,Ba)2SiO4:Eu2+ 나노형광체 합성 조건에 따른 발광 특성 제어

홍명환, 박경수*(고등기술연구원)

P15-14

RF Sputtering을 이용한 고경도 · 저반사 디스플레이 커버글라스용 SiO_2/ZrO_2 다층 박막의 기계적 · 광학 특성

백원종, 진우찬, 이상훈, 김종규, 이태우(서울대학교), 안수빈(홍익대학교), 박찬*(서울대학교, 신소재공동연구소)

P16 : 가공-용접 및 접합

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 박기태(한국재료연구원)

P16-1

예열/후열 온도가 SMR 압력용기용 마르텐사이트계 스테인리강의 저온 균열 및 기계적 물성에 미치는 영향

최정현, 최병욱(부산대학교), 이윤상(두산에너빌리티), 강남현*(부산대학교)

P16-2

항복강도 900MPa급 초고강도 multi-variant 베이나이트 조직 기반 강도-인성 특성 고찰

백종민, 김종훈(국립창원대학교), 손명락(고려용접봉), 김용진(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

P16-3

EBW-FSP 공정이 듀플렉스 스테인리스강 용접부 내식성에 미치는 효과

백종민, 이아름(국립창원대학교), 하종문(두산에너빌리티), 홍현욱*(국립창원대학교)

P16-4

Cu 중간재 두께 변화가 Ti/SUS 브레이징 접합부 확산 거동 및 기계적 특성에 미치는 영향

노주림, 이진규*(국립공주대학교)

P16-5

Ti 첨가 및 용접 공정에 따른 저방사화강 용접부의 고온 크리프, 피로 및 크리프-피로 특성 비교

박정현, 한재연, 이상현(국립창원대학교), 김치원, 이창훈(한국재료연구원), 정승진(조선선재), 홍현욱*(국립창원대학교)

P16-6

API X70 Pipe의 용접부 위치에 따른 미세조직 및 기계적 특성의 변화

곽종현, 성효경*(국민대학교)

P16-7

해양용 H형강의 기계적 특성 및 부식 환경 모사 후 피로 특성 고찰

박정현, 한재연, 이상현(국립창원대학교), 이창훈(한국재료연구원), 정준호(현대제철), 김재성(조선선재), 홍현욱*(국립창원대학교)

P16-8

고강도 저합금강 용접금속의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 용접자세의 영향

배민혁(한국재료연구원, 부산대학교), 강용준*, 송상우(한국재료연구원), 박준영, 손명락(고려용접봉), 강남현(부산대학교)

P16-9

AMB 공정을 이용한 Si_3N_4/Cu 방열 기판 제작

권홍기(포항소재산업진흥원), 김준태, 이경훈(주식회사 코웰), 박상원*(포항소재산업진흥원)

P16-10

일반 TIG 및 진동 와이어 TIG 용접을 이용한 Ti Grade 11 클래드층 용입성 평가

김지수, 김경민(중소조선연구원), 유경훈(우양에이치씨), 이희근, 안현준*(중소조선연구원)

P16-11

AI를 이용한 용접 시뮬레이션 하중 조건 도출

표창민*, 김지선, 신광용, 이기용(한국생산기술연구원)

P16-12

유한요소해석 기반 SA508 저합금강 전자빔용접부 미세조직 및 경도 예측

안동현*, 김민철, 현세미(한국원자력연구원)

P16-13

개선된 용접장치를 이용한 하나로핵연료 Grapple head 용접에 대한 고찰

소원재*, 도정민, 신진건, 김종환, 김기남, 정용진(한국원자력연구원)

P17 : 집합조직

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P17-1

2.xD 반도체 패키징용 기판의 마이크로 비아 충진을 위한 유기첨가제 기반 구리 전해도금 기술과 미세조직 · 집합조직 분석

오은기, 신한균, 박현*, 김정한*(동아대학교)

P17-2

DED 탄소강 적층재의 미세조직 발현에 대한 평형 및 Scheil 예측과 실험 결과의 비교 검증

박건우, 박성수(울산과학기술원 신소재공학과), 전종배*(동아대학교)

P17-3

전기화학 및 미세조직적 분석을 통한 구리 전해도금 유기 첨가제의 흡착 동역학 연구

최재훈, 신한균, 김정한*(동아대학교)

P17-4

다결정 금속의 결정학적 방위에 따른 전기화학적 특성 연구

김영서, 신한균, 김정한*(동아대학교)

P17-5 **Canceled**

Hastelloy 금속섬유의 제조 및 열처리에 따른 조직 변화

윤지민, 염진석, 박정빈, 김권후*(국립부경대학교)

P17-6

화학적 에칭 공정을 통해 종횡비가 일정한 STS316L 단섬유 제조

염진석, 윤지민, 장성모, 김권후*(국립부경대학교)

P17-7

Anisotropy in compressive deformation and twinning-induced lattice reorientation of pure titanium at cryogenic temperature

Lee Min-Su, Jeong-Chan Lee, Jun Won Yoon(한국생산기술연구원), Tea-Sung Jun*(인천대학교), Chang-Soo Park*(한국생산기술연구원)

P17-8 Canceled

아크-레이저 하이브리드 용접 적용 후 고망간강 소재 특성 분석 및 결함 방지 방안 연구

장호성(한국생산기술연구원), 박건우(울산과학기술원), 전종배*(동아대학교), 지창욱, 신선미*(한국생산기술연구원)

P18 : 인공지능재료과학

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 고원석(고려대학교)

P18-1

설명 가능한 인공지능을 활용한 DED 적층 Fe-Ni 합금의 형상 및 결함 유형 예측

서혜진, 이정아(포항공과대학교), 사공만재(포항공과대학교, 대한민국 공군), 정재면(한국재료연구원), 김은성(포항공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교, 연세대학교)

P18-2

합성곱신경망(CNN) 기반 미세조직 이미지 학습을 통한 Ti-6Al-4V 합금 기계적 물성 예측

박재형, 한희주, 최재영, 남다연, 박노근*(영남대학교)

P18-3

대체 모델을 활용한 IN625의 고에너지 직접 적층 공정 다중목표 최적화

김성원, 유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), 김정기(경상국립대학교), 이태경*(부산대학교)

P18-4

첨단 타이타늄 합금의 설계를 위한 LangChain 기반 대형언어모델 알고리즘 개발

서기완(서울대학교), 이진우, 이동우(성균관대학교), 박은수*(서울대학교)

P18-5

New Strategy of Surface Defect Detection in Metallic Coatings Using a Machine Learning-Based Hyperspectral Imaging Approach

김민균(Pohang University of Science and Technology), 김기수, 노승희, 노동환(DEEPAI), 염화성*(Pohang University of Science and Technology)

P18-6

Al-Based Extraction of CO_2 Capture Process Data from Large-Scale Literature Datasets

Jeong So Yun(Pukyong National University), Choi Kyuri , Moon Kisung , Kang Byeol , Choi Yeol Kyo , Lee Hong Woo (POSCO N.EX.T Hub.), Yeo Byung Chul *(Pukyong National University)

P18-7

Design and Analysis of Ni-Based Cation-Disordered Rocksalt Cathodes via Machine Learning Interatomic Potential

Kim Bokyeong, Kang Joonhee*(Pusan National University)

P18-8

CrMnFeCoNi계 고엔트로피합금 형상기억특성 예측 기계학습모델 개발

임진수랑(부산대학교), dongwon shin*(오크리지 국립연구소), 이제인*(부산대학교)

P18-9

설계최적화를 위한 딥러닝 기반 대체모델의 불확실성 정량화 및 민감도 분석에 관한 고찰

한동운*, 김효규, 최동진, 김성탁(한국생산기술연구원)

P18-10

지도 학습 기반의 압흔 탐지 및 브리넬 경도 측정 인공지능 모델 개발

서남혁, 곽봉석, 박지우, 김민수*(한국생산기술연구원)

P18-11

Machine Learning-Based Strategy for Designing Organic Ligands for Uranium Extraction from Seawater

신영호*, 손성준, 전민구, 김성욱, 윤인호, 김형주(Korea Atomic Energy Research Institute)

P18-12

Domain Knowledge and Technical Stack for Machine Learning-based Design of Organic Ligands for Uranium Extraction from Seawater

신영호*, 손성준, 전민구, 김성욱, 윤인호, 김형주(Korea Atomic Energy Research Institute)

P19 : 마그네슘

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P19-1

Mg-Al-Zn-Ca-Y alloy with high tensile and fatigue strengths and enhanced corrosion resistance

Je Hyeong An (Kyungpook National University), Joung Sik Suh , Jae Yeon Kim , Jae Hoon Jang(Korea Institute of Materials Science), Sung Hyuk Park *(Kyungpook National University)

P19-2

Mechanical properties of bicontinuous Mg-Ti composites fabricated via liquid metal dealloying: effect of immersion time

Hyun Jun Youn, Bo Hyun Park, Su Rin Cho(Kyungpook National University), Soo-Hyun Joo(Dankook University), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

P19-3

Enhanced corrosion resistance of 3D bicontinuous Mg-Ti composite via post-LMD Al alloying treatment

Bo-Hyun Park, Youn Hyun-Jun(Kyungpook National University), Kim Jae-Yeon(Korea Institute of Materials Science), Joo Soo-Hyun(Dankook University), Park Sung-Hyuk*(Kyungpook National University)

P19-4

Effect of extrusion temperature on low-cycle fatigue properties of SEN6 magnesium alloys

Kim Hyung Jun, Je Hyeong An, Gun Woong An(Kyungpook National University), Jun Ho Bae(Korea Institute of Materials Science), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

P19-5

Effect of Bi content on microstructure and mechanical properties of Mg－Bi－Al alloys under high-temperature, high-speed extrusion

Nguyen To Hai Ha, 안건웅(경북대학교), 하정홍(한국생산기술연구원), 박성혁*(경북대학교)

P19-6

고온 변형 시 Mg-Pb 합금의 미세조직 및 집합조직 발달에 미치는 Pb 함량의 영향

염진석(국립부경대학교), 최한글(한국폴리텍대학교), 장성모, 김권후*(국립부경대학교)

P19-7

고온평면변형 압축 중 Ag 함량이 마그네슘 합금의 미세조직 발달에 미치는 영향

윤지민, 염진석, 박정빈, 김환, 김권후*(국립부경대학교)

P19-8

Mg-SiC 복합재의 부식 특성에 미치는 기지 합금의 영향

강동현(한국재료연구원, 경북대학교), 배준호, 김영민, 문영훈(한국재료연구원), 박성혁(경북대학교), 김재연*(한국재료연구원)

P19-9

Effects of Bi and Al Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of Ultralight Mg-Li-Zn Alloys

BYEONGKWON LEE, EUNCHAN KO(Chonnam national university, Korea Institute of Industrial Technology), YONGHO KIM, HYOSANG YOO, HYEONTAEK SON*(Korea Institute of Industrial Technology), TAEHOON KIM(Chonnam national university)

P19-10

Mg 합금의 광학현미경 이미지를 활용한 CNN 기반 결정립 크기 예측 모델 개발 및 검증

김가은, 김재인, 원윤정, 임창동*(한국재료연구원)

P19-11

생체분해성 마그네슘 합금의 스퍼터링 타겟 소재 특성 및 부식 거동 평가

김재인, 김가은, 원윤정, 임창동*(한국재료연구원)

P20 : 복합재료

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P20-1

비금속 원자를 활용한 Al-Zn-Mg-Cu-O 합금의 MWCNT 첨가로 인한 석출물 거동에 따른 미세조직과 기계적 성질의 변화

박현우, 공서윤, 김대호, 이희성(국립순천대학교), 배동현, 이진원(연세대학교), 신세은*(국립순천대학교)

P20-2 **Canceled**

HP 및 SPS로 제조한 Al/B_4C 복합재료의 기지/입자 계면 및 강화기구 분석

권택규, 조의제*(국립순천대학교)

P20-3

플라즈마 공법을 활용한 카본코팅 금속 나노분말 제조방법

성덕규*, 이제인*(Pusan National Univ.)

P20-4

Development and application of WC-based cemented carbide bonded with Co based multi-component alloy binder

Jinwoo Seok(Korea Institute of Industrial Technology, Kyung Hee University), Juree Jung, Jongtae Kim, JeSun On, MI HYE LEE(Korea Institute of Industrial Technology), Bin Lee(Kyung Hee University), Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology)

P20-5

Switchable Thermochromic Transparent Wood Incorporating PDLC for UV-Shielding and Energy-Efficient Smart Windows

Jin Jae Eun, Kim Jang Hee, Jeong Hyeon Ji, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai*, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

P20-6

금속용탕 탈성분법에 의해 제작된 Ti-6Al-4V/Mg 복합재료의 장입조건에 따른 미세조직 변화

성지혜(단국대학교), 김정기(국립경상대학교), Hidemi Kato(동북대학교), 홍순직(국립공주대학교), 박성혁(국립경북대학교), 주수현*(단국대학교)

P20-7

Antioxidative, conductive and Super tough MXene/graphene hybrid porous films with metal ion linker for efficient electromagnetic interference shielding

Jeong Hyeon Ji, Kim Jang Hee, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Jin Jae Eun, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

P20-8

Nature-Inspired Binder-Free SiO_x/rGO/CNT Fiber Electrodes with Hierarchical Architecture for efficient wire-shaped high-energy lithium-Ion batteries

Kim Jang hee, Jeong Hyeon Ji, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Jin Jae Eun, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

P20-9

고온-고진공 액적형상 분석 장비를 활용한 액상 금속의 고온 습윤성 평가

김태윤, 최정원, 이제인*(부산대학교)

P20-10

MoO2 분말의 소결 과정이 미세구조 변화, 결정립 및 결정립 성장에 미치는 영향

이종범, 정재훈, 정하국*(한국생산기술연구원)

P20-11

복합소재를 적용한 선박 의장품 실증에 대한 연구

최건한*(유니버셜마린테크 주식회사)

P21 : 철강-압연,강종개발,후처리

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 유지성(한국재료연구원)

P21-1

잠호아크용접된 파이프라인강의 내수소취성 분석

서재완*, 이승준(한국공학대학교), 김성웅(세아제강)

P21-2

SNCM440 강의 합금원소 첨가를 통한 기계적 특성 향상 연구

한수빈, 이유리, 김지욱, 조용재, 이호진, 송혜진*(한국생산기술연구원)

P21-3

Step cooling 열처리를 통한 3.5NiCrMoV 강의 템퍼 취성 경향 분석

김중훈(한국생산기술연구원, 울산과학기술원), 강수성(한국생산기술연구원, 부경대학교), 김형찬, 김병준(한국생산기술연구원), 박성수*(울산과학기술원), 김병구*(한국생산기술연구원)

P21-4

Batch annealing된 3Mn의 냉간압연 후 단시간 열처리가 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향

임용수, 김진경*(한양대학교)

P21-5

열처리와 바나듐 첨가가 고망간강의 표면 및 내부 미세조직에 미치는 영향

양승우, 송호정(동아대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 박건우(울산과학기술원), 소태일(포스코), 김병준(한국생신기술연구원), 장재훈(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

P21-6

위성 구조체용 인바/마르텐사이트강 클래드 합금 개발

송건호, 김채영, 한정호*(한양대학교)

P21-7

Fe–Cr–Mn–Ni 4원계 합금의 이차상 석출 거동에 따른 강도-부식 상관성 규명

김려현, 곽종현, 성효경*(국민대학교)

P21-8

열처리 압력 조건에 따른 초오스테나이트계 스테인리스강(XM–19)의 기계적 물성변화 분석

윤준원, 박성민(한국생산기술연구원 , 고려대학교), 이민수(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

P21-9

DIC 기법을 이용한 인장시험 제어 조건별 항복 시 불균일 변형 거동 분석

정혜은, 박지원, 강신곤*(동아대학교)

P21-10

DIC 기반 고망간강의 15 K 극저온 인장시험을 통한 변형률 속도별 serration 거동 및 미세조직 분석

이선(한국생산기술연구원, 부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

P21-11

고압수소용 라인파이프강의 인장 및 충격 특성, 수소취성에 미치는 Nb 및 V 첨가의 영향

정민섭, 오재석, 오동규(서울과학기술대학교), 이정훈, 이창희(포항산업과학연구원 분석평가센터), 황병철*(서울과학기술대학교)

P21-12 Canceled

양방향 인발 적용 Fe–Mn 비조질강의 기계적 특성 거동에 관한 연구

임재한*(현대제철연구소, 인하대학교), 이규호, 노현배(현대제철연구소), 이종혁, 장병록*(인하대학교)

P22 : 가공-소성가공

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 신다슬(한국재료연구원)

P22-1

나노인덴테이션을 이용한 Ni–WC 분말의 미세조직과 내마모 특성 연구

이은세(국립순천대학교), 김학윤((주)미르테크), 최시훈*(국립순천대학교)

P22-2

Mg 합금의 기계적 성질 향상을 위한 보강재 첨가 마찰교반가공 연구

고경민(국립순천대학교), 양경선(매시브랩(주)), 최시훈*(국립순천대학교)

P22-3

와이어 인발 공정 조건 최적화를 위한 유한요소해석 기반 표면 거칠기 예측

홍현빈, Raj Narayan Hajra(국립한밭대학교), 유종환, 오민규(세아특수강), 손동민(세아창원특수강), 오용준, 김정한, 조훈휘*(국립한밭대학교)

P22-4

Microstructure–Enabled Enhancement of Room–Temperature Formability in Mg–Li Foils

Hee–Tae Jeong, Jun Oh Jung, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)

P22-5

FMM 적용을 위한 Invar 소재의 압연 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성

이영민, 김동배*, 유가영, 남지윤, 신현정((재)대구기계부품연구원)

P22-6

연구로용 판형핵연료 집합체의 스웨이징 가공 변형에 대한 연구

문제혁, 김성환, 송화영, 정용진*(한국원자력연구원)

P22-7 Canceled

압하 조건에 따른 Invar 합금의 기계적 특성 및 잔류응력에 미치는 영향

신현정, 김동배*, 이영민((재)대구기계부품연구원), 김대현((주)세아창원특수강), 이영진(현대비앤지스틸(주))

P22-8

하나로핵연료 피복압출 공정의 생산성 향상을 위한 요인 및 개선방안 연구

소원재*, 황재준, 김종환, 김기남, 정용진(한국원자력연구원)

P23 : 항공재료

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 석무영(한국재료연구원)

P23-1

저궤도 인공위성용 원자산소 내성 소재 개발을 위한 우주환경모사 실험 기반 구축

조연하, 김세호*(고려대학교)

P23-2

항공기 가스터빈 엔진 고압 압축기 블레이드용 질화 처리된 TiAl 합금의 마모 및 침식 저항성

정영훈, 김홍민(국립순천대학교), 유주현(한화에어로스페이스), 이동근*(국립순천대학교)

P23-3

Material characterization for ductile fracture considering anisotropy, strain-rate, and strain path with extruded aluminum alloy

심현보(한국재료연구원), 정찬욱(동양AK), 오석근(KAI), 박현일, 석무영, 이동준, 권용남, 최현성*(한국재료연구원)

P23-4

베타 열처리된 Ti-6Al-4V 합금의 피로균열전파 거동에서 관찰되는 천이 현상

이서영, 김영빈, 배정빈, 김상식*(경상국립대학교)

P23-5

Low Rhenium 초내열합금의 결정방위에 따른 크리프 거동

장익제(국립창원대학교), 구지호(한화에어로스페이스(주)), 정중은, 김인수(한국재료연구원), 이재현*(국립창원대학교)

P23-6

KF-21 적용을 위한 Hybrid Type 항공기 유압 피팅 개발 연구

김병재*, 이동건, 김순재(디케이락(주))

P23-7

항공기 유압용 External Swaging Fitting의 실리콘 도포 및 압착 해석 연구

이동건*, 김병재, 김순재(디케이락(주))

P23-8

항공용 PH13-8Mo 합금의 파괴인성(K_{1C})에 영향을 미치는 미세조직 특성 분석

박상규, 나라야나*, 나혜성*, 최재영*((주)에이치브이엠)

P24 : 가공-주조 및 응고

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

P24-1

고용강화 페라이트계 구상흑연주철의 기계적 특성 및 냉각속도에 미치는 붕소(B) 및 타이타늄(Ti)의 영향

홍지우, 하진수, 최창영, 장진석, 송혜진, 정유현, 조용재*(한국생산기술연구원)

P24-2

Optimization of Hypereutectic Al-Si Alloy Composition and Counter Pressure Casting Process for Automotive Brake Disc Application

Yoon Pil-Hwan*(한국생산기술연구원)

P24-3

챔버 감압 차압주조를 통한 중자 반응가스 제어 및 중공 주조 가능성 연구

강호정, 윤필환*(한국생산기술연구원)

P24-4

알루미늄 다이캐스팅 공정 자율화를 위한 기초 제조 데이터 구축 및 분석

이상환*, 김효섭(한국생산기술연구원)

P24-5

전처리한 장입재를 활용한 주조 공정 품질 개선

이상환*(한국생산기술연구원)

P24-6

세라믹 주형 예열 온도 변화에 따른 TiAl 합금의 중력 정밀 주조 유동성 및 미세조직 특성 분석

최광수, 공만식*, 정우철, 양현석(고등기술연구원)

P25 : 반도체

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일 10:00~17:00

좌장 : 이기영(홍익대학교)

P25-1

펨토초 펄스 레이저 기반 유리 가공 안정성을 위한 조건 최적화 연구

이재범, 김태식, 김민재(한국생산기술연구원, 한양대학교), 이승환(한양대학교), 박지용*(한국생산기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P25-2

BEOL-Compatible Integration of Topological Metal MoP for Nanoscale Via Interconnects

Jeong Seoyeon, Mun Gwangsik (한국과학기술원), Han Hyeuk Jin *(성신여자대학교), Jung Yeon Sik *(한국과학기술원)

P25-3

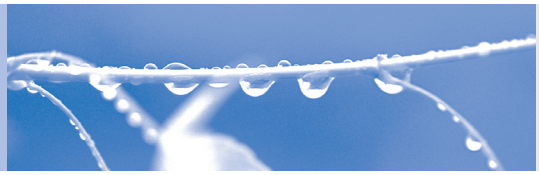
Characterization of Al-Doped HfO_2 Thin Films Using the Discrete Feeding Method

KIM SEOHEE, Park Min Hyuk*(서울대학교)

P25-4 **Canceled**

Removal of Protective Layer from Micro-Metallic Fibers Fabricated by the Taylor Method

고건호(서울대학교 미래혁신연구원), 김희성(한국폴리텍대학교), 임영택*(서울대학교 미래혁신연구원)



P26: 나노융합소재

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P26A-1

그래핀 이용한 고품질 2차원 Mo2C 나노시트 제어 성장

우윤성*(단국대학교), 문준희*(한국기초과학지원연구원), 최영근, 김보현, 유지민, 장혁(단국대학교)

P26A-2

Elastomeric-Mask Enabled Optical Lithography Beyond Diffraction Limit

Jaehyeok Seo, Wooyoung Shim*(Yonsei Univ.)

P26A-3

Countern Electrode Structural Optimization for Reversible Metal Electrodeposition

Taehoon Park, Seungwoo Kim, Cheon Woo Moon*(Soonchunhyang Univ.)

P26A-4

Influence of Ion Diffusivity by Alkyl Chain Length on the Triboelectric Performance of PVDF-HFP+IL Composites

Gwak Sujeong, Lee Ju Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

P26A-5

Improved xylene gas detection performance via Au-core based Au@SnO_2 core - shell nanostructures

Hyoun Woo Kim*, Ka Yoon Shin, Wansik Oum, Eun Bi Kim, Sungjoon Moon, Seonwoo Jang, Taekheon Kim, Yongseong You(Hanyang University)

P26A-6

Polyelectrolytes as a Stable and Tunable Platform for Triboelectric Nanogenerators

MOON YEONG HEUM, Hyeonseo Joo(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST)), Wonho Lee*(Kumoh National Institute of Technology), Ju-Hyuck Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

P26A-7

산화물 혼합체로부터 합성된 3원계 고용상-이종 MAX 전구체 적용을 통한 전기적 특성 향상 (Synthesis of Binary solid-solution type MAX from oxides mixture and enhancement of electrical properties of MXene using the MAX as a precusor)

이정연, 권한중*, 송재민, 이도연(전북대학교), 서준기((주)베스트알), 양준열, 장민서, 김은채(전북대학교)

P26A-8

Wind-Driven Three-Phase Triboelectric Generator Integrated with an Electrodynamic Screen for Self-Powered Cleaning of Solar Panels

Lee Cheoljae, Lee Ju-Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology)

P26A-9

Plasticized Graphene-PVC Gel with Ion-Bridging and Modulated Microcracks for Highly Sensitive and Broad-Range Strain Sensing.

Ibrahim Tijani, Park Hyosik, Lee Ju-Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology)

P26A-10

Nano-TiO_2 Dielectric Gel-Based Triboelectric Nanogenerator with High Output and Temperature-Independent Pressure Sensing

Lee Ju-Hyuck*, Kwon Minwoo(대구경북과학기술원)

P26A-11

Direct Current Generation in Triboelectric Nanogenerators Through Ionic Dynamics and Electrode Polarization Effects

Gerald Selasie Gbadam, Ju-Hyuck Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

P26A-12

Temperature-dependent Cosolvent Coloration Effect with Ionic Liquid for Smart Pixels

Kim Seung Woo, Cho Jaeha, Moon Cheon Woo*(Soonchunhyang Univ.)

P26A-14

Flexible Electrochromic for Next-Generation Energy Saving Device

Choi Hyeonbin, Park Taehoon, Moon Cheon Woo *(Soonchunhyang Univ.)

P26A-15

강자성 나노 나선구조체의 전기화학적 합성

정은진, 전유상, 문준환, 김영근*(고려대학교)

P26B-1

Transparent Capacitive Pressure Sensor Based on Nanoparticle-Infused Microstructured Architecture

Choi Janghoon, Shim Wooyoung*(Yonsei Univ.)

P26B-2

Modification of ITO Surface for Efficient Metal Electrodeposition

Cho Jaeha, Choi Seoyun, Moon Cheon Woo*(Soonchunhyang Univ.)

P26B-3

3-Dimensional Structurally Colored Heterogeneous Polymer Nanopatterns forChemically Tunable Optical Devices

Lee Su Min, Nam Tae Won*(Pusan National University)

P26B-4

Mitigating Moisture–Induced Oxide Formation in Na– β″–Alumina Batteries via Bismuth Coating

Shim Wooyoung *, Ko Junwoo(Yonsei university)

P26B-5

Cymatic–Driven Assembly of 3D Nanoparticle Arrays with Crystallographic Lattice–inspired Pattern Formation

Cho Gyuhyeon, Shim Wooyoung*(Yonsei. Univ.)

P26B-6

Enhancing Photoluminescence of PMMA/Quantum–Dot Composite Films through Controlled Surface Roughness.

seo seungpyo, Nam Tae Won*(Pusan National Univ.)

P26B-7

Grain boundary targeted dewetting for low adhesion graphene transfer printing strategy

Kim Juhyun, Nam Taewon*, Lee Hyunjin(Pusan Univ.)

P26B-8

Stabilizing Metastable $Cu_2Ta_4O_{11}$ through Sodium–Flux Synthesis for High–Selectivity C_{2+} Photocathodes

Hong Woojin, Lee Minho, Gim Hyeongyu, Kootak Hong*(Chonnam National University)

P26B-9

Photoluminescence Enhancement of Quantum Dots via Phase–Separated Polymer Thin Films

KIM KIHOON, NAM Tae Won*(Pusan National University)

P26B-10

Dilute HCl Addition to Sn Precursor for High–Quality SnO_2 Surfaces in Perovskite Solar Cells

임영빈, 박필주, 장원진, 김수영*(Korea University)

P26B-11

Anisotropic Absorption in Three–Dimensional Quantum Dot Structures

Seo Jisoo, Tae Won Nam*(Pusan National Univ.)

P26B-12

Designing Ternary Oxide Thin Films: Shape and Surface Control of $NaTaO_3$ via Flux–Mediated Synthesis

Lee Minho, Hong Woojin, Gim Hyeongyu, Kootak Hong*(Chonnam National University)

P26B-13

Highly–Efficient PET Depolymerization Using Oyster–Shell–Derived CaO–Based Magnetic Catalysts.

Seo Ho June, Geon Dae Moon*(한국생산기술연구원(KITECH))

P26B-14

저비용 산화물 원료 기반 탄질화물 MXene 합성

김은채, 권한중*, 송재민(전북대학교), 서준기((주)베스트알), 이도연, 양준열, 이정연, 장민서(전북대학교)

P26B-15

EUV 펠리클용 탄소 나노소재 멤브레인 제작 및 특성 평가

전세훈, 정영원, 최민철, 우윤성*(단국대학교)

P26B-16

질소 도핑 탄소 기반 금속 촉매를 활용한 해수 매개 CO2–to–CO 전환

전우진, 이미경*, 김민상, 이성범(인천대학교)

P26B-17

Real–time actuated thermochromic display using pressure sensor array

Kim Gyuwon, Shim wooyoung*(Yonsei university)

P26B-18 **Canceled**

Spark–reducing graphene oxide sheets were incorporated to enhance the liquid Na/BASE interface.

sukwoo kang, wooyoung shim*(Yonsei Univ.)

P26B-19

Sequential infiltration synthesis를 활용한 전자빔 레지스트 설계

함지웅, 고민경, 김영헌, 전나리*(충남대학교)

P26B-20

A Facile Approach for Synthesizing Nitrogen–Doped Porous Carbon Nanostructures Using Ionic Liquids

Gupta Radha(Nstitute for Basic Science (IBS)), Kim Dongwoo, Kim Minhyeok(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Seong Won Kyung (Nstitute for Basic Science (IBS)), Lee Sun Hwa *, Ruoff Rodney S. *(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))

P26B-21

Size–dependent photodynamic/photothermal antibacterial activity of copper sulfide nanoparticles and their applications

Jeon Hee Yeon, Jeong Hyun Kim (Seoul National University of Science and Technology), Young–In Lee *(Seoul National University of Science and Technology, The Institute of Powder Technology)

P26B-22

Co–deposition of Carbon and Nitrogen for Well–Ordered N–Doped Carbon Nanowalls (CNWs) on Cu(111) via Molten Salt Electrochemistry

Kim Dongwoo, Minhyeok Kim(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Won Kyung Seong(Nstitute for Basic Science (IBS)), Rodney S. Ruoff*, Sun Hwa Lee*(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))

P26B-23 **Canceled**

전이금속 도핑을 통한 이종 바나듐계 MAX 상 합성 및 MXene 제조 공정 개선

이도연, 송재민, 양준열, 이정연, 김은채, 장민서, 권한중*(전북대학교)

P27 : 상변태

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P27-1

Cu계 합금의 적층결함에너지 및 상 제어를 통한 기계적 특성 최적화

조가은, 강결찬, 김현영, 장성문, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

P27-2

국소 icosahedral ordering에 따른 Zr계 비정질 합금의 특성 변화

이명준, 유근희(서울대학교), 류욱하(국립금오공과대학교), 박은수*(서울대학교)

P27-3

합금 설계 기반 Cu-Al-Zn-Sn 합금의 적층 결함 에너지 제어를 통한 기계적 특성 거동 연구

강결찬, 조가은, 장성문, 김현영, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

P27-4

Advancing Sharpness with Metallic Glass Blades

Jang Sejin, Kim Moosung , Lee Juneyoung, Yi Seunghoon *(경북대학교)

P27-5

DC 마그네트론 스퍼터링 기반 타겟 공정 변수에 따른 AlCrFeNi 고엔트로피 합금 코팅의 미세조직 및 기계적 물성 분석

현명우, 이유진, 서진오, 정민섭, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

P27-6

수소 배관용 심리스강관의 템퍼링 온도에 따른 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향

임성진, 정윤종, 박상민, 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

P27-7

Cu-Al 합금의 조성 변화에 따른 상 형성과 기계적 · 광학적 특성 변화 연구

김현영, 조가은, 장성문, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교), Jürgen Eckert(Austrian Academy of Sciences & Montanuniversität Leoben)

P27-8

Cu-X 컬러합금의 변형량 제어를 통한 미세조직 변화 및 기계적 · 광학적 특성 연구

장성문, 김기범*, 조가은, 김현영, 강결찬, 박혜진, 홍성환(세종대학교)

P27-9

Electrochemical Performance Enhancement by Phosphorus Content Variation

LEE JUNEYOUING, Moosung Kim, Sejin Jang, Yeongmin Lim, Seonghoon Yi*(Kyungpook National University)

P27-10

Microstructural Characterization of Fe-rich Precipitates in Lead-Free Brass Alloys

Lee Jieun(Seoul National University), Lee Siyeon(WONJIN Metal), Park Eunsoo*(Seoul National University)

P27-11

TC-Python 기반 dual-phase Fe-Mn-Cr-Ni-Si 계 형상기억합금 설계

이승찬, 오규민, 최정원, 정성원, 한재준, 김도형*(영남대학교)

P27-12

Fe-Based High-B, High-Gd Amorphous Sintered Materials for Radiation Shielding Structures

HYESEONG CHOI, JEONGKYU KIM, SEONGHOON YI*(Kyungpook National Univ.)

P27-13

Oxidation mechanism of the T2 phase in Mo-Si-B alloy

LEE WONHYOUNG, PARK GYUMIN, KIM SE HO*(Korea university)

P27-14

Cr 의 첨가가 L-DED 를 이용하여 적층제조된 Fe-Mn-Al-Ni 계 초탄성합금의 미세조직 및 초탄성특성에 미치는 영향

백하은(영남대학교), 박지영, 임진수량(부산대학교), 정수현, 김규범, 김도형*(영남대학교)

P27-15

Understanding the hysteresis between TSSD and TSSP in zirconium hydrides: A phasefield study on the role of interfacial energy

Ji Sanghyun, Kunok Chang*(경희대학교)

P27-16

고 Cr NiCrAl 합금의 미세조직에 미치는 소둔 및 시효 온도의 영향

윤성민, 김가영, 유채은, 이제인*(부산대학교)

P27-17

Ferrofluid fabrication from steelmaking wastes and their phase transformation behavior

Park Gyumin, Lee Chang-Gi(Korea University), Kim Se-Ho*(Korea University, Max Planck Institute for Sustainable Materials)

P27-18

DC 마그네트론 스퍼터링에서 가스 유량 제어가 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 코팅의 상 및 미세조직에 미치는 영향

이유진, 서진오, 현명우, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

P27-19

AB_2계 수소저장합금의 라베스상 형성 거동 및 미세구조 분석

이소영(서울대학교), 박형기(한국생산기술연구원), 박은수*(서울대학교)

P27-20

Cu-Ti 합금의 부식 거동에 미치는 미량 합금 원소와 시효 열처리의 영향

권지민, 이정구*, 최재훈, 김연서, 정동습, 이소영(울산대학교), 박승훈((주)풍산)

P27-21

Influence of Cu Alloying on the Microstructural Evolution and Properties of Structural Aluminum Alloys

Jeong Tae Kim*, Jaeyong Yun, Hanmin Kim(국방과학연구소)

P27-22

CoCrNi계 합금의 열처리 공정에 따른 L12 석출 강화 거동의 정량적 분석

한상윤, 류채우*(홍익대학교)

P28 : 역학측정

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P28-1

신축 광전자소자용 일축 주름구조를 갖는 실리카 봉지재료의 개발 및 신뢰성 평가

유현지, 김한글(UNIST), 황경석(Haravard University), 김주영*(UNIST)

P28-2

계장압입시험과 유한요소해석을 이용한 응력-변형률 물성 측정

이신애(부산대학교), 신선호, 성효경(국민대학교), 김지훈*(부산대학교)

P28-3

DIC 기반 잔류응력 분석을 위한 BCP 자기조립 공정

장서현*(국립부경대학교.), 강은빈(UNIST), 손예진, 박운익, 김종형(국립부경대학교.)

P28-4

유연/스트레처블 소자용 TPU의 포아송비 변화에 따른 면적증가율의 이론적 분석

박태원, 신기승(울산대학교), 이승복(한국과학기술연구원), 박민지, 박연경(울산대학교), 이정용(한국과학기술연구원), 전은채*(울산대학교)

P28-5

Solid-solution and deformation-induced strengthening in TiHfNb-based medium-entropy alloys: Effects of Zr/V additions and rolling

PARK TAEYEON, HEO JAEHYEOK, CHOI INCHUL*(Kumoh National Institute of Technology)

P28-6

PVA 첨가에 따른 MXene 박막의 반복 굽힘 신뢰성 및 표면 손상 변화 분석

박민지(울산대학교), 박재은(울산과학기술원), 조아름, 박연경, 박태원(울산대학교), 권순용(울산과학기술원), 이정구, 전은채*(울산대학교)

P28-7

전사 공정 기반 다층 MIM 구조 소자의 나노스케일 계면 접합력 정량 분석

박연경, 박민지, 박태원(울산대학교), 정주연, 최준혁, 최대근(한국기계연구원), 전은채*(울산대학교)

P28-8

적층제조 17-4PH 다상조직강의 수소 영향성에 대한 나노역학적 특성

김보규(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 한성희, 김대현, 강민성, 윤수빈, 장지훈, 서태현, 엄수진(국립강릉원주대학교), 송예영(국립강릉원주대학교, 한국생산기술연구원), 이류경, 신승우(국립강릉원주대학교), 최인석(서울대학교), 박창수(한국생산기술연구원), 신중호*(국립강릉원주대학교)

P28-9

인공신경망을 이용한 FIB-DIC 기반 국부 잔류응력 예측 연구

김종형*, 조현욱, 김종형, 조현욱, 장서현, 박태현(부경대학교 재료공학과), 강승균, 김임덕(서울대학교)

P28-10

적층제조 다상조직강의 단계별 인장에 따른 상별 나노역학적 특성 분석

한성희(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 김대현, 김보규, 강민성, 서태현, 장지훈, 신승우, 윤수빈, 이류경, 엄수진(국립강릉원주대학교), 송예영(국립강릉원주대학교, 한국생산기술연구원), 최인석(서울대학교), 박창수(한국생산기술연구원), 신중호*(국립강릉원주대학교)

P28-11 **Canceled**

시험 속도 및 시편 형상에 따른 Si-Si 본딩 웨이퍼의 계면접착에너지 평가

서희창, 김영천*(국립경국대학교)

P28-12

염수 분무 환경에서 열처리된 STS304 스테인리스강의 기하학적 표면 부식 형태 및 전기화학적 거동

서세덕, 김지현, 남서우, 서희창, 함주빈, 김영천*(국립경국대학교)

P28-13

전이학습 기반 인공신경망을 이용한 압입시험 물성 예측 신뢰성 향상

박시현, 조현욱, 김광희, 박준태(국립부경대학교), 함주빈, 김영천(국립경국대학교), 김종형*(국립부경대학교)

P28-14

Fe-9Cr계 합금의 He 이온 조사에 따른 나노스케일 표면 취화 정량적 분석

정회연(UNIST), 전은채(울산대학교), 김주영*(UNIST)

P28-15

계면접착에너지 예측을 위한 Cu-Cu 본딩 시편의 나노압입실험 전산모사

남서우, 김영천*(국립경국대학교)

P28-16

나노압입시험의 전산모사 기반 머신러닝을 통한 유연기판 위 금속 박막의 탄성계수 예측

김지현, 김영천*(국립경국대학교)

P28-17

불완전 구형 압입자의 첨단이 반영된 전산모사 및 인장특성 예측을 위한 머신러닝

함주빈, 김동엽(국립경국대학교), 박시현, 조현욱, 김종형(국립부경대학교), 김영천(국립경국대학교)

P28-18

리가먼트 크기 및 표면 확산 억제 효과에 따른 나노다공성 금의 시간의존 변형 거동 분석

홍석원, 김영훈(UNIST), 전한솔(계명대학교), 김주영*(UNIST)

P28-19

열처리를 통한 (111) 단결정 구리 박막 형성

김수정, 곽지윤, 심영주, 김동현, 김주영*(UNIST)

P29 : 재료분석

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P29-1

중성자 분석법과 X선 CT를 활용한 철제유물 부식 상태 진단 연구

김재연(국립공주대학교), 채호병, 우완측(한국원자력연구원), 조남철*(국립공주대학교)

P29-2

SEM과 AFM 비교를 통한 석출물 분율 측정 신뢰성 검증

허성준, 천해영, 허성, 하준영, 박노근*(영남대학교)

P29-3 **Canceled**

Atomic-scale Clustering Analysis of Long-term Degraded Zeolite 13X Desiccant using Atom Probe Tomography

LEE WONHYOUNG, LEE Chang-Gi , KIM SE HO*(Korea university)

P29-4

Nanoscale VC Precipitation and Its Role in Enhancing Shape Memory Effect of Fe-Mn-Si SMAs

Yun Jane, Ji Young Kim , Thiri Shwe Sin, Eun Soo Park *(Seoul National University)

P29-5

High-throughput binary-state scanning probe microscopy using elastomeric tip array

Han Jihoon, Wooyoung Shim*(Yonsei Univ.)

P29-6

Zn 코팅층 두께 측정 국제 숙련도시험 참가 결과

현문섭*, 박경진, 차호일, 박윤창(나노종합기술원)

P29-7

다이캐스팅 금형의 표면 Texture(notch)에 의한 열피로 특성 변화 연구

이락규*, 김용유, 김주업, 홍창완, 윤국태, 박희찬((재)대구기계부품연구원), 이수안((주)유림테크)

P29-8

다이캐스팅용 Al-alloy (Castasil37)에서의 조성 개량 (Mg, Ti, Zr, Sn)에 따른 주요 미세조직 (Al-matrix cell size, Eutectic Al-Si (size, fraction, lamella width), Intermetallic compound) 거동 관찰

홍창완*, 윤국태, 이락규, 김주업(대구기계부품연구원), 장대선(SJM), 윤상일(삼기), 양상규(대국정공)

P29-9

결정구조 분석용 시편제작 및 측정시스템 구축

박가현, 박경진*, 현문섭, 이명근, 박윤창(나노종합기술원)

P29-10

고크롬 백주철의 Cr 함량과 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 비교

김봉고*, 김동배, 이영민((재)대구기계부품연구원), 강래철((주)영신특수강)

P29-11

실시간 가열 주사전자현미경과 EDS를 활용한 고온 재료 분석 기술

이승민, 김충복, 김재덕, 강성, 허윤, 이창희, 박정재*(포항산업과학연구원)

P29-12

대기비개방 측정플랫폼을 이용한 금속 리튬의 결정구조 분석

박경진*, 현문섭, 박가현, 박윤창(나노종합기술원)

P30 : 생체재료

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P30-1

Development of a Composite Filler for Oral Tissue Regeneration Using Magnesium-Substituted Apatite

MINSEONG CHAE(University of Ulsan, Seoul National University), Yoon-Ji Kim, Jin-Yong Jeong(University of Ulsan College of Medicine), Hojeong Jeon, Yu-Chan Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Kyungwoo Lee, Hyunwoo Han, Jinkyung Son(BMPort), Kang-Sik Lee*(University of Ulsan)

P30-2

Piezoelectric Properties of Self-Assembled DNA Origami Films for Tissue Regeneration

Seok Jun Lee, Ju Hun Lee*, Chan Seok Lee*(한양대학교 ERICA)

P30-3

Periodic and Repeated Photodynamic Therapy with Photoactive Self-expandable Catheter to Enhance Therapeutic Efficacy for Esophageal Carcinoma

Seung Jin Eo(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center), Hyeonseung Lee, Kun Na(The Catholic University of Korea), Do Hoon Kim(University of Ulsan College of Medicine), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)

P30-4

Preclinical Evaluation of a Duodenal Metallic Bypass Sleeve for Nutrient Malabsorption-Induced Weight Loss in a Porcine Model

Ji Won Kim, Dong-Sung Won(University of Ulsan College of Medicine , Asan Medical Center), Hwoon-Yong Jung(University of Ulsan College of Medicine), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)

P30-5

Detachable Microneedle Patch for Localized EW-7197 Delivery Suppresses Fibrotic Scar Formation via TGF-β Modulation in Wound Healing

박유빈(Hanyang University, Asan Medical Center), 이강주(Incheon National University), 박정훈*(Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine)

P30-6

전극 안정성 향상을 통한 장기간 사용 가능한 체내 삽입형 의료기기용 생분해성 이차전지

이유림(서울대학교), 최성근(한국과학기술연구원), 강세훈, 강승균*(서울대학교)

P30-7

SLM 적층제조 Ti-6Al-4V 합금의 열처리 조건에 따른 TiO_2 산화층 결정상 비율 제어 및 표면 물성 평가

이유진, 이용건, 이권준, 임세영(아주대학교), 유휘근, 성지원, 이충현(아주대학교, (주)알파에이아이), 안병민*(아주대학교)

P30-8

Multifunctional Self-Healing Polyurethane Coating for Biodegradable Coronary Stents

조서현(Korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), 김영민(Korea Institute of Science and Technology), 선정윤*(Seoul National University), 김유찬*(Korea Institute of Science and Technology)

P30-9

3D Nanonetworked Silica-Hydrogel Coating on Nitinol Self-expandable Metallic Stents for Anti-Migration

Song Hee Kim(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center), EunYoung Jeon, Sukyoung Kim(Hanyang University), Do Hoon Kim(Asna Medical Center, University of Ulsan College of Medicine), Joonseok Lee(Hanyang University), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)

P30-10

Biofunctional Synergy of Mg^{2+} and Zn^{2+} Ions in Promoting Neurogenesis from Neural Stem Cells

Kwon Jieun(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Hyewon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Korea University), Taeyeon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Ji-Young Lee(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Seohyeon Cho(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Hyung-Seop Han, Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST))

P31 : 재료강도

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

좌장 : 박기태(한국재료연구원)

P31-1

선택적 레이저 용융 Ti-6Al-4V 합금의 α+β decomposition 유도를 위한 후열처리 조건 설계 및 기계적 특성 분석

이아름, 한재연(국립창원대학교), 이지원, 최용혁(두산에너빌리티 AM개발팀), 홍현욱*(국립창원대학교)

P31-2

Effect of heat treatment time on the fatigue life of 304 stainless steel corrugated pipes

Park Jaehyeon, Yoon Suk Choi*, Hyunsu Lee(부산대학교)

P31-3

AA6061 합금의 기계적 특성의 크기효과 및 변형속도 효과 분석

백인섭(경상국립대학교), 팽정인(Max-Planck-Institute for Sustainable Materials), 이근호(국방과학연구소), 강성규*(경상국립대학교)

P31-4

Al-Si-Mg-(Cu)-(Zr) 합금에서 열처리에 따른 석출상과 기공 생성 기구분석

윤영준, 박찬우, 이언진(동국대학교 WISE캠퍼스), 송태웅(HYUNDAI SUNGWOO), 정창열*(동국대학교 WISE캠퍼스)

P31-5

Mn-Cu 합금의 3.5 wt.% NaCl 수용액 조건에서의 부식 피로 거동

박준영, 목승민, 김상식, 강성규*(경상국립대학교)

P31-6

열화상 기법을 활용한 Al-Si-Mg-(Cu)-(Zr) 합금의 초고주기 피로 파괴 분석

박찬우, 윤영준, 이언진, 정창열*(동국 wise 대학교)

P31-7

Fe-22Mn-8Al-0.9C 경량철강의 저주기 피로에서 Cyclic Softening/Hardening 전이와 전위 거동 간의 상관 관계 고찰

주하연, 김시연(국립창원대학교), 고의석(현대스틸파이프 생산기술연구소), 김치원, 박성준(한국재료연구원), 홍현욱*(국립창원대학교)

P31-8

초고강도강 가스메탈아크용접 용접부 폭파변형 특성

박시욱*, 함진희, 김용진, 송정규, 양성호(국방과학연구소)

P31-9 **Canceled**

극저 C함량을 갖는 후판강의 다층용접부 미세조직과 저온 파괴인성

최동기*(서정대학교)

P31-10

Relationship between tempering temperature and mechanical properties in cast steel for railway components

Seo Namhyuk, Bongseok Kwak, Ji-Woo Park, Min-Su Kim*(KITECH)

P32 : 가공-열처리

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

좌장 : 김준호(한국생산기술연구원동남본부)

P32-1

2단계 공정의 저온질화침탄이 AISI 316L에 미치는 영향

김현진, 김준호*(한국생산기술연구원)

P32-2

DED 적층제조된 Inconel 625 성형체 열처리에 따른 조직변화와 인장특성 고찰

김준혁, 한재연(국립창원대학교), 권영삼(CetaTech), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

P32-3

전자빔 용접된 Ti-6Al-4V 합금의 레이저 열처리에 따른 변화 분석

김민재(한국생산기술연구원, 한양대학교), 서성지(포항공과대학교), 김태식, 이재범(한국생산기술연구원, 한양대학교), 한정호(한양대학교), 박지용*(과학기술연합대학원대학교)

P32-4 **Canceled**

극 박판 소재의 주름 개선을 위한 유한요소해석 기반 시뮬레이션 방법론

표창민*(한국생산기술연구원)

P32-5

Heat Treatment Optimization of Maraging Steel for Application in Extrusion Dies

JIWON CHOI, BYOUNGYONG IM, DAEGUEN KIM(고등기술연구원), HYEONGJU KIM, HYEOK PARK(로체 시스템즈), JAELYANG PARK*(고등기술연구원)

P32-6

대형 단조품의 질량효과(Mass effect) 예측

신현정, 김동배*, 유가영((재)대구기계부품연구원), 이진모, 이채훈((주)태웅)

P32-7

가스터빈 압축기용 고청정 3.5NiCrMoV강의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성

이영민, 김동배*, 유가영, 남지윤, 신현정((재)대구기계부품연구원), 김남용((주)태웅)

P32-8

ARAA (Advanced Reduced Activation Alloy)강 소재의 열처리 조건 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성 평가

이호식*(에이치브이엠)

P33 : 가공-표면처리

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

P33-1

기계학습을 활용한 분극곡선으로부터의 부식특성 추출

정용주, 장희진, 김희수*(조선대학교)

P33-2

Al-Si 도금강의 Mg 및 Zn 함량 변화에 따른 부식 거동 조사

이수진, 진주연, 장희진*(조선대학교)

P33-3

Ti-39Nb-6Zr 합금의 미세조직 제어에 따른 표면처리공정 최적화 연구

나윤희, 이재관, 이동근*(국립순천대학교)

P33-4

Effects of Cu^{2+} and Cl^{-} Ions on the Corrosion of Aluminum Alloy

Han YeWon(Korea Institute of Industrial Technology, Hanyang Univ.), Ha OnYou(Korea Institute of Industrial Technology, Sungkyunkwan Univ.), Oh SeKwon*(Korea Institute of Industrial Technology)

P33-5

가스터빈 체결용 코발트강 Seal pin의 열표면처리 공정 최적화에 관한 연구

최은영, 박인욱, 이범무, 서진규, 허성보*(한국생산기술연구원)

P33-6 **Canceled**

표면특성 제어를 통한 방오염 · 내마모 특성 향상 질 · 산화물 복합 코팅 개발

김영석*, 정용, 신연철(에이피스(주)/APIS Co., Ltd)

P33-7

바나듐 첨가에 따른 Cr-Al-V-O-N 코팅막의 특성 변화에 관한 연구

허성보, 김왕렬, 신수정, 박인욱*(한국생산기술연구원)

P34 : 열전

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

좌장 : 박상현(한국에너지기술연구원)

P34-1

Zn 도핑된 Bornite $Cu_5Fe_{1-x}Zn_xS_4$의 열전특성

권혁민, 오현식, 김일호**(국립한국교통대학교)

P34-2

Bornite $Cu_5Fe_{1+y}S_4$의 비화학양론적 Fe 조성변화에 따른 전하수송 및 열전특성

오혜민, 이승민, 오현식, 김일호**(국립한국교통대학교)

P34-3

고상 합성으로 제작된 Wittichenite Cu_3BiS_3의 열전 특성 분석

이푸른, 이도현, 권혁민, 김일호**(국립한국교통대학교)

P34-4

$Cu_4Bi_4Se_9$의 고상합성 및 열전성능

추규성, 김성윤, 권혁민, 김일호**(국립한국교통대학교)

P34-5

수열합성 교반 세기에 따른 Te 화합물 기반 나노 구조체 변화와 열전 특성 평가

김지우, 이동현, 정용욱(국립한국교통대학교), 김은도((주)아스트로텍), 정용진*(국립한국교통대학교)

P34-6

Sb-Te 화합물 수열합성 과정에서의 CNT 복합화 전략에 따른 소재의 열전특성 변화 연구

전세준, 조성우, 신미소, 정용진, 안태규(국립한국교통대학교)

P34-7 **Canceled**

가스분무법으로 제조된 n-type BiTeSe 합금 분말의 입도 제어를 통한 열전특성 향상

하지원, 백건우, Gangala Anil Kumar, Rathinam Vasudevan, 홍순직*(국립공주대학교)

P34-8

Lattice thermal conductivity suppression in non-stoichiometrically doped SnTe through nanostructuring

Son Hyoju, Donghyun Shin, Suhyeon Woo, Hyojin Jun, Joseph Ngugi Kahiu, Ho Seong Lee*(Kyungpook National University)

P35 : 이차전지 원료소재

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

좌장 : 김선중(조선대학교)

P35-1

Development of Thermal Runaway Blocking Strategy through Reinterpretation of Degradation Mechanisms in Ni-rich Layered Cathodes

Heo Junyoung, Hyeonjoong Jung, Seongmin Kwak, Ahin Song, Jeongsik Yun*(Incheon Nat'l Univ.)

P35-2

탈철공정 배출 슬래그 내 NiO 회수 반응 촉진 방안 도출

신현우(동아대학교 금속공학과), 강영조*(동아대학교)

P35-3 **Canceled**

Ni Doping in $ZnMn_2O_4$ Cathodes for Improved Cycle Life of Aqueous Zn-Ion Batteries via Mn Dissolution Suppression

박혜선, 전상은*(경북대학교)

P35-4

카복실산계 추출제의 유가금속 용매추출공정 특성과 적용성 평가

박연우*, 엄형섭, 정은진(포항산업과학연구원)

P35-5

공정 변수 제어를 통한 탄산리튬 제조공정 평가

박연우*, 정은진, 엄형섭(포항산업과학연구원)

P35-6

수계 아연-이온 전지용 음극재 Annealing 조건에 따른 전기화학적 특성 거동 연구

전찬수(한국생산기술연구원), 윤기혁, 안건형(동국대학교), 한준희, 전재열*(한국생산기술연구원)

P35-7

마이크로파 침출을 활용한 PGM 폐자원의 이차전지 소재 전환 기술

진연호, 김희선, 장대환, 양재교*(고등기술연구원)

P35-8

수침출 및 알칼리 로스팅을 통한 침출잔사 흑연의 불순물 제거 및 구조 회복

김기현, 안낙균, 박경수*(고등기술연구원)

P36 : 표면계면

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일 10:00~12:20

좌장 : 박창규(서울과학기술대학교)

P36-1

Femtosecond Laser-Engineered High-Nickel NCM Cathodes for High-Energy and High-Power Lithium-Ion Batteries

KIM YEONSU, KIM MINJIE(홍익대학교), KIM MINHYE(서울과학기술대학교), MIN GYEONG-EUN(홍익대학교), PARK CHANG-KYU(서울과학기술대학교), CHO JIUNG*(홍익대학교)

P36-2

Bioinspired redox-coupled conversion reaction in FeOOH-acetate hybrid nanoplatelets for Na ion battery

SHIN SEUNGWON, Woojin Kim(Hongik Univ.), Bumchul Park*(Korea Univ.), Jiung Cho*(Hongik Univ.)

P36-3

Adsorptive Surface Properties of Mesoporous Double-Walled Carbon Nanotubes Synthesized by Fluidized-Bed CVD

Nam Seung hyun, CHO HYE RI(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON)), KIM MIN JUN(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON), Chonnam National University), KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON))

P36-4

Surface Characteristics of Double-Walled Carbon Nanotubes Synthesized via CO_2 Resource Utilization in Fluidized-Bed CVD

CHO HYE RI, NAM SEUNG HYUN, KIM MIN JUN, KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency)

P36-5

항공부품용 PTFE/STS의 온도 변화에 따른 마찰마모거동 연구

김인서, 정동일, 최현주*(한국자동차연구원)

수소재료
Room 2층 201/3, 10월 29일

[수소1-1 | 09:00]
Designing Multifunctional Interfaces of Interstitial Metal Hydrides for Enhanced Hydrogen Storage in Low-Purity Environments: 고진석(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kouji Sakaki(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)), 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))
Keywords: Hydrogen storage, Interstitial metal alloys, Nano-interface design, Impurity gas

Interstitial metal hydrides have attracted considerable attention for hydrogen storage due to their higher volumetric hydrogen density and tunable thermodynamic properties, and various advancements in materials design have been suggested to enhance their practical viability by tailoring hydriding thermodynamics and ensuring cyclic durability. Recent studies, however, mainly focus on elucidating hydrogen sorption mechanisms under ultrahigh-purity hydrogen conditions, which require costly purification processes to remove impurity gases such as CO, CO_2, and CH_4 from hydrogen produced by practical methods such as steam methane reforming and coal gasification. While extensive purification is indeed necessary to meet stringent quality standards for various hydrogen applications, this approach overlooks the practical challenges and additional costs associated with achieving such high purity levels specifically to prevent degradation of hydrogen storage materials. Although alleviating purity requirements could reduce capital costs and operational costs, even trace amounts of such impurities can readily poison metal hydrides, severely degrading their hydrogen storage performance. Therefore, it is essential to develop impurity-resistant metal alloys capable of selectively storing hydrogen under low-purity conditions, providing a more cost- and energy-efficient pathway for hydrogen utilization. Here, we propose a strategic nano-interface design to functionalize metal alloys incorporating a CO_2-capture framework to enhance impurity resistance while maintaining hydrogen storage performance. CO_2 is selected as a model contaminant, as it is a representing poisoning species for metal alloys. Graphene oxide (GO) nanosheets are employed as structural templates to encapsulate metal alloy nanoparticles via a freeze-drying-induced self-wrapping method, forming as hydrogen-selective permeation layers. By incorporating metal-organic frameworks (MOFs) with CO_2-capturing open metal sites onto the GO surface, the resultant hierarchical nanocomposites can selectively absorb hydrogen under low-purity conditions, effectively shielding the metal alloys from surface contamination. This hierarchical material design demonstrates significantly enhanced hydrogen sorption performance under gas mixture without changes in overall morphology and surface chemistry, confirming the multi-functionality of the nanocomposite. This nano-interface design strategy provides a versatile platform for impurity-resistant hydrogen storage materials suitable for various industrial environments.

[수소1-2 | 09:15]
Coating-Driven Control of Hydrogen Storage Performance and Structural Stability in Nanoporous Mg: 조용준, 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))
Keywords: nanoporous metal, galvanic replacement, hydrogen storage

The safe, energy-efficient, and high-energy-density storage of hydrogen is critical for the deployment of hydrogen-based energy storage systems, which are particularly beneficial for long-term energy storage and off-grid electric power generation. Magnesium (Mg)-based hydrogen storage has been extensively investigated as a potential solution due to its high hydrogen storage capacity, excellent reversibility, and abundance in nature. However, the high desorption temperature and sluggish hydrogen uptake/release rates resulting from the high stability of the hydride phase (MgH2) and the large activation barrier have hindered the practical applications of Mg-based hydrogen storage materials. Nanosizing of Mg-based hydrogen storage materials is a promising approach to simultaneously reduce the high dehydrogenation temperature and accelerate hydrogen storage kinetics. However, most approaches to realize the nanostructure of Mg utilizes scaffold materials to stabilize the nanosized Mg components with high surface-to-volume ratio, inevitably compromising the overall hydrogen storage capacity. To address this limitation, we prepared a free-standing bicontinuous nanoporous Mg structure with metallic surface via a non-corrosive dealloying method, enabling high hydrogen storage capacity without the loss from the use of scaffold materials or oxidation upon the synthesis. Additionally, the characteristic nanosized ligament structures effectively reduce the diffusion distances during hydrogen uptake or release, accelerating the overall kinetics. In addition to the advantages from the characteristic nanostructure, the metallic surface of nanoporous Mg also allows the deposition of transition metal elements via galvanic replacement, opening up the possibilities for additionally enhancing kinetics or cycling stability. Here, we systematically investigated the effects of different transition-metal coatings on the hydrogen storage behavior, kinetics, and cycling stability of nanoporous Mg. The coating elements are found to strongly influence performance, primarily governed by two factors: (i) standard reduction potential (Ered) and (ii) miscibility with Mg represented by mixing enthalpy (Δ Hmix). Metals with negative Δ Hmix values (e.g., Ni and Pd) form intermetallic phases upon the cycling, while other immiscible metals (e.g., Ti, V, and Cr) do not. In the case of transition metal with high miscibility and a large difference in standard reduction potential (e.g., Pd), significant structural changes upon the coating process and the formation of intermetallic phases are observed. Cr-coated nanoporous Mg exhibits the best

hydrogen storage performance among the transition-metal-coated nanoporous Mg samples in terms of hydrogen storage kinetics and cycling stability. This performance originates from the minimal coarsening upon the hydrogen cycling, unlike other coatings. Particularly, in the Cr-coated sample, Cr becomes homogeneously dispersed throughout the ligaments, which may suppress the surface diffusion of Mg during hydrogen cycling. This work highlights the significant role of transition-metal selection in governing the hydrogen storage properties and structural stability of nanoporous Mg, further offering insights into the anti-coarsening strategies for light-metal-based nanostructures.

[수소1-3 | 09:30]

금속수소화물 압축기용 C14 Laves상 합금의 기계학습 기반 설계 및 수소흡·방출 특성의 조성/온도 의존성: 이도성(한국과학기술연구원), 황규빈(한국과학기술연구원,성균관대학교), 조영환(한국과학기술연구원), 심재혁(한국과학기술연구원,성균관대학교), 이영수*(한국과학기술연구원)

Keywords: 금속수소화물 수소 압축기, AB2 C14 Laves 상, 기계학습, 깁스 자유에너지 예측, 저온 수소 흡탈장 거동

수소경제 실현을 위해서는 고압(350-875 bar) 수소를 공급하는 효율적인 시스템 구축이 필수적이다. 현재 수소충전소에서는 기계식 압축기가 주로 사용되고 있으나, 높은 유지보수 비용, 윤활유 및 금속 분말에 의한 수소 오염으로 인한 수소 순도 저하라는 근본적 문제를 갖는다. 이에 대한 대안으로 기계적 구동부가 없는 열화학적 금속수소화물 수소 압축기 (metallic hydride hydrogen compressors, MHHCs)가 주목받고 있다. 다양한 합금계 중 AB2형 C14 Laves상 합금은 간단한 활성화 조건, 우수한 수소저장용량(~1.8 wt.%)과 A와 B원자 자리에서의 광범위한 원소 치환을 통한 소재의 정밀한 열역학적 인자 조절이 가능하여 우수한 소재로 평가된다. 최근 액화수소 충전소 도입으로 MHHCs의 작동 조건이 저온인 -40ºC, 혹은 -70ºC 까지 확장될 수 있다. 이는 온도 감소에 따라 수소 저장량이 증가하고 평형압력이 감소하는 금속수소화물의 특성을 활용한 압축 효율 향상을 가능케한다. 본 연구는 298 K에서의 탈수소화 깁스자유에너지($\Delta G°_{298K}$)를 직접 예측하는 기계학습 모델을 개발했다. 개발된 모델을 통해 최종적으로 875 bar 방출 압력을 달성하기 위한 다단 압축기 내 1단 압축기 소재로서 -40ºC/10 bar 흡수, +95ºC /200 bar 방출 조건을 목표로 약 $\Delta G298\ K° = -9.5$ kJ/mol을 만족하는 (Ti0.9Zr0.1)(Cr1.50-1.25Mn0.20-0.50Fe0.25-0.30) 합금들을 설계하였다. 열역학 계산으로 조성에 따른 C14 Laves 상 안정성을 예측하고, Sieverts 장치를 활용한 실험적 검증을 통해 모델의 유효성을 확인했다. 이에 더해 -70 ~ +35ºC 온도 범위에서 평형압 구간의 기울기와 히스테리시스 등의 비이상성과 함께 $\Delta H°$, $\Delta S°$ 의 온도 및 조성 의존성을 체계적으로 규명했다. 이는 저온에서 수소-합금 상호작용에 대한 근본적 이해와 액화수소 인프라와 연계된 차세대 저온 금속수소화물 압축기 소재 설계의 지침을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[수소1-4 | 09:45]

HESS 용 저압 수소 저장을 위한 TiFe 기반 수소저장합금 성분계 탐색: 곽륜호, 정소진, 박성민, 박태윤(한국생산기술연구원, 고려대학교), 손석수*(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

Keywords: HESS, 수소저장합금, Hydrogenation kinetics, PCT

신재생 에너지의 간헐성으로 인해 안정적인 에너지 공급이 어렵기 때문에 에너지를 장기적이고 안정적으로 저장할 수 있는 기술이 필요하다. BESS는 현재 주로 사용되고 있는 저장 방식이지만, 방전 이슈로 인하여 장기 저장에 한계가 있다. 반면 HESS는 반영구적 저장과 높은 에너지 밀도로 기존 에너지 저장방식보다 뛰어난 저장 방식으로 여겨진다. 현재 주로 물리적 저장방식으로 고압가스, 액화수소 저장방식 등 다양한 저장방식이 있지만 재료기반 저장방식의 수소저장합금은 높은 안정성 우수한 부피저장밀도, 가역적인 저장방식으로 효율적으로 수소를 저장할 수 있다는 장점이 있다. 수소저장합금은 조성비에 따라서 다양한 계열로 나뉘는데 그 중 AB 합금계열의 TiFe 합금은 낮은 원소재 가격, 적절한 저장용량 등 다양한 장점이 존재하기에 연구가 활발히 이루어 지는 추세이다. 본 연구에서는 HESS 에서 사용할 수 있는 TiFe 기반 최적의 수소저장합금 성분계를 탐색하는 연구를 진행하였다. AB계열의 TiFe 합금에 Mn을 첨가하여 TiFe 합금의 수소저장특성을 개선하고자 하였고 kinetics 를 보완하기 위해 Cr을 미량 첨가하고 두 성분계 합금의 hydrogenation kinetics 를 비교하였다. Kinetics 분석뿐 아니라 Pressure – Composition – Temperature (PCT)를 측정하고 결과에 대한 분석을 위해서 Scanning Electron Microscope (SEM) 및 X-ray diffraction (XRD) 를 분석하였다. 또한 분석된 PCT 결과를 토대로 Van't Hoff 방정식을 이용하여 HESS 에 최적의 수소저장합금 성분계를 도출하였다.

[수소1-5 | 10:00]

Explainable AI를 활용한 고엔트로피 수소저장합금 설계 및 수소 저장 거동 분석: 하효정, 이정아(포항공과대학교), Yusuke Ohashi(Tohoku university), 구강희(포항공과대학교), Shin-ich Orimo(Tohoku university), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 수소 저장 합금, 고엔트로피 합금, 머신러닝, SHAP, PCT

머신 러닝은 조성 설계 및 실험에 있어 효율적인 도구로 주목받고 있으나, 수소저장합금의 설계는 조성과 구조 간의 복잡한 상호작용으로 인해 여전히 도전적인 과제로 남아 있다. 이에 본 연구에서는 explainable AI을 활용하여 고엔트로피 합금의 설계 및 수소 저장 성능 평가를 수행하였다. 총 200개의 고엔트로피합금 조성 데이터를 기반으로, 수소 흡수 거동을 지배하는 주요 지표인 VEC (valence electron concentration)과 전기음성도 불일치를 예측하는 모델을 구축하였다. 그리고 SHAP 분석을 통해 인자의 중요도를 분석할 결과, Mo와 Mn이 가장 영향력 있는 원소로 식별되었다. 이러한 ML 기반의 결과에 따라, $Ti_{0.8}Zr_{0.2}Cr_{1.2}Mn_{0.4-x}Fe_{0.25}Mo_{0.15+x}$ (x = 0, 0.1 and 0.2) 조성을 갖는 HEA를 전략적으로 설계하고 성능을 평가하였다. 그 결과, Mo 함량이 증가할수록 단일 C14 Laves 상에서 C14 Laves + BCC 이중상으로 상 변화가 나타났으며, Mo-rich 조성은 가장 큰 전기음성도 차이와 낮은 VEC 값을 보여 수소화 속도가 가장 빠르고 플라토압 또한 낮게 나타났다. 반면, Mn-rich 조성은 높은 VEC에서 불구하고

확장된 플라토 영역으로 인해서 가장 높은 저장 용량을 나타냈다. 본 연구는 explainable AI 기반 예측과 실험적 검증을 통합한 본 설계 전략이 합리적인 조성 설계를 가능하게 할 뿐만 아니라, 차세대 수소 저장 재료의 개발과 최적화를 위한 효과적인 접근법이 될 수 있음을 보여준다.

[수소2-1 | 10:25] Canceled
A Study on the Alloying Effects on the Hydrogen Embrittlement Characteristics of Ferrous Alloys: Sokyun Hong, Yoonmoon Chung, Jeongho Han*(Hanyang University)

[수소2-2 | 10:40]
Cr-Mo계 저합금강으로 제작된 고압 수소용기의 위치별 수소취성 평가: 배동화, 이영광, 김학현, 이창희, 오윤석, 이정훈*(포항산업과학연구원)
Keywords: 저합금강, 수소용기, 템퍼드 마르텐사이트

Cr-Mo 저합금강은 적절한 담금질과 템퍼링을 통해 상온에서 우수한 강도와 인성을 확보할 수 있어 고압 수소 용기에 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 합금은 오스테나이트계 합금에 비해 낮은 수소 용해도와 높은 수소 확산속도를 가지므로 장기간 수소 환경에 노출될 경우 기계적 특성 저하에 우려가 있다. 특히 두꺼운 Type 1 수소 압력용기의 경우, 열처리를 진행하는 과정 중 ?칭 시 표면과 내부 사이의 냉각 속도 구배로 인해 미세조직 차이가 발생하기 때문에 고압 수소 가스에 직접적으로 노출되는 압력용기 내부의 기계적 특성을 표면과 구분하여 평가하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Cr-Mo계 저합금강으로 제작된 고압 수소용기에서 표면, 중심부, 내부에서 각각 시편을 가공하여 72시간 전기화학적 수소 장입 이후의 샤르피 충격특성 변화를 평가하였으며 고압 수소용기의 위치별 형성된 미세조직과 샤르피 충격특성 간의 상관관계를 규명하였다.

[수소2-3 | 10:55]
수소 인프라용 소재 경량화를 위한 고강도 오스테나이트 스테인리스강의 내수소 취성 평가에 관한 연구: 김동호(세아창원특수강), 배동화, 정수진(포항산업과학연구원), 이재호(한국재료연구원), 이권영, 김종호, 채민석*(세아창원특수강), 오선근*(한국재료연구원), 이정훈*(포항산업과학연구원)
Keywords: Austenitic stainless steel, Hydrogen embrittlement, SSRT, TDA

본 연구는 수소 인프라용 소재 경량화를 위해 고강도 오스테나이트 스테인리스인 XM-19의 내수소 취성 평가를 진행하였다. 수소는 미래 에너지원으로 주목받고 있지만, 수소 취성은 수소 설비의 안전성을 위협하는 주요 요인이다. 현재 주로 사용되는 304L 및 316L은 우수한 내식성을 가지나, 상대적으로 낮은 강도 및 연성으로 인해 고압 수소 환경 적용 시 경량화에 한계가 있다. 반면, XM-19는 304L 및 316L대비 월등히 높은 강도/오스테나이트 안전성을 가지고 있어 수소 소재 두께 감소를 통한 경량화를 기대할 수 있다. 기존 연구들은 XM-19의 우수한 강도 특성을 보고하였지만, ISO 16573의 최대 전기화학적 수소 충전 조건 이상의 가혹한 환경에서의 내수소 취성 평가 데이터는 미비하며, 특히 304L 및 316L과의 직접적인 비교 연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고자, 전기화학적 수소 충전 후 느린 변형률 속도 인장 시험을 통해 노치 시편의 인장 특성과 파괴 거동을 분석 및 TDA 분석을 통해 장입된 수소량을 분석하였다. 실험 결과, XM-19는 최대 수소 충전 조건에서도 304L 및 316L 대비 우수한 기계적 특성을 확인되었고, RNTS 역시 가장 높은 값을 가지는 것으로 확인되었다.

[수소2-4 | 11:10]
중성자 회절을 이용한 304L 스테인리스강의 수소에 의한 격자구조 변형 이방성 관찰: 문병록, 성백석, 최동현, 남지민, 박정빈(부산대학교), 우완측, 채호병(한국원자력연구원), 이승건, 박준호(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)
Keywords: 304L 스테인리스강, 수소취화, 중성자 회절, 격자 변형 이방성, 불균일 변형

수소에너지는 탄소 중립 사회를 위한 핵심적인 미래 에너지원으로 각광받고 있다. 304L 스테인리스강은 수소 운송 및 저장 용기에 널리 사용되지만, 상온 및 저온 환경에서 발생하는 수소취성은 그 안정성을 위협하는 심각한 문제이다. 기존 연구는 주로 수소취화 원인을 미세조직 변화에 초점을 맞춰 규명했지만, 본 연구는 수소에 의한 미시적 격자 구조 변형에 주목하여 수소취화 원인을 밝히고자 하였다. 수소가스로 미리 충전시킨 304L 스테인리스강 시편으로 SSRT (Slow Strain Rate Test) 인장 실험을 진행해가며, 중성자 회절 분석을 실시하였다. 하중 인가 중 결정면(hkl)의 격자 변형률(lattice strain)을 측정하였다. 분석결과, 수소는 결정면에 따라 상이한 격자 변형률을 유도하여 소재의 변형 이방성 변화를 야기시켰다. 이러한 현상은 수소 원자가 격자내 특정 침입형 위치에 배열되기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

[수소2-5 | 11:25]
Nb 및 Ti 복합 첨가에 따른 템퍼드 마르텐사이트강의 MC 탄화물 석출 거동과 내수소취성 변화: 김상규, 황예나(서울과학기술대학교), 고원석(고려대학교), 황병철*(서울과학기술대학교)
Keywords: Hydrogen embrittlement, Tempered martensitic steels, MC carbide, Nb, Ti

템퍼드 마르텐사이트강은 우수한 강도와 인성을 동시에 확보할 수 있어 고압 수소 저장 및 운송 시스템의 핵심 구조재로 주목받고 있다. 그러나 수소 환경에서 장시간 사용될 경우 수소취성으로 인한 조기파단이 발생할 수 있어, 내수소취성을 향상시키는 연구가 필수적이다. 본 연구는 Nb 및 Ti의 복합 첨가가 MC 계열 탄화물의 석출 거동에 미치는 영향을 분석하고, 이와 수소취성 간의 상관관계를 규명하고자 하였다. 특히, 단일 및 복합 MC 탄화물의 석출 거동 및 탄소 공공 농도가 수소 트랩 거동에 미치는 영향에 주목하였으며, MC 탄화물의 특성 변화가 수소 트랩의 비가역성을 어떻게 변화시키는지를 중심으로 해석하였다. 이를 위해 Nb

및 Ti 첨가 함량과 비율이 다른 4종의 템퍼드 마르텐사이트계 강재를 제조하고, 전산모사 기반 상평형 계산 및 석출 거동 모델링을 통해 예측된 결과를 실제 분석 결과와 비교하였다. 또한 전기화학적 수소 주입과 동시에 저속 변형률 시험을 수행하여 Nb 및 Ti 복합 첨가가 내수소취성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

[수소3-1 | 17:00]

알칼라인 수전해용 Ni 촉매의 Oxygen vacancy 함량에 따른 OER 거동: 차은빈(한국생산기술연구원,고려대학교), 서보성, 김동회(한국생산기술연구원), 박광석*(고려대학교)

Keywords: 알칼라인 수전해, 산소 발생 반응 (OER), Ni 촉매, Ni 산화물, oxygen vacancy

수소 생산 방법 중 알칼라인 수전해 공정은 재생 가능 에너지원에서 얻은 전력으로 전기 화학적 물 분해를 통해 수소를 생산함에 있어 친화경적 에너지로 유망하지만, 음극에서 수소 발생 반응 (Hydrogen Evoultion Reaction, HER) 대비 양극에서의 산소 발생 반응 (Oxygen Evolution Reaction, OER)이 늦기 때문에 이를 개선할 필요가 있다. 양극용 소재로 비용이 저렴한 전이금속(Ni, Fe 등)을 적용하려는 연구가 많이 진행되고 있으며, 이 중 표면에 NiO 층을 도입함과 동시에 oxygen vacancy 함량을 제어하여 OER 반응을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. NiO 층에 oxygen vacancy를 도입하는 방법에는 산화 및 환원 등이 있는데, 이 중 불완전 산화를 통해 NiO 층에 oxygen vacancy 농도를 제어하고, 그 결과 OER 반응 속도가 향상된 연구 결과가 보고되었다. 이에, 본 연구에서는 Ni foam과 Ni powder가 혼합된 Ni 복합체 전극을 제조한 후, 산화 시간 및 온도를 제어하여 Ni 촉매 표면 (Ni foam, Ni powder)에 NiO 산화물 층이 어떻게 형성되고, 또한 oxygen vacancy 함량이 어떻게 변하는지 조사하였다. 그리고 형성된 NiO 산화물 층 특성에 따라 OER 성능 변화를 확인하였다.

[수소3-2 | 17:15]

FCC와 HCP상의 이중상 FeMnCoCr계 고엔트로피합금의 역학거동에 미치는 수소 영향 비교 연구: 정지윤, 정현, 정재영, 안윤희(충남대학교), 최인철(금오공과대학교), 이동현*(충남대학교)

Keywords: 고엔트로피합금, 수소 취성, 변형-유기 상변태, 나노압입시험

수소충전소용 금속용기는 수소를 저장하고 공급하는 과정에서 높은 압력 변화와 온도 변화가 수반되어 극한 환경에서의 고강도 및 고인성이 확보된 소재의 사용이 요구되고 있다. FCC 구조의 고엔트로피합금은 수소 취성에 대한 저항성이 높으며 변형-유기 상변태를 도입할 경우, 강도와 인성을 동시에 향상시킬 수 있다고 알려져 있다. 이 때, FCC계 고엔트로피합금에서 발생 가능한 변형-유기 상변태로는 HCP 구조의 ε 마르텐사이트와 BCT 구조의 α′ 마르텐사이트이다. 따라서, 변형-유기 상변태 현상이 수소취화 거동에 미치는 영향을 온전히 파악하기 위해서는, 각 변태상에서의 수소 영향을 규명하는 것이 필수적이다. γ 상과 α′ 상 간의 수소 영향 차이는 많은 연구를 통해 밝혀진 바 있으나, γ 상과 ε 상에서의 수소 영향 차이를 비교/분석한 연구는 미비한 실정이다. 이에, 본 연구에서는 γ 상과 ε 상을 지닌 이중상 고엔트로피합금 Fe50Mn30Co10Cr10에 대해 사전변형량을 달리하여 미세조직 변화를 관찰하고 TDS와 실시간 수소장입 인장시험을 진행하여 상분율에 따른 수소 영향을 분석하고자 하였다. 또한, 나노압입시험을 수행하여, 각 상의 기계적 특성을 파악하고 사전 수소 장입 방법을 이용하여 각 상에 미치는 수소의 영향을 분석하고 수소 확산 계수를 예측하여 각 상의 수소 취성 메커니즘을 파악하고자 하였다. XRD를 진행해 사전변형량에 따른 전위밀도의 영향도 연구하여 수소 취성 거동을 규명하고자 하였다.

[수소3-3 | 17:30]

V계 수소저장합금에 Zr, Nb이 미치는 영향: 홍성찬, 석경찬, 강규병, 백민아(고려대학교,한국생산기술연구원), 최병철(한국생산기술연구원, 강릉원주대학교), 김주호, 나태욱*(한국생산기술연구원), 이준호*(고려대학교)

Keywords: 수소저장합금, 평탄압, Zr, Nb, V

바나듐(V) 기반 수소저장합금은 수소저장특성이 우수하나 매우 높은 가격으로 인해 경제성이 떨어져 상용화되기 어렵다. 이 때문에 가격이 훨씬 저렴한 페로바나듐(FerroV)도 많이 사용되기도 한다. 하지만 FerroV의 상당량을 차지하는 Fe는 평탄압을 많이 올려 저장 성능을 저하시킨다. 그렇기 때문에 다른 원소를 첨가해 평탄압을 내려줄 필요가 있었고 AB, AB2계 합금에서 평탄압을 내린다고 알려진 Zr, Nb를 V기반 합금에도 적용시켜보기로 했다. 또한 두 원소가 미치는 영향을 조사하기 위해 FerroV의 불순물들은 제외했고 적정한 평탄압을 위해 Fe 1at%를 고정한 조성을 만들었다. 본 연구에서는 Zr, Nb를 V와 0.5, 1, 1.5 at% 로 각각 치환하였고, 여러 온도에서 비교하기 위해 조성마다 10ºC, 30ºC, 50ºC 에서 평가하였다. XRD와 SEM으로 상구조와 미세조직을 분석하였고 PCT 측정으로 수소흡방출평가를 통해 수소저장특성 및 평탄압을 확인하였다. 본 연구 결과는 Zr, Nb이 미치는 영향을 조사함으로서 FerroV계 수소저장합금의 최적 조성을 탐색하기 위한 초석 연구로 활용되기를 희망한다.

[수소3-4 | 17:45]

TiB 석출물에 의한 Ti 합금의 수소 취성 및 초극저온 거동 변화: 정현, 정지윤, 이근형, 이수열, 이동현*(충남대학교)

Keywords: Ti, Ti alloys, hydrogen embrittlement, TiB

타이타늄(Ti)과 그 합금은 높은 강도, 뛰어난 내식성 및 내산화성을 바탕으로 항공우주, 해양, 원자력, 화학 산업 등 다양한 분야에서 널리 사용된다. 이러한 특성 덕분에 극저온 환경에서 액화 수소 저장 및 운송 용기의 소재로도 주목받고 있다. 그러나 Ti 합금이 수소와 접촉하면 δ-hydride가 석출되며, 이는 국소적인 소성 변형을 야기하고 취성 균열의 기점이 되어 기계적 강도와 피로 저항성을 떨어뜨린다. 또한 20 K 이하의 극저온 조건에서는 변형 경화(strain hardening)에 의해 서레이션(serration) 거동이 나타나면서 저온 취성이 심화될 수 있다. 최근에는 보론(B) 첨가를 통해 순수 Ti의 결정립을 미세화하고, 입계 및 입내에 분포하는 TiB

입자가 강도와 피로 파괴 저항성을 개선한다는 보고가 이어지고 있다. 그러나 이러한 미세조직 변화가 수소취성 및 초극저온 거동에 미치는 영향은 아직 충분히 이해되지 않았다. 본 연구에서는 Ti와 AlB_2를 볼밀링하여 Ti-TiB 합금을 제조하고, 보론 함량 변화에 따른 TiB 입자의 입계 및 입내 분율을 체계적으로 분석하였다. 아울러, 상온·수소 분위기·초극저온(15 K) 조건에서 인장 시험을 수행하여 수소 취화 및 극저온 거동을 평가하였다. 파단된 시편의 파단면과 균열 말단은 SEM과 EBSD로 관찰하여 TiB 분율이 수소취성과 극저온 취성에 미치는 영향을 검토하였다. 더불어, Ti-TiB 합금에서 hydride의 형성 위치를 규명하고 hydride와 α-Ti 기지를 구분하여 나노인덴테이션을 통해 국부 기계적 특성을 정량화하였다. 마지막으로, TiB 입자의 분포, 슬립 밴드 형성, 전위 밀도, 그리고 쌍정 발생 등 미세조직적 인자를 종합적으로 고려하여 수소취성과 초극저온 취성의 메커니즘을 논의하였다

제5회 수소경제 구현을 위한 수소 운송 및 저장 소재 심포지엄
Room 2층 201/3, 10월 29일

[수소경제1-1 | 14:00] 초청강연

수소용 금속소재 국산화를 위한 기반 구축 및 시험/평가 기술개발 방향: 이정훈*, 이창희, 강성, 박정재, 배동화, 정수진(포항산업과학연구원)

Keywords: 수소, 수소취성, 기반구축, 평가기술 개발

최근 탄소중립 및 청정에너지 수요의 증가로 수소 에너지 기술이 각광받고 있으며, 이에 따라 수소 저장 및 수송, 활용 과정에서 요구되는 금속소재의 중요성이 부각되고 있다. 특히 수소취성에 대한 저항성과 내환경성이 요구되는 금속소재의 안정적 확보는 수소경제 실현의 핵심 과제로 떠오르고 있다. RIST는 금속분야의 소부장 실증기반강화사업 실시기관으로써, 수소용 금속소재의 국산화를 위한 기반 구축 전략과 이에 부합하는 시험·평가 기술 개발을 하고 있다. 기반구축 과제를 통해 참여 기관들과 소재 개발에 필요한 다양한 공정 및 기술을 구축/개발 하고 있으며, 만들어진 소재의 시험·평가 측면에서는 수소 환경 하에서의 기계적 성질 평가, 수소취성 평가법, 시편 제조 표준화 및 국제 규격 대응 방안 등을 위해 지원 하고 있다. 이를 바탕으로 RIST에서 실시중인 수소산업용 소재의 국산화를 위한 시험 /평가 기반 강화의 필요성을 이야기 하고자 한다.

[수소경제1-2 | 14:20] 초청강연

High-pressure hydrogen production technology based on solid hydrogen storage material ($NaBH_4$): Felicia Alvita Theda, Chan Kim, Yongmin Kim, Hyangsoo Jeong*(Korea Institute of Science , Technology)

Keywords: sodium borohydride, high-pressure hydrogen generation, chemical hydrogen compression

Hydrogen, with its high gravimetric energy density (~33.3 kWh/kg), is widely regarded as a promising renewable energy carrier. However, its low volumetric energy density (2.97 Wh/L at 273 K, 1 atm) imposes significant limitations on its practical use for large-scale transport and storage. Current long-distance and high-capacity hydrogen logistics mainly rely on liquefied hydrogen or chemical hydrogen carriers. One of the critical challenges for realizing the hydrogen economy is the development of efficient, reversible systems that enable the safe and cost-effective storage and release of hydrogen at scale. In this context, both liquid and solid hydrogen carriers with high storage densities and long-term stability have attracted increasing interest. This presentation highlights the potential of sodium borohydride ($NaBH_4$) as a high-capacity hydrogen storage material. While the hydrolysis of $NaBH_4$ has been studied for decades, achieving high-capacity output at the system level has remained a major hurdle. Our recent work demonstrates not only significant hydrogen yield under optimized reaction conditions but also validates system-level scalability. Moreover, we introduce a thermochemical compression method that exploits the thermodynamic properties of $NaBH_4$ to generate high-purity hydrogen at pressures exceeding 800 bar—offering a compelling alternative to traditional mechanical compressors. This chemically driven compression approach opens new possibilities for hydrogen refueling technologies. In particular, we present a compact, grid-independent mobile hydrogen generation system based on acid-mediated $NaBH_4$ hydrolysis, enabling simultaneous hydrogen generation and compression without the need for external power sources. This system offers a scalable, quiet, and clean solution for off-grid energy applications, addressing the limitations of conventional diesel generators and mechanical hydrogen compressors.

[수소경제1-3 | 14:40] 초청강연

에너지 산업 현장의 수소 재료 신뢰성과 기술 과제: 최원석*(SK이노베이션)

Keywords: 수소, 에너지, 신뢰성

수소는 석유화학 공정에서 필수적일 뿐 아니라, 친환경 에너지·공정 전환의 핵심 자원으로서 에너지 산업 전반에서 중요성이 빠르게 커지고 있다. SK 울산CLX 내 수소 플랜트의 일일 수소 생산량은 500톤 이상에 달하며, 부생수로를 활용한 액화수소 사업을 추진하고 있고, LNG 개질한 블루수소 생산을 계획하고 있다. 본 발표에서는 석유화학 및 신재생 등 다양한 산업 현장에서 수소를 생산·활용하는 과정에서 요구되는 수소재료의 동향을 다룬다. 특히 수소취성 이외에, 에너지 산업 현장에서 발생하는 침탄, 질화, 크리프 등 고온·고압 환경에서의 재료 손상 메커니즘과 이에 대응하기 위해 개발이 필요한 재료 특성을 공유한다. 아울러 수소의 형태(고압, 액화 등)와 종류(블루, 청록 등)에 따라 수소를 생산 과정에서 직면하는 기술적 과제에 대해서도 논의하고자 한다. 본 발표를 통해 수소의 생산자이자 사용자로서 산업계 현장에서 축적한 경험을 바탕으로, 수소 관련 설비의 재료 신뢰성 확보 필요성을 강조한다.

[수소경제1-4 | 15:00] 초청강연

오스테나이트계 스테인리스강의 초극저온 기계적 거동 및 변형 메커니즘 분석: 심상훈, 김영균*, 나영상*(한국재료연구원)

Keywords: 304L 스테인리스 강, 기계적 물성, 액체 헬륨 온도, 변태유기소성, Discontinuous plastic flow (DPF)

인류 사회의 발전은 재료과학 및 공학에서 정립된 이론적 개념이 산업기술로 확장·응용되면서 이루어져 왔다. 특히 항공우주, 해양 잠수체, 원자력과 같이 극한 환경에서의 활용을 목표로 할 경우, 소재의 물리적 거동에 대한 이해는 과학적 혁신의 핵심 요소가 된다. 이러한 배경 속에서 오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 강도, 연성, 내식성, 생체 적합성 및 경제성을 바탕으로 다양한 산업 분야에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 상온(298 K)부터 액체 헬륨 온도(4.2 K)까지 걸친 폭넓은 온도 구간에서 상업용 304L 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 특성과 변형 메커니즘을 체계적으로 고찰하였다. 인장 거동 결과, 시험 온도가 낮아질수록 항

복 강도와 최대 인장 강도는 각각 약 220 MPa 및 약 1262 MPa까지 크게 향상되었으나, 연성은 상온 대비 약 32%가량 저하되는 경향을 보인다. 미세조직 분석에서는 상온에서 초극저온까지 변형에 따라 면심입방체 (FCC) 상이 체심입방체 (BCC) 상으로 전환되는 변태유기소성 (TRIP) 현상이 확인되었고, 항복 이후에는 뚜렷한 가공경화율의 상승이 나타난다. 특히 극저온에서는 감소된 상안정성과 낮은 적층결함에너지로 인해 결정립 내부에 양방향의 육방정계(HCP) 전단 밴드가 발달하며, 이 교차 영역을 따라 불균일하게 형성되는 BCC 상이 TRIP 효과를 더욱 증폭시키는 것으로 관찰된다. 또한, 액체 헬륨 온도 구역에서는 유동 응력이 주기적으로 증가와 감소를 반복하는 '불연속 유동 응력 (Discontinuous Plastic Flow, DPF)' 현상이 나타났는데, 이는 고온 영역에서 보고되는 동적 변형시효 (DSA)와는 구별되는 거동이다. 본 연구에서는 이와 같은 복합적인 기계적 물성에 대한 현상을 심도 있게 분석하였다.

[수소경제2-1 | 15:30] 조청강연

금속 합금 내 수소 포획 거동의 원자 단위 분석: 김세호*, 이창기, 이원형(고려대학교)

Keywords: 금속, 수소, 측정분석

Atom Probe Tomography(APT)는 수소의 공간적 분포를 원자 단위에서 규명할 수 있는 강력한 분석 기법이지만, 수소의 높은 확산성과 측정 난이도로 인해 정밀한 정량 분석에는 어려움이 존재해왔다. 본 연구에서는 APT의 환경 제어 이송 시스템과 극저온 냉각 기술을 활용하여 금속 소재 내부 수소 손실을 최소화하고, 정밀한 3차원 공간 분포 및 정량 분석의 신뢰성을 향상시켰다. 다양한 금속 합금 시료에서 수소 포획 거동을 관찰하여 수소의 함량 및 분포를 정량적으로 평가하였다. 본 연구는 수소 취성 메커니즘 이해와 고성능 수소 저장 소재 설계 등 다양한 분야에서 APT 기반 수소 분석의 새로운 가능성을 제시한다.

[수소경제2-2 | 15:50] 조청강연

2 GPa급 템퍼드 마르텐사이트 조직강의 수소취성에 미치는 미세 탄화물의 영향: 전영수*, 김관호, 박세원(포스코), 이종수(POSTECH)

Keywords: 수소취성, 스프링, 선재

자동차의 현가용 부품에 사용되는 스프링은 높은 피로 강도를 위해 소재의 고강도화가 요구된다. 반면, 고강도화를 위한 탄화물, 결정립계, 전위 등의 증가는 수소의 트랩부로 작용하여 수소취성 민감도가 증가하게 된다. 이러한 문제에 대응하기 위해 많은 연구자들은 수소의 detrap 활성화 에너지가 높은 결함인 미세 탄화물을 활용하는 것이 효과적이라고 보고하였으며, 철강사에서도 널리 상용화하고 있다. 그러나 높은 활성화 에너지의 수소트랩부는 열간압연 제조공정시 강재 내 연성을 취화시키는 수소 트랩부로 작용하여 제조공정 중 수소취성을 유발하는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 탄화물의 밀도를 낮춰 제조공정 중 유입되는 수소량을 감소시켜 수소취성을 방지하였으며, 탄화물 형상제어를 통해 수소트랩부 활성화 에너지를 높여 스프링 제품의 수소취성 저항성도 개선하였다.

[수소경제2-3 | 16:10] 조청강연

Entropy-Engineered Oxides for Next-Generation Ceramic Fuel Cells: Lee Kang Taek*(KAIST)

Keywords: fuel cells, high entropy oxides, hydrogen society

Entropy-engineered oxides represent a new frontier in ceramic fuel cell research, offering unprecedented opportunities for performance and durability enhancements. By integrating multiple principal cations into a single oxide lattice, these materials harness the benefits of high configurational entropy, including enhanced structural stability, tunable defect chemistry, and distinctive electronic landscapes. Such characteristics provide powerful design levers for addressing persistent challenges in solid oxide and protonic ceramic fuel cells, particularly in lowering operating temperatures while maintaining high efficiency. Recent advances demonstrate that entropy-driven design can promote favorable ionic and electronic transport, suppress degradation pathways, and improve tolerance to humid and CO_2-containing atmospheres. In electrodes, entropy-engineered oxides have been shown to enhance oxygen reduction and evolution kinetics, while as electrolytes they can stabilize proton or oxygen ion conduction under demanding conditions. Emerging insights from advanced characterization and multiscale modeling are beginning to unravel how lattice distortion, oxygen vacancy energetics, and entropy stabilization govern these properties. This presentation will highlight ongoing progress at KAIST in developing and integrating entropy-engineered oxides into next-generation ceramic fuel cells. Emphasis will be placed on their role in advancing hydrogen-based energy technologies, with broader implications for sustainable energy conversion, long-term durability, and future materials design strategies for the hydrogen society.

[수소경제2-4 | 16:30] 조청강연

Mg–xNi 합금의 화학조성 및 공정조건이 미세조직과 수소저장 성능에 미치는 영향: 김영민*, 서병찬, 문영훈(한국재료연구원), 고원석(인하대학교), 박형기(한국생산기술연구원)

Keywords: Hydrogen storage, Mg–Ni alloys, Microstructure, Casting and chipping, Desorption kinetics, Hydride stability

Magnesium–nickel alloys combine the high gravimetric hydrogen capacity of Mg with the fast sorption kinetics of Mg_2Ni. However, large-scale utilization is limited by surface oxidation, costly mechanical alloying, and capacity degradation at high Ni contents. To address these issues, we employed a scalable melt-casting followed by chip-machining process. Eleven Mg–Ni binary alloys (0–30 at.% Ni) and six Mg–20Ni–X ternary alloys (X = Sn, Y, Gd, Ag, Zn, Nd) were fabricated and evaluated. Mg–20Ni exhibited the optimum reversible capacity of ~5.0 wt% H_2 with rapid absorption within 10 min at 350 °C. Micro-alloying with 0.81 at.% Sn significantly

refined Mg_2Ni morphology, flattened the plateau, and reduced absorption time to <3 min at 300 °C, though at a slight cost in capacity. Y and Ag also improved kinetics, while Zn and Gd retarded desorption. Hot extrusion produced nanolamellar structures but degraded kinetics due to Mg_2Ni spheroidization. Notably, hydride pre-formation enabled stable handling in air for 15 days with rapid recharging, suggesting a novel pathway for safe hydrogen transport. Collectively, these findings demonstrate that a simple casting–chipping route, combined with micro-alloying and hydride pre-formation strategies, can enable Mg-based alloys to achieve both high density and scalable solid-state hydrogen storage.

우주항공청 항공혁신임무보증프로그램 항공용 소재▪부품 R&D

Room 2층 206/7, 10월 29일

[우주1-1 | 09:00] 초청강연

우주항공청 항공혁신임무보증프로그램 소개: 최미진, 박형욱, 이학봉, 홍범기, 김현빈, 박종현(우주항공청)

Keywords: 항공산업, 지속가능, 안전성, 경쟁력강화, 정책수립, 산업육성, 임무보증, 품질보증, 소재·부품

항공산업은 지속 가능한 기술 개발과 안전성 강화를 위한 제도적 기반 마련이 중요한 시점에 있으며, 우주항공청은 국가 차원에서 경쟁력 강화를 위한 정책 수립, 기술 확보, 산업 육성 등의 기능을 수행한다. 항공혁신임무보증은 항공 기술의 발전과 안전성을 보장하는 전략적 활동으로, 임무 중심의 품질보증 체계를 마련하고 있다. 소관 소재·부품 R&D 과제로는 항공용 경량소재 데이터 국산화, 부품 공정 고도화, 친환경 첨단소재·부품 개발 등이 있으며, 이는 항공산업의 기술 자립성과 국제 경쟁력 강화를 목표로 한다. 향후 민군 협력 및 국제 공동개발 등을 통한 국가 경쟁력 확보를 이어갈 것이다.

[우주1-2 | 09:25] 초청강연

항공소재 자립화를 위한 소재 물성데이터베이스 개발: 권용남*, 박현일(한국재료연구원), 정유인(한국항공우주산업)

Keywords: 항공소재, 설계허용값, 데이터베이스, 자립화

항공 소재는 감항기준 인증 획득을 위해 소재 제조공정은 항공규정에 맞춰 제조한 후 물성을 통계적으로 규격을 만족하는지를 입증하는 물성 DB 구축이 필요하다. 항공기 감항기준 충족을 위한 통계적 물성 입증에 요구되는 시험비, 인증유지비 등이 신규업체의 진입장벽으로 작용한다. 항공기 종류에 따라 차이가 있지만 소재(raw material, 부품형태로 가공된 소재 제외)가 차지하는 비중은 12~15%로 추산됨. 부품형태를 포함하면 20~25%이며 엔진의 경우 소재비는 약 50~60%를 차지한다. 국내 항공업계도 RSP 참여 확대를 위해서 해외 소재를 수입할 경우 경쟁력 확보 불가능하며 핵심 소재는 선진국에서 수출제한 품목으로 분류되어 있어 상황에 따라 수입 불가할 수 있어 국산화의 필요성이 높아지고 있다. 종전에는 장거리, 대량수송 중심의 대형 항공기 플랫폼을 개발하여 엔진의 추력 및 운항거리 향상, 신뢰성 확보 등에 주력하고 있으며 향후 엔진, 항전, 신소재 등이 플랫폼 혁신의 핵심 요소로 기체의 경우 복합재 적용을 통한 연료 20%절감, 동체와 날개의 통합을 통해 연료 20% 절감 및 소음 감소 등에 대한 연구가 진행 중이다. 국내 항공소재 국산화율은 ~0%로써 외국기업에서 소재를 수입하여 부품을 가공·조립하는 수준에 머물러 있었다. 최근 국내 항공산업이 성장기로 접어들면서 항공 OEM는 RSP 확대를 꾀하고 있으며 대외 경쟁력 확보를 위해 항공소재의 국산화는 개발의 핵심으로 부상하고 있다. 해외 소재에 100% 의존한 RSP는 국내 항공산업의 부가가치 창출에 한계를 가지며 국내 항공소재의 사용량이 급격히 증가하고 있어 국산화 개발을 시도할 수 있는 수준의 항공소재 시장이 형성되고 있다. 산업부에서도 항공용 소재, 부품 개발 및 항공소재 DB 개발 사업에 투자가 이루어지고 있다. 국내 소재산업은 대규모 자본투자에 기반한 대량생산방식이었으나 최근 항공, 친환경자동차 등에서 요구하는 고급 소재에 대한 수요 대응이 어려워질 것으로 예상된다. 중국 등 개발도상국의 범용소재의 저가공급의 일상화로 국내 소재산업은 생존을 위해 패러다임 전환이 필요하며 답보상태에 있는 소재산업 경쟁력 향상의 돌파구를 항공소재 국산화에서 찾을 수 있을 것으로 기대한다.

[우주1-3 | 09:50] 초청강연

항공용 알루미늄 합금의 데이터베이스 구축 및 설계허용치 도출: 마태동*, 손진일, 김효진(테스코(주))

Keywords: 항공용 알루미늄 합금, 설계허용치, 역학 시험, MMPDS, 통계적 검정

항공용 핵심 부품 및 구조물의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 소재 물성에 기반한 설계허용치 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 MMPDS(Metallic Materials Properties Development and Standardization)의 설계허용치 개발 기준에 따라, 항공 구조물에 주로 사용되는 알루미늄 합금 소재의 정적 물성 시험 데이터를 확보하였다. 시험은 인장, 압축, 전단 등 주요 기계적 물성을 대상으로 수행되었으며, MMPDS에서 요구하는 ASTM 시험 절차를 준수하여 표준화된 시편을 사용함으로써 신뢰성을 확보하였다. 확보된 시험 데이터는 분석 및 통계적 검정 과정을 거쳐 A-Basis, B-Basis, S-Basis와 같은 설계허용치를 도출하는 데 활용되었다. 또한 테스코(주)와 한국항공우주산업은 MMPDS 절차에 따른 통계적 검정과 설계허용치 산출을 지원하기 위해 K-Midas 프로그램을 공동개발하였다. 그 결과, 프로그램을 통해 도출된 통계값과 설계허용치는 MMPDS에서 개발한 Midas 프로그램 결과와 비교했을 때 높은 일치율을 보였다.

[우주2-1 | 10:25] 초청강연

신항공산업 생태계 구축을 위한 친환경 첨단 소재/부품 개발: 김현빈(Korea Aerospace Administration), 이헌수(Korea Institute of Science and Technology), 송운형(Korean Airlines)

Keywords: Keywordss: Aircraft, Ecosystem, Composite, Hypersonic aircraft, UHTC

KASA는 2024년 10월 친환경 핵심 부품 기술 및 항공우주 소재 R&D 프로그램 기획과제를 시작했다. 이 프로그램은 「제3차 항공산업 발전 기본계획」에 맞춰 부품 산업의 경쟁력을 강화하고 발전시키는 것을 목표로 한다. 동 발표는 네 가지 주요 과업으로 구성된 기획과제의 현황을 소개한다. (1) 2026년 사업 착수를 목표로 하는 “친환경 항공기 첨단 소재 및 부품 기술개발 기획” 수립, (2) “친환경 항공기 첨단 소재 및 부품 기술 장기 로드맵” 개발, (3) 2027년 사업 착수를 목표로 하는 “초고온 항공우주 소재 및 부품 개발 기획” 준비, (4) “초고온 항공우주 소재 및 구조부품 장기 로드맵” 수립이다. 첫 번째 과업은 안전성과 재활용성을 강조

하는 열가소성 복합재 기반 항공기 부품에 초점을 두고 있으며, 세 번째 과업은 극초음속 항공기의 노즈팁을 위한 소재 및 구조부품에 중점을 두고 있다.

[우주2-2 | 10:50] 조청강연

우주·항공용 고온소재 IN738LC의 국산화 개발: 민기득*((주)피레타), 송영석((주)세아창원특수강), 주영규(한화에어로스페이스(주)), 이재현(창원대학교), 최현선((주)피레타)

Keywords: IN738LC, MMPDS, 초고온 소재, 항공용 엔진

항공 엔진에 사용되는 고온부품은 고온·고압의 가혹한 환경에서 사용된다. 고온부품에 사용되는 소재는 우수한 고온강도, 안정한 미세구조 및 내산화성 등 다양한 기계적·화학적 물성이 요구된다. 특히, 국내에서는 4세대 전투기가 개발되었음에도 불구하고 가장 중요한 엔진은 GE등의 해외 선진사 제품을 사용하고 있다. 최근에는 국산 엔진 개발을 진행하면서 엔진 품질에 대한 요구도도 해외 선지사 수준으로 높아졌다. 고온부품 소재의 경우 전 세계적으로 전략무기 소재로 구분되고, 희토류 함유가 높아 국제 정세에 따라 수입에 큰 문제가 발생한다. 따라서, 국산 엔진을 개발함에 있어 소재부터 부품까지 국산화를 수행할 수 있는 소재 공정 개발이 필요하다. 특히 항공기엔진의 터빈블레이드 및 베인등 고온의 연소가스가 직접적으로 닿는곳에는 IN738LC의 소재가 많이 사용된다. IN738LC는 뛰어난 고온강도, 우수한 크리프 저항성, 높은 피로저항성을 가지고 있으며, 고온 산화분위기에서도 내산화성 및 내식성이 뛰어나 부품을 장기간 사용할 수 있다. IN738LC 소재 제작을 위해서는 고청정/고품질의 제조기술이 필요하다. 이에 IN738LC소재의 국산화를 위해 합금 제작 공정, 정밀 주조 공정 개발을 진행하고, 개발소재에 대한 신뢰성 검증을 위해 MMPDS 기반으로 DB구축을 수행하였다.

[우주2-3 | 11:15] 조청강연

화물기 P2F용 동체외곽구조물의 드릴링공정 로봇자동화 기술개발: 강갑훈*(Kencoa Aerospace), 신기수(Anytoy), 김성현(KITECH)

Keywords: 동체외곽구조물, 엔드에펙터, 로봇 제어, 드릴공구, 화물기 개조

본 연구개발과제는 화물기 여객기 개조(P2F: Passenger to Freighter) 사업의 핵심 부품인 6 m급 동체외곽구조물(FSS: Frame Shell Structure) 조립에 필요한 드릴링 공정의 로봇자동화 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 현재 해당 공정은 수천 개 이상의 홀 가공이 요구되는 고숙련 반복작업으로, 작업자의 피로도와 품질 편차가 크며, 동남아 저임금 국가 대비 원가 경쟁력이 취약한 상황이다. 과제의 최종목표는 One-Step Drilling 공정과 로봇 드릴링 시스템(RDS)을 개발하여 기존 수작업 대비 3배 이상의 생산성 향상과 품질 균일성 확보를 달성하는 것이다. 이를 위해 협동로봇 기반 드릴링 테스트, 로봇 제어 알고리즘 개발, 전용 엔드 이펙터 설계, 비전 기반 위치 보정 기술, 통합 제어 시스템 고도화 등을 단계적으로 수행한다. 당해년도(2차년)에는 협동로봇 드릴링 테스트 및 RDS 공정시스템 설계, 6축 산업용 로봇 및 센서 검토/선정, 엔드이펙터 제작, 자동 위치 보정 기술, 비전 기반 소프트웨어 개발 등이 중점 추진된다. 연구성과는 P2F 대형 항공구조물 드릴링 공정의 자동화를 통해 생산성·품질 향상, 공정 소요시간 단축, 원가 절감을 실현하며, 향후 유사 항공구조물 조립공정으로 확산 가능하다. 또한 End-Effector 및 정밀제어기술의 국산화를 통해 글로벌 OEM사 공급망 참여 확대, P2F 및 군수 항공기 시장 진입, 미래 항공모빌리티(UAM, 대형기체, 우주분야)까지 사업영역 확장을 기대할 수 있다. 본 과제를 통해 켄코아에어로스페이스는 P2F 핵심 공정의 자동화 역량을 확보하고, 국내 항공 MRO 및 기체 개조 분야의 기술자립과 글로벌 경쟁력 강화에 기여할 것으로 전망된다.

초탄성 형상기억 타이타늄합금 심포지엄
Room 2층 206/7, 10월 29일

[초탄성1-1 | 14:00] 초청강연

초탄성 저 탄성계수 Ti 합금 개발(Development of superelastic Ti based alloys with low elastic modulus): 남태현*(경상국립대학교)

Keywords: Bone implant materials, Ti-Nb-Sn alloys, Superelasticity, Elastic Modulus, Goss texture

For biomedical titanium alloys, the reduction of their elastic modulus approximating that of human bone (~30 GPa) is highly required for using them as bone implant materials to reduce the risk of stress shielding. In this study, Ti-15Nb-(4-6)Sn (at%) shape memory alloys were developed to achieve the bone-like elastic modulus for biomedical applications by varying Sn content to adjust the factors such as transformation temperature, β stability, ω phase amount and texture component which are well known to affect the elastic modulus of titanium alloys. The elastic modulus of 68.8 GPa in the 4Sn specimen decreased to 41.5 GPa in the 5Sn specimen due to the suppression of α" martensite, achieving the least β stability and the decrease in the amount of athermal ω (ωath) phase. A good combination of low elastic modulus and room temperature superelasticity was obtained in the 5Sn specimen. Significantly, a bone-like elastic modulus of 31.5 GPa is achieved in the 5.5Sn specimen, which has not been reported yet in titanium alloy sheets. In this specimen, (110) [001] (Goss texture) was developed as the dominant texture component and the ωath phase was completely suppressed. Also, the formation of the dominant Goss texture has not been reported previously in Ti–Nb–Sn alloy sheets. More detailly, along the rolling direction (RD), the [001]β//RD texture which effectively reduces elastic modulus along the RD was formed in 5Sn and 5.5Sn specimens and its intensity increased largely in the 5.5Sn specimen. Such a bone-like elastic modulus is attributed to the formation of a strong [001]β//RD texture as well as the absence of the ωath phase in β matrix.

[초탄성1-2 | 14:30] 초청강연

Recovery stress of cold-drawn superelastic NiTi SMA wires: Eunsoo Choi, Seong-Jun Park, Jaesung Byung, Min-Kyung Jang, Kiyeon Kim(Hongik University)

Keywords: superelastic shape memory alloy wire, cold drawing, recovery stress, prestressing in cementitious materials

This study investigates inducing of recovery stress of cold-drawn superelastic shape memory alloy (SMA) wires. It is well known that the cold-drawn martenstic SMA wires show recovery stress, which can be used for inducing prestressing in cementitious materials. The cold drawing work introduces tensile strain in the martensitic SMA wire as well as reduces the cross-sectional area. The heating transforms phase state of the cold-drawn martensitic SMA wire resulting in inducing recovery stress. This study tries this cold drawing work on a superelastic SMA wire and then obtains the recovery stress by heating. Therefore, after the cold drawing work, it is conjectured that the superelastic SMA wire is transformed to the similar state of the cold-drawn martensitic SMA wire. The cold-drawn superelastic SMA wire shows a similar recovery stress to that of the cold-drawn martenstici SMA wire. However, it shows flag-shaped tensile behavior under the recovery stress; this indicates that the cold-drawn superelastic SMA wire provides more energy dissipation and displacement recovery capacities than the corresponding one of the martensitic SMA wire. This is very meaningful to apply it on civil structures. Therefore, more studies are required for applying the cold-drawn superelastic SMA wires on civil members and structures.

[초탄성1-3 | 14:50] 초청강연

How to control R-phase transformation temperature in Ti-Ni-(X) alloys: Kim Jaeil*(Dong-A University)

Keywords: Shape memory effect, R phase transformation, Martensitic transformation

The R-phase transformation of Ti-Ni shape memory alloy exhibits small transformation hysteresis and thermo-mechanical stability compared to B2↔B19' transformation. Therefore this transformation of Ti-Ni shape memory alloy is known to be candidate material for application of actuators. Thrrefore, control of the R-phase transformation temperature is important to apply to actuator. However, systematic results on the factors affecting R-phase transformation temperature have hardly been studied, yet. We systematically investigated the effects of annealing, aging, thermal cycle and addition of a third elements (Fe & Co) on the R-phase transformation temperature in the Ti-Ni-(X) alloys. R phase transformation temperature is affected by only Ni content in the matrix. The distribution of precipitation(such as the size and density) by aging and dislocations introduced by cold working and thermal cycle did not affect R-phase transformation temperature in contrast to the martensitic transformation temperature(B2→B19'). In conclusion, the R-phase transformation can be controlled by Ni content in the matrix and is very useful for practical various applications.

[초탄성1-4 | 15:10] 초청강연

3D 프린팅용 Ti합금 구형분말 제조기술 개발 및 3D 프린팅 공정 적용 연구: 박지환*, 강민, 장지훈, 정원기((주)엠티아이지), 남태현, 임진환(경상대학교), 박상오, 정시영((주)디오)

Keywords: Ti-Zr계 초탄성합금, 수소화-탈수소화, 3D프린팅, 구형분말제조, RF 플라즈마 구형화

초탄성 변형거동을 가지는 Ti-Ni 형상기억합금은 치열교정 와이어 및 스테트 등의 의료용 재료로 사용되고 있으나, 알러지를 유발

하는 Ni가 포함되어 있어 Ni-free 초탄성 합금의 개발이 많이 이루어지고 있다. 최근 개발된 Ni-free 합금 중 Ti-Nb, Ti-Ta 및 Ti-Mo계 합금에서 초탄성 거동이 보고되었으나, 낮은 변형률과 슬립임계응력을 가지고 있어 Ti-Ni계 합금을 대체가 불가능하다. 이러한 점을 극복하기 위하여 7%급의 초탄성변형률을 가지며 생체적합성이 뛰어난 합금 소재로 Ti-Zr계 합금 소재가 높은 초탄성변형률 및 높은 기계적 특성을 보유하는 것을 확인하였다. Ti-Zr계 합금 구형 분말을 제조하기 위해서는 아크용해로를 활용하여 모합금을 제조하고, 수소화-분쇄-탈수소화 공정을 활용하여 구형화 공정의 원료분말을 제조 한 후, 30kw급 RF 플라즈마 구형화 장비를 활용하여 3D프린팅 공정에 활용할 수 있는 Ti-Zr계 초탄성합금 구형 분말을 제조하였다. 제조된 구형 분말을 SLM 방식의 3D프린팅 장비로 100~450 W의 출력 에너지와 600~1400 mm/s의 출력 속도를 공정변수로 3D 프린팅 소재를 출력하여 상대 밀도 및 설계 치수 오차 분석을 통한 최적의 적층 조건을 확인하였으며, 제조된 초탄성합금 소재의 공정변수에 따른 미세구조 분석과 기계적 특성의 상관관계를 분석하였다. 또한 GLP 세포독성 및 급성전신독성 평가를 통해 본 연구를 통해 제조된 소재의 생물학적 안정성을 평가하였고, 세포독성 및 시험 동물의 유의미한 증상이 나타나지 않음을 확인하였다.

[조탄성2-1 | 15:50] 조청강연

저 변형량에서 제조된 나노결정립 Ni-Ti 형상기억 합금의 초탄성 특성 향상: 박찬희*, 염종택, 홍재근(한국재료연구원), 남태현(경상대학교)

Keywords: 형상기억합금, 나노결정립, 초탄성, 미세조직, 가공열처리

Ni-Ti 형상기억합금의 결정립 미세화는 초탄성 강도 향상에 효과적인 사실이 알려져 있다. 대표적인 방법은 강소성 가공법으로 상온에서 강소성 가공법을 적용하면 Ni-Ti 형상기억합금의 비교적 낮은 성형성으로 인해 파단이 발생한다. 그러므로 약 300-500ºC 온도 범위에서 강소성 가공법을 적용하는데 이때 가공량 증가에 따른 결정립 미세화 효과와 고온 분위기에서 결정립 성장 효과가 상충하여 얻어지는 결정립 크기는 약 200-300 nm이다. 본 연구에서는 강소성 가공법을 적용하지 않고 비교적 저 변형량에서 약 20-50 nm 크기의 균일한 결정립을 갖는 Ni-Ti 형상기억합금 제조법을 개발하여 초탄성 강도를 25% 향상하는 데 성공했다. 이 현상과 관련하여 가공열처리 중 발생하는 미세조직 변화와 초탄성 특성의 상관관계를 설명하고자 한다.

[조탄성2-2 | 16:10] 조청강연

생체적합형 티타늄 패키지 및 세라믹 피드스루 접합·밀폐 기술 개발: 최미선*, 김종호(포항산업과학연구원)

Keywords: 티타늄 하우징, 세라믹 피드스루, 브레이징 접합, 생체적합성

본 연구는 장기 신뢰성이 요구되는 생체이식형 전자소자의 패키징 기술 확보를 목표로 수행되었다. 기존 실리콘 마감 방식의 한계(박테리아 발생, 장기 밀폐성 저하)를 극복하기 위해, 생체적합성이 우수한 티타늄 하우징과 세라믹 피드스루를 적용한 기밀형 패키지 구조를 제안하였다. 이를 위해 순티타늄 Gr.2 판재의 프레스 성형과 저온 레이저 용접 조건을 최적화하고, 알루미나·지르코니아 세라믹 피드스루를 가공하여 백금 전극을 형성하였다. 또한 Au 필러를 활용한 Ti-세라믹 브레이징 접합을 수행하였으며, Helium Leak Test를 통해 밀폐성을 평가하고 수명을 예측하였다. 마지막으로 동물실험을 통해 생체적합성을 검증하였다. 연구 결과, 티타늄 하우징은 안정적인 성형과 향상된 용접성을 확보하였고, 지르코니아는 고온 안정성과 전극 형성에서 우수성을 보였다. 브레이징 실험에서는 ZrO_2-Ti 계면이 양호한 접합 특성을 나타냈으며, Helium Leak Test 결과 에폭시 밀봉이 가장 안정적이었다. 동물실험에서 티타늄 하우징은 장기간 체온 변화 없이 안정적인 상태를 유지하였고, 멸균 처리 시 박테리아 증식이 억제됨을 확인하였다. 본 연구는 금속-세라믹 복합 패키징의 성형·접합·밀폐 기술을 통합적으로 제시함으로써, 차세대 생체이식형 전자소자의 장기 신뢰성 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[조탄성2-3 | 16:30] 조청강연

Ti-Zr based 형상기억합금의 특성 연구: 김경민*(세아창원특수강)

Keywords: 타이타늄, 생체재료, 형상기억합금, 저영률

스테인리스 스틸, 코발트-크롬 합금, 타이타늄 합금 등은 구조용 금속계 생체 재료로 널리 사용되며, 특히 타이타늄 합금은 우수한 기계적 특성과 생체 적합성, 비교적 낮은 탄성률로 주목받고 있다. 하지만 순수 타이타늄과 대표적 Ti-6Al-4V 합금의 탄성률은 약 110 GPa로, 뼈(10–30 GPa)와 큰 차이를 보여 응력 차폐 현상 및 골밀도 저하 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해, 뼈에 가까운 낮은 탄성률을 가지는 베타 타이타늄 합금들이 개발되었다. 대표적으로 Gum metal, Ti-Nb-Ta-Zr, Ti-Nb-Sn, Ti-Nb-Zr, Ti-Nb-Hf, Ti-Nb-Zr-Sn 등이 있으며, 이들의 탄성률은 베타상의 안정성에 크게 좌우된다. 일반적으로 베타상이 불안정해질수록 탄성률은 감소하나, 마르텐사이트 상 및 오메가 상이 형성되면 오히려 증가할 수 있다. 베타상 안정성을 평가하고 합금 조성을 최적화하기 위해 Mo당량, e/a, d-전자 설계 이론이 활용되며, 특히 e/a 값이 감소하면 베타상이 불안정해지고 탄성률도 감소하는 경향을 보인다. 본 연구에서는 새로운 저영률 및 고강도 생체 삽입용 금속재료 개발을 목적으로 Ti-Nb-(0-18)Zr과 Ti-Zr-Nb-Sn-(1–3)Mo (at%) 계 합금을 설계하였다. 잉곳은 아르곤 아크멜팅으로 제작하고, 1000ºC에서 2시간 용체화 처리 후, 98.5% 냉간압연 및 900ºC에서 5분 어닐링하였다. XRD, SEM/EBSD, TEM, DSC, 기계적 시험기를 통해 상구성, 미세조직, 기계적 특성을 분석하였다. Ti-Nb-Zr 합금에서 Nb 함량 감소에 따라 탄성률이 점차 낮아지다 최소점에서 다시 증가했으며, 이 최소점은 Zr 함량 증가 시 더 낮은 Nb 함량으로 이동했다. 특히, Ti-14Nb-18Zr 합금은 약 39 GPa로 매우 낮은 탄성률을 보였으나 항복응력이 낮아 이를 개선하고자 Ti-Zr-Nb-Sn-Mo 계 합금을 추가 설계하였다. Mo 함량에 따라 상구성과 기계적 특성이 달라졌으며, 1Mo에서는 α” 마르텐사이트 상이, 2–3Mo에서는 β 단상이 나타났다. 1Mo, 2Mo 합금은 형상기억합금처럼 2단 항복 거동을 보였고, 2.5Mo, 3.0Mo는 1단 항복 거동을 보였다. 이는 마르텐사이트 유기 응력과 슬립 거동 응력의 차이에 기인한다. 재결정 집합조직 또한 Mo 함량에 따라 변화하였다. 2.0Mo는 {001}<011> rotated cube, 2.5Mo는 {011}<001> Goss, 3.0Mo는 γ-fiber 집합조직을 보였다. 특히 2.5Mo 합금은 높은 베타상 안정성에도 불구하고 낮은 탄성률을 보여, 잘 발달된 <001> 집합조직이 탄성률 저하에 기여함을 확인하였다.

[조탄성2-4 | 16:50] 조청강연

레이저 기반 적층제조를 활용한 생체 타이타늄 합금 제조: 김정기*, 남태현, 오정석(경상국립대학교), 이태경(부산대학교)

Keywords: 타이타늄합금, 적층제조, 초탄성, 기계적 특성

Ni-free BCC 타이타늄 합금은 높은 강도와 초탄성을 가지면서도 낮은 탄성계수에 의한 응력 차폐현상을 완화할 수 있기에 생체 재료로 널리 활용될 수 있다. 특히, 본 합금의 경우 상대적으로 좋지 못한 가공성으로 인해 복잡한 형상의 부품 제조에 한계가 있으므로 적층제조 공정을 적용했을 때 얻을 수 있는 강점이 많다. 이에 해당 합금을 활용한 적층제조에 대한 연구들은 다수 이루어져왔으나, 적층제조 중 발생하는 빠른 용융-냉각 사이클로 인해 형성되는 비평형 미세조직이 기계적 특성과 초탄성에 미치는 영향은 잘 알려지지 않았다. 본 발표에서는 2020년부터 2023년까지 수행된 기초연구실지원사업 중 도출된 적층제조용 신합금 개발전략과 개발된 합금의 조형 후 미세조직-물성 상관관계에 대해 소개하고자 한다. 개발된 타이타늄 합금은 변형유기상변태 거동과 함께 적층제조 중 비평형 분위기에서 형성된 나노스케일의 ω 상의 분산으로 인해 높은 항복강도와 연신율을 동시에 확보할 수 있음을 확인하였다. 또한, 상기 비평형 미세조직과 적층제조 공정 중 혼입된 산소로 인해 일부 회복 변형률의 저하가 나타나기는 했지만, 3% 수준의 초탄성이 발생함을 밝혀내었다. 상기 성과는 기존 가공성이 좋지 않은 BCC 타이타늄 합금의 한계를 극복, 높은 생체적합성을 갖는 신합금의 국부적 미세조직 및 변형기구의 제어가 가능한 적층제조 조형 기술 구현이 가능함을 보여준데 큰 의미가 있다.

[조탄성2-5 | 17:10] 조청강연

항공 규격 만족 Ti-6Al-4V 합금 판재 제조 기술 개발: 이현석, 최미선(포항산업과학연구원)

Keywords: 타이타늄 합금, Ti-6Al-4V, 극후판, 항공 규격, 미세조직 제어

항공·우주용 구조재로 널리 사용되는 타이타늄 Ti-6Al-4V 합금은 높은 고온 비강도와 우수한 내식성을 바탕으로 항공기 동체, 착륙장치 및 엔진 구성품 등 다양한 부품에 적용되고 있다. 그러나 AMS(Aerospace Material Specifications) 항공 규격을 만족하는 두께 100 mm급 극후판은 국내에 제작 기반이 없어 전량 해외 수입에 의존해 왔다. 본 연구에서는 두께 100 mm급 항공 규격 만족 Ti-6Al-4V 합금 판재 제조 기술을 확립하기 위해 산학연 공동 연구를 수행하였다. 연구의 핵심 목표는 항공용 소재 인증을 획득한 Ti-6Al-4V 합금 잉곳을 기반으로, 극후판 제조 전 공정(단조→열간 압연→열처리→기계적 특성 평가)에서 항공 규격을 충족할 수 있는 미세조직 제어 및 공정 최적화 기술을 확보하는 것이다. 항공 인증 잉곳을 도입하여 대형 단조 공정을 거쳐 압연용 슬라브를 제작하였으며, 단조 후 급냉 공정을 통해 미세한 등축 조직을 형성하였다. 이후 철강용 대형 열간 압연 설비에 적용하기 위해 하중–두께 간 응력 분포 해석을 통해 압연 패스를 설계하고 실제 공정에 적용하였다. 항공·방산용 대형 열처리 설비를 활용하여 Mill Annealing(MA) 조건을 도출하고, 이를 통해 AMS4911 규격에서 요구하는 미세조직(등축 α 분율 확보, β 잔류상 균일 분포)과 기계적 특성을 만족하는 두께 100 mm Ti-6Al-4V 판재 시제품을 제조하였다. 제조된 판재의 두께 방향 미세조직을 EBSD(Electron Backscatter Diffraction)로 분석한 결과, 표면부는 높은 변형량으로 인해 동적 재결정이 활발히 발생하여 미세하고 균일한 등축 α 결정립이 형성된 반면, 중심부는 낮은 변형률과 완만한 냉각 속도로 인해 조대한 결정립과 불균일한 잔류 변형 구조가 일부 관찰되었다. 그러나 최종 열처리 이후 전체 두께에 걸쳐 AMS4911 규격에서 요구하는 결정립 크기와 상 분율을 만족하였다. 인장시험 결과 또한 항복강도, 인장강도, 연신율 모두 규격 범위 내에 존재하였으며, 특히 압연 방향(L)과 수직 방향(T)에서 각각 항복강도 827–896 MPa, 인장강도 889–907 MPa, 연신율 10–13% 수준의 균일한 기계적 특성이 확보되었다. 본 연구를 통해 국내 최초로 항공 규격을 만족하는 두께 100 mm Ti-6Al-4V 판재 제조 기술을 확보하였으며, 양산 시제품 제작과 함께 AMS4911 재질 인증을 획득하였다.

집합조직 및 미세조직 제어를 통한 기능성소재 설계기술 심포지엄
Room 2층 208, 10월 29일

[집합미세1-1 | 10:00] 초청강연

Discrete Dislocation Density-Based Modeling of Anisotropic Tensile Behavior in Aluminum Single Crystals: Choi Shi-Hoon*(Sunchon National University)

Keywords: Dislocation Density Formulation, Single Crystal, Work-Hardening, Recovery, Aluminum

A dislocation mechanics-based constitutive framework has been developed to predict the anisotropic tensile response of aluminum single crystals under uniaxial loading. Building upon the discrete dislocation density formulation that distinguishes between edge and screw dislocations with distinct mobilities and recovery mechanisms, the present study extends the model to capture orientation-dependent stress–strain behavior in single-phase Al. The constitutive framework is implemented within a finite-strain, rate-dependent formulation and calibrated using single-crystal tensile data. Numerical simulations were performed for three high-symmetry orientations, namely [100], [111], and [112], and the results were compared with available experimental measurements. The model successfully reproduces both the true stress–strain curves and the corresponding work-hardening rates, highlighting the role of dislocation character and slip-system interactions in governing anisotropic mechanical response. The predictive capability of this approach demonstrates its potential for exploring orientation-dependent plasticity in lightweight FCC metals such as aluminum, and provides a physically-based tool for linking dislocation substructures with macroscopic mechanical anisotropy.

[집합미세1-2 | 10:25] 초청강연

이차전지 및 반도체 패키지용 미세조직 제어 구리 전해도금 기술: 박현*, 신한균, 오은기, 김정한*(동아대학교)

Keywords: 구리, 전해도금, 이차전지, 반도체 패키지, 미세조직, 집합조직

구리 전해도금 기술은 이차전지의 음극 집전체, 반도체 및 반도체 패키지의 배선 등 국내 주력 전자제품의 핵심 구성요소의 제조 또는 형성에 사용되고 있으며, 이에 관련 산업은 고성능/고신뢰성 집전체 또는 배선의 구현을 위한 노력을 지속하고 있다. 본 연구에서는 구리 도금 용액에 포함되는 유기첨가제 조합의 적절한 적용을 통해 구리 도금층의 미세조직을 제어함으로써 제품이 요구하는 특성을 만족시키는 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위해, 먼저 정전류 하 전위 측정 (galvanostatic measurements) 방법을 이용하여 개개 유기첨가제의 첨가량에 따른 전기화학적 거동의 특성을 분석하였고, 이를 통해 구리 도금 용액에 포함되는 유기첨가제의 종류와 첨가량을 결정하였다. 정전류 측정법을 통해 결정된 유기첨가제 조합이 적용된 도금공정을 이용하여 두께 10 또는 6 μm의 이차전지 집전체용 동박을 제조하였고, 이들의 기계적 물성을 1축 인장시험을 통해 측정하였다. 또한, 각 유기첨가제 조건에 따른 반도체 패키지용 30 μm 급 비아 (via) 패턴에서의 구리 충진 거동을 기계적 연마 후 광학현미경 관찰 또는 집속이온빔 (focused ion beam or FIB) 가공 후 주사전자현미경 관찰을 실시하였다. 동박 또는 비아 도금층의 미세조직은 전자후방산란 (electron backscatter diffraction or EBSD) 현상을 이용한 결정방위 매핑 (crystallographic orientation mapping) 기술을 이용하여 측정하였다. 측정된 결정방위 지도로부터 동박 또는 비아 패턴 상 구리 도금층을 구성하는 결정립들의 크기와 형상, 집합조직, 그리고, 결정립계 특성을 추출하였고, 이들과 동박의 기계적 물성 또는 비아 내 구리 충진 거동 간의 관계를 조사하였다. 그 결과, 동박의 기계적 물성, 특히 연신율이 두께와 결정립의 크기/형상이 동시에 고려된 미세조직학적 특성에 의해 결정되며, 비아 내 구리 충진 거동이 도금 메커니즘에 의해 결정되는 결정립의 크기와 밀접하게 연관되어 있음을 확인하였다.

[집합미세1-3 | 10:50] 초청강연

마그네슘 합금의 변형기구 구동에 미치는 Al, Zn의 영향: 이상봉*(금오공과대학교), 김영민(한국재료연구원), Gaoming Zhu(Institute of Materials and Process, Helmholtz-Zentrum Hereon), Ulrich Lienert(Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)), Dietmar Letzig(Institute of Materials and Process, Helmholtz-Zentrum Hereon)

Keywords: 마그네슘 합금, 실시간 회절, 3DXRD, 전위, 변형거동

마그네슘합금의성능최적화를 위해선 합금조성에 따른 변형기구의 변화에 대한 이해 및 이를 바탕으로 한 미세조직공정변수필수적임. 특정 합금원소를 첨가함으로써 발생하는 집합조직 약화와기저면이 판재면에 대해서 심하게 기울어지도록 결정립 방위를 조절함으로써 상온 성형성의 극대화를 이루는 방법이 널리 이용되고 있음. 이러한 집합조직의정량-정성적변화는 Ca 또는 희토류금속을 Zn와 함께 합금원소로 첨가함으로써 얻어지지만, Zn대신 Al을 첨가하는 경우 집합조직 약화로 인한 성형성 향상효과는 사라짐. 이는 Ca 및 희토류원소가 Al원소와 높은 친화성을 가짐으로써 고용원소로 존재하는 양이 감소하는 것과 더불어, Zn를 Al로 대체함으로써 변형시 구동되는 주변형기구의 변화에 따른 것으로 알려져 있음. 본 연구에서는 마그네슘 합금내 Al과 Zn용질원소에 따른 변형기구 변화에 대하여 실시간 회절실험을 이용하여 연구하였음. 평균결정립도 100μm로 미세조직을 조절한 Mg-1Al (wt.%), Mg-1Zn, Mg-1Al-1Zn 합금판재에 변형을 가하며 고에너지 X-선을 이용해 실시간3D-XRD 실험을 수행하고, basal <a>와 prismatic <a>전위슬립 구동에 대한 정량적 분석을 통하여 전위슬립에 미치는 용질원소의 영향을 평가하였음. Zn첨가는 prismatic <a>전위구동을 크게 증가시키며 이는 임계분해전단응력의 감소로 인한 것임을 알 수 있고, Al첨가는 고용강화를 유발함을 확인하였음. Zn와 Al을 동시에 첨가한 ZA11합금의 경우 가장 높은 prismatic <a>슬립의 구동을 보이며, prismatic <a>과 basal <a>슬립에 대한 분해전단응력의 비 (RSS_{prism}/RSS_{basal})도 본 연구에서 이용한 3가지 합금 중 가장 작은 값을 나타냄. 즉, ZA11합금은 non-basal전위슬립의 구동도가 높

은 상대적으로 균질적인 변형거동을 가짐을 알 수 있음. 결정립 회전(grain rotation) 분석결과 ZA11합금의 경우 비기저면 전위의 높은 구동으로 인해 응력집중이 감소하는 경향을 보임.본 연구결과는 합금원소에 따른 전위활성화도의 변화을 나타내며, 이를 통하여 Mg합금의 연성과 기계적 특성 향상을 위한 합금설계 방향을 제시함. 본 연구는 신소재 연구소(NRF-2018R1A6A1A03025761) 및 방산혁신클러스터사업(202500260001)의 지원을 받아 수행되었음.

[집합미세1-4 | 11:15] 초청강연

차세대 금속 복합재 제조공정을 활용한 경량·다기능성 Mg–Ti 복합재 개발: 박성혁*(경북대학교), 장지은(한국생산기술연구원), 박보현, 윤현준, 조수린(경북대학교), 주수현(단국대학교)

Keywords: Mg–Ti 복합재, 금속 용탕 탈합금, 3차원 연속연결구조, 합금설계, 공정제어

Mg–Ti 복합재는 경량, 고강도, 내식성 및 생체적합성을 동시에 갖춘 차세대 구조 및 생체 재료로 주목받고 있다. 특히 Mg와 Ti 두 금속상이 서로 복잡하게 얽힌 3차원 연속 구조를 형성하면, 기존 복합재보다 우수한 하중 전달 효율과 기계적 안정성, 낮은 탄성계수를 구현할 수 있다. 이러한 구조는 기존 제조공정으로 구현이 어렵지만, 금속 용탕 탈합금(Liquid Metal Dealloying, LMD) 공정은 전구체 합금을 특정 금속 용탕에 침지해 선택적으로 원소를 용출시키고, 형성된 공간에 용탕이 침투하도록 함으로써 연속성을 갖는 'Matrix + Matrix' 2상 구조를 구현할 수 있다. 본 발표에서는 LMD 공정을 이용해 3차원 연속연결구조의 Mg–Ti 복합재를 구현하고, 전구체·용탕 조성, 용탕 온도, LMD 시간 변화에 따른 탈합금 거동, 미세조직 및 기계적 특성을 분석한 결과를 소개한다. 또한 추가적인 물성 향상을 위해 후속 합금화 방법을 접목한 2-step LMD 공정을 개발하여 강도와 파손 저항성을 동시에 향상시키는 방안을 제시하고, 현재 기초 연구 단계인 LMD 기반 Mg–Ti 복합재 제조기술의 기반을 마련하고 향후 다양한 응용 분야로 확장 가능한 발전 방향을 제안하고자 한다.

[집합미세1-5 | 11:40] 초청강연

Surface Engineered HDH Ti Powders and In Situ Alloying Strategies for L-PBF Process: 이빈*, 김욱주, 김세훈, 강태후, 이종익, 정상희, 한지(경희대학교 신소재공학과)

Keywords: Titanium alloys, powder bed fusion

Hydrophobic surface treatment of cost effective hydrogenation–dehydrogenation (HDH) Ti and Ti 6Al 4V powders with nano SiO_2 dramatically boosts flowability, enabling homogeneous recoating in powder bed fusion (PBF) while retaining a material cost about one half that of fully spherical powders. Optimized PBF parameters (volumetric energy density 55–167 J mm^{-3}) deliver components with >99 % relative density and a refined α′ martensitic microstructure, and post build heat treatment produces fully recrystallized grains. SiO_2 and Y_2O_3 oxide dispersion strengthened (ODS) Ti 6Al 4V exhibits grain size reduction from 3.86 μm to 2.98 μm and concomitant gains in hardness and tensile strength, demonstrating the dual role of surface modifiers as rheology enhancers and in situ reinforcements. Building on this powder platform, in situ alloying during PBF is shown for Ti 3 wt % Fe and Ti 40 wt % Nb systems. X ray diffraction confirms β stabilization in the Fe alloy (hardness ≈ 316 HV) and Nb induced cellular Ti rich/Nb rich microsegregation, validating dry mix routes that circumvent expensive gas atomization

[집합미세2-1 | 14:00] 초청강연

결정립계 침전물을 용융한 용융염 내부식성 구조재료 설계: 김상태*(한양대학교)

Keywords: Ni alloys, molten salt corrosion, Laser powder bed fusion, grain boundary engineering

Grain boundary strengthening with Mo-rich boride precipitates is shown to markedly improve the resistance of Ni-based alloys to intergranular attack in molten chlorides. Metal-matrix composites of Inconel 625 containing 2wt% TiB_2 or ZrB_2 were fabricated by laser powder-bed fusion and exposed for 300 h to NaCl–KCl–$MgCl_2$ at 800°C. The unmodified alloys exhibited maximum chromium-depletion depths of 71.3 μm, whereas TiB_2- and ZrB_2-reinforced alloys showed the depths notably reduced to 12.5 μm and 47.9 μm, respectively. SEM/EDS analyses combined with CALPHAD calculations confirmed the formation of Mo-rich boride precipitates along grain boundaries in the boride-modified materials. Pourbaix-diagram calculations indicate that these borides are thermodynamically stable in molten chlorides, thereby shielding grain boundaries from corrosion. The superior performance of the TiB_2 composite is attributed to the increased mole fraction of the protective borides. These findings provide a practical design strategy for Ni-based alloys with enhanced resistance to intergranular molten-salt corrosion.

[집합미세2-2 | 14:25] 초청강연

Electric Current as a Microstructural Pathway Designer in Multi-Phase Alloys: Jeong Kyeongjae*(Sungkyunkwan University), Lee Siwhan, Kim Yijae, Han Heung Nam*(Seoul National University)

Keywords: Electric current, Athermal effect, Precipitation kinetics, Core-shell structure, Phase transformation

Electric current treatment (ECT) has emerged as a promising approach to manipulate microstructural evolution through athermal effects, often surpassing conventional heat treatment (CHT) in efficiency. However, the complex interplay among multiple phase transformations under ECT remains largely unexplored. In this study, we investigated a cast Ni–Fe–Cr–Nb–C alloy undergoing concurrent transformations, including $Cr_7C_3 \rightarrow Cr_{23}C_6$, NbC→Ni–Nb silicide, and secondary precipitation of $Cr_{23}C_6$. Remarkably, ECT was found to accelerate carbide transformations while simultaneously retarding silicide formation, revealing a contrasting kinetic

response not observed under CHT. This paradoxical behavior is attributed to the formation of NbC/$Cr_{23}C_6$ core–shell structures, which act as diffusion and electrical barriers. Advanced microscopy and finite element modeling confirmed that these shells restrict solute transport and current flow, thereby suppressing silicide formation while enhancing carbide precipitation. The resulting microstructural pathway arises from defect-mediated local kinetics enhancements unique to ECT, in contrast to the globally uniform effects of CHT. Mechanical testing further demonstrated that this tailored microstructure improves both strength and ductility, highlighting the potential of ECT as a microstructure design strategy. Rather than simply accelerating thermal processes, ECT enables selective control of competing phase transformations, opening new opportunities for developing high-performance alloys.

[집합미세2-3 | 14:50] 조청강연

금속 내 수소화물 형성 과정에서 모상 미세구조 및 결정방위의 영향 연구: 김진우*(한국과학기술연구원), 전초록(한국과학기술연구원,서울대학교), 강재동(한국과학기술연구원), 황인우(한국과학기술연구원,서울과학기술대학교), 김태엽(한국과학기술연구원,서울대학교), 박은수(서울대학교), 정원석, 허태욱(로렌스리버모어국립연구소)

Keywords: 수소화물, 타이타늄, 바나듐, EBSD, 결정립계

금속 내 수소화물 형성은 고강도 타이타늄 합금에서는 수소취성 파괴의 주원인이 되는 반면, 수소저장합금과 금속수소분리막 등에서는 소재 작동의 핵심 기작으로 활용된다. 이상적인 등방성 결정립 내에서 금속수소화물의 형성 메커니즘은 결정방위 관계와 부분전위 이동 거동을 기반으로 잘 규명되어 있다. 그러나 특정 유형의 결정립계나 고밀도 전위벽 등의 결정결함이 존재할 경우, 형성되는 수소화물의 형태와 분포가 현저히 달라진다. 본 발표에서는 순수 타이타늄, 구조용 타이타늄 합금, 그리고 금속수소분리막용 바나듐 합금 등 다양한 수소화물 형성 합금계에서 결정결함이 수소화물 형성 거동에 미치는 영향을 SEM-EBSD 기법으로 분석한 최신 연구 결과를 소개하고자 한다. 특히 실시간 수소 충전 EBSD와 통계적 결정립계 EBSD 분석 등의 독자적인 분석 기법을 활용하여, 모상의 미세구조 및 결정방위에 따른 수소화물 형성 거동의 변화를 체계적으로 규명한 연구 성과를 발표하고자 한다.

집합조직
Room 2층 208, 10월 29일

[집합1-1 | 15:30]
Toward Universal Microstructure Segmentation: A Hybrid Framework for Robust, Cross-Material Phase Identification: Khushahal Thool, Preetham Alluri, Seo Wi-Geol, Shi-Hoon Choi*(Sunchon National University)
Keywords: Microstructure segmentation, Domain adaptation, Deep Learning, Self-supervised learning, Materials informatics

Reliable segmentation of microstructural phases is a central step in quantifying processing–structure–property relationships. While encoder–decoder networks such as U-Net achieve strong performance within a single alloy system, their generalization rapidly diminishes when confronted with images from different materials or imaging modalities. This work advances beyond alloy-specific segmentation by introducing a universal framework capable of robust performance across diverse metallic and ceramic systems. The approach integrates three key components. First, an unsupervised region discovery step automatically identifies homogeneous microstructural domains, reducing dependence on dense manual annotation. Second, uncertainty-aware supervised labeling assigns phase identities with calibrated confidence and selectively incorporates expert input only for ambiguous regions, thereby minimizing labelling effort. Third, a domain-robust segmentation network, pretrained in a self-supervised manner and equipped with multi-scale contextual encoding, group normalization, and style-randomized augmentation, learns morphology-oriented features rather than modality-specific cues. A unified ontology of matrix, intermetallic, precipitate, pore, and boundary classes allow consistent training across multiple datasets. The framework is evaluated on micrographs from Zn, Al, Mg, and steel alloys as well as representative ceramic systems. Results show that the proposed method achieves sustained improvements in IoU, F1, and average precision compared with transfer-learning and single-domain baselines, without the need for per-material retraining. The findings highlight that iterative hybrid labeling, domain adaptation, and morphology-aware representation learning are essential to creating broadly applicable segmentation models. This work provides a path toward scalable, automated microstructure analysis that can accelerate materials design and characterization across a wide range of systems.

[집합1-2 | 15:45]
결정소성 유한요소법과 EBSD를 이용한 상업적 순수 타이타늄 판재의 이방성 및 항복점 현상에 대한 분석: 김경표(부산대학교), 강주희((주)웨이브센스), 오창석(한국재료연구원), 김지훈*(부산대학교)
Keywords: 타이타늄, EBSD, 결정소성유한요소법, YPP

순수 타이타늄 Grade 4 박판에서의 이방성 변형 거동과 항복점 현상을 이해하기 위해 실험과 전위 밀도 기반 결정소성 유한요소법 (CPFEM) 모델링을 수행하였다. 여러 방향에서 수행된 인장 및 압축 시험 결과, 평면 내 이방성과 인장-압축 비대칭성이 확인되었으며, TD 방향 인장에서 항복점 현상이 관찰되었다. 여러 방향의 인장 및 압축 거동으로 보정된 CPFEM 모델과 In-situ EBSD 및 슬립 트레이스 분석을 통해 활성화된 변형기구를 분석한 결과, 약 70도의 TD split basal 집합조직이 소재의 이방성과 경화 거동의 주된 원인인 것으로 나타났다. 또한 항복점 현상은 초기 인장 방향의 발생에 따라 쌍정 내부와 외부에서의 슬립 활성화가 일시적인 연화와 재경화를 유발함으로써 나타날 수 있는 것으로 확인되었다. CPFEM을 사용한 응력작 해석에서 쌍정이 실제 형성된 부피보다 훨씬 넓은 영역의 응력 상태를 변화시켜 Schmid 인자 기반 예측과는 상이한 복잡한 응력 분포를 야기함을 보여주었다. 임계 분해 전단 응력 비율에 대한 매개변수 연구를 통해 항복점 현상이 발생할 수 있는 조건을 분석하였다.

[집합1-3 | 16:00]
Machine Learning–Integrated CPFEM for Predicting Deformation and Texture: Murugesan MohanrajHwanho Kim, Hwanho Kim, Hyo Sun Jang, Geon Young Lee, Jae Hyung Cho*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))
Keywords: Crystal Plasticity Finite Element Method (CPFEM), Machine Learning, Texture and Microstructure Evolution

This study establishes an extended multi-level crystal plasticity finite element method (CPFEM) framework integrated with machine learning models to predict the deformation response, and texture evolution in A1050 Al sheets under quasi-static and dynamic conditions. The initial microstructure and crystallographic texture, obtained through electron backscattered diffraction (EBSD), are used as input for CPFEM simulations. Two CPFEM models with different microstructure information are constructed to examine the effect of microstructure on the mechanical response. Uniaxial tensile and compressive loadings along three orthogonal directions are applied to capture strain rate sensitivity and texture development. Three augmentation methods are applied to prepare CPFEM datasets for training machine learning models. Artificial neural networks (ANN), random forest (RF), and XGBoost algorithms are employed to predict texture evolution and mechanical behavior. The performance of the models is assessed through systematic comparison with CPFEM predictions. The analysis shows that the machine learning models are capable of reproducing key features of stress and texture evolution, with ANN demonstrating the highest consistency with CPFEM. The combined CPFEM–machine learning framework provides a physics-based yet computationally efficient approach for predicting microstructure-dependent deformation

[집합1-4 | 16:15]

Fabrication and Negative Photoresponsive Properties of WO_3/WS_2 Core/Shell Heterostructures: Song Yu-Jin, Jung Han Kim*(Dong-A University)

Keywords: WO_3/WS_2 Core/Shell Nanowire, Heterostructure, Chemical Vapor Deposition, Negative Photoresponse, Photodetector

This study details the fabrication of WO_3/WS_2 core/shell nanowire heterostructures using a sequential process that combines wet chemical etching with chemical vapor deposition (CVD). The synthesis commenced with the preparation of hexagonal WO_3 nanowire cores, which were formed via chemical etching in a KOH solution and a subsequent thermal oxidation step at 650 °C. Following this, a sulfurization reaction at 900 °C was employed to conformally grow an atomically aligned, two-dimensional WS_2 shell onto the surface of the WO_3 cores. The as-synthesized nanowires possess diameters ranging from 90 to 370 nm. A comprehensive suite of analytical techniques, including scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction (XRD), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and Raman spectroscopy, was utilized to investigate their morphological, crystallographic, and chemical characteristics. These analyses confirmed the formation of a well-defined, high-quality heterointerface between the crystalline WO_3 core and the layered WS_2 shell. Notably, the WO_3/WS_2 heterostructured nanowires exhibited a pronounced negative photoresponse upon illumination with 405 nm light source. This phenomenon is attributed to the unique charge carrier transport dynamics governed by the core/shell architecture, highlighting the critical importance of precise interface engineering. These findings suggest that the synthesized nanowires hold significant promise for the development of next-generation photodetectors and advanced optoelectronic devices.

[집합1-5 | 16:30]

Siliconizing Process Optimization for Mitigating Molten Chloride Corrosion in SS316L: Kim Minho, Ham Seongwon, Kim Sangtae*(한양대학교)

Keywords: Pack cementation, Silicide coating, Corrosion, Molten salts, Stainless steels

Impurities in molten salts destabilize oxide passivation films and corrode structural materials, resulting in degradation of long-term mechanical stability, reliability, and safety. Especially, chromium-containing alloys (e.g., stainless steel) are susceptible to molten salt corrosion, as chromium preferentially dissolves rather than forming a stable passivation layer observed in aqueous systems. To mitigate corrosion and chromium leaching from stainless steel, various coatings and surface treatments, including boriding, have been demonstrated. While boron serves as an effective corrosion-resistant coating, its high neutron absorption cross section precludes its application in nuclear reactors with the thermal neutron spectrum, calling for the development of new coating materials and processes. We chose surface siliciding on 316L stainless steel (SS316L) via pack cementation as a new candidate for improving corrosion resistance against molten chlorides while also having a low neutron cross section for reactor operation. In this talk, we test and examine various pack cementation processes to manufacture a silicide coating layer on SS316L specimens for chemically and mechanically durable corrosion-resistant surface treatments. We have adjusted the composition of the pack powder, heating temperature, and time for the pack cementation process. The tested composition of the pack powder lied within the range of 8–50 wt.% Si as the Si source, 0.3–5 wt.% activator (NH4Cl or NaF) to drive Si transport, and the balance of SiO2 as filler to stabilize the mixture. Reaction temperature and duration varied from 700 to 1100 °C and 1 to 12 h to map how processing influenced layer formation and attributes, respectively. We first examined the surface and cross-section of coated SS316L to identify crystalline phases of silicide layer by X-ray diffraction (XRD) and confirmed coating hardness and mechanical properties by nanoindentation. Also, the surface morphology, cross-sectional microstructures and elemental distribution of coating–substrate interface were examined through scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The manufactured silicide coatings show that the silicon concentration decreased uniformly from the surface toward the substrate interior. Nanoindentation results demonstrate almost all of silicide layers are mechanically softer than the SS316L substrate, indicating that the coatings can effectively accommodate mechanical stresses and thermal expansion mismatches, thereby reducing the risk of cracking and delamination during service. The primary material of silicide coating on the surface is FeSi phase, which provides sufficient corrosion resistance and is the best formed under 800 °C, 12 hours heating conditions when silicon content is above 30 wt.% and 1 wt.% of NaF activator. The corrosion test results from molten chloride melts will also be discussed.

[집합2-1 | 16:55]

Reverse 알고리즘 기반 응력-변형률 곡선을 활용한 DP980 압연 해석 및 인공지능 기반 변형거동 예측: 서위걸, 쿠살 툴, 최시훈*(국립순천대학교)

Keywords: DP980, 나노압입시험, 미세조직, 압연, Rerverse 알고리즘

DP980은 페라이트와 마르텐사이트로 이루어진 2상 강으로 각 상의 물성을 측정하기에는 쉽지 않다. 본 연구에서는 미세조직 기반한 DP980의 압연 거동 해석을 수행하였다. 각 상을 나노압입 시험으로 최대 하중 10mN에서 20s 동안 측정하였고, 측정된 결과를 Reverse알고리즘을 활용하여 응력-변형률 곡선으로 변환하였다. 변환된 상별 응력-변형률 곡선을 압연 공정 해석에 적용하여 DP980의 변형 거동을 예측하는데 사용하였다. 또한, 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 통해 확보한 미세조직을 반영하여 유한요소해석에 사용하였으며, 나아가 인공지능을 활용하여 미세조직 이미지를 입력하면 압연 해석 결과가 자동으로 산출되는 프레임워크를 구축하였다. 따라서 본 연구는 나노스케일 특성과 미시적 공정 해석을 예측하고, 미세조직과 물성 간 상관관계를 도출하고자 한다.

[집합2-2 | 17:10]

SLM 적층제조 17-4PH 소재의 LASER Scan speed에 따른 수소 취화 거동 분석: 김대현(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 한성희, 김보규, 강민성(국립강릉원주대학교), 최인석(서울대학교), 신중호*(국립강릉원주대학교)

Keywords: 17-4PH Stainless steel, Hydrogen embrittlement, Selective Laser Melting, Mechanical Property Control

Selective Laser Melting(SLM)으로 제조된 17-4PH 스테인리스강은 전통 공정 대비 오스테나이트 분율이 25% 이상으로 높다. 본 연구에서는 스캔 속도 300-1400 mm/s 범위에서 미세조직을 조절하여 오스테나이트 입자 크기(1.5-2.9 μm)와 상 분율을 변화시켜 항복강도 416-635 MPa, 인장강도 881-958 MPa, 연신율 8.1-22.5%로 제어됨을 확인하였다. 대표 두 조건의 시편에 대해 전기화학적 수소 충전을 실시하고, 충전 직후 인장시험과 나노압입을 통해 수소의 영향을 평가하였다. EBSD 분석으로 오스테나이트와 BCC/BCT 영역을 구분하고, 동일 영역에서 국부 경도와 탄성계수를 측정하였다. 두 조건은 결정방위와 KAM이 유사했음에도 오스테나이트 경도에서 10% 차이를 보였으며, 이는 침입형 원소, 미세 석출, 잔류응력 등 추가 요인이 국부 거동과 수소 민감도에 기여할 가능성을 시사한다. 본 연구는 적층제조 17-4PH 스테인리스강에서 미세조직–수소 상호작용이 인장 특성에 미치는 영향을 규명하고, 강도·연성·수소 저항성의 균형을 위한 공정 설계 방향을 제시하고자 한다.

[집합2-3 | 17:25]

Integrating Crystallographic Texture into Monte Carlo Simulations of Additively Manufactured Microstructure: ROHIT RAJ, Shi-Hoon Choi*(Sunchon National University)

Keywords: Additive Manufacturing, DED, Texture, SPPARKS, Monte-Carlo

In additive manufacturing (AM), powder-based processes have withdrawn significant attention due to their design flexibility, rapid prototyping and enhanced mechanical characteristics in the last decade. At the forefront of innovation, AM technology is quickly becoming a key component of several high-tech industries, including advanced equipment manufacturing, biomedicals, and aerospace. Among various powder-based processes, differentiation is determined based on the feeding method of powder and their energy absorbing characteristics. Components fabricated through additive manufacturing demonstrate intricate microstructural features, including non-uniform crystallographic textures and diverse grain morphologies that evolve in response to local processing variables. Simulations, monitoring, and process control of AM are increasingly being pursued as research and development areas to facilitate a more efficient manufacturing approach. Generally, AM is involved with rapid and directional solidification. Typically, the solidification velocity decreases from LPBF to EPBF to DED. Grain size in DED is quite larger than LPBF or EPBF. The high cost of experimental microstructural characterization makes computational modeling an attractive alternative for predictive analysis. Thus understanding, predicting, and controlling microstructural heterogeneity in additive manufacturing necessitates the development of advanced computational frameworks capable of high-fidelity microstructure prediction. Building upon the kinetic Monte Carlo framework provided by SPPARKS (Stochastic Parallel PARticle Kinetic Simulator) from Sandia National Laboratories, a user routine has been developed as specialized algorithm for mesoscale grain structure prediction in the vicinity of dynamic heat sources. While existing Monte Carlo (MC) Potts models have demonstrated success in modeling grain formation during additive manufacturing, they lack the capability to capture crystallographic texture evolution. We introduce an enhanced Potts model implementation that incorporates explicit grain orientation assignment and implements a texture-dependent growth mechanism based on the misorientation between the nearest <100> crystallographic direction and the local thermal gradient vector. This modification allows for more realistic simulations of texture evolution during solidification. Furthermore, our approach successfully captures microstructural features under both single-pass and multi-pass scanning strategies, including serpentine and straight scan paths. Experimental validation against directed energy deposition (DED) specimens demonstrates excellent agreement between predicted and observed microstructural evolution, including accurate texture reproduction in Monte Carlo simulations.

[집합2-4 | 17:40]

Effects of annealing parameters on texture development in a high-Si steel: kim jimin(UNIST), yoo seonghyeon, ahn yongkeun, kang chun ku(Hyundai steel), lee sukbin*(UNIST)

Keywords: steel, annealing conditions, texture, recrystallization, grain growth, EBSD

High-Si steels are widely used in electromagnetic devices due to their excellent soft magnetic properties. These properties are influenced not only by the silicon content but also by the microstructural characteristics developed during the thermomechanical processing. It is well known that a strong <100>//ND (cube) texture is crucial for enhancing magnetic performance in High-Si steels. However, hot/cold rolling processes tend to develop dominant γ-fiber ((111)//ND) and α-fiber ((110)//RD) textures, both of which are detrimental to magnetic properties. Unfortunately, enhancing the cube texture from heavily rolled microstructures during the annealing process remains a significant challenge up to date. To achieve such a goal, many studies have focused on optimizing alloy compositions, casting methods, and/or rolling directions. Although these methods can promote cube texture formation, their feasibility for industrial applications remains limited. In this study, we examine the effects of heating rate and annealing temperature on recrystallization behavior and texture development in High-Si steel. The EBSD measurements and analysis show the key microstructural factors and mechanisms that suppress γ-fiber and promote cube texture.

고엔트로피합금
Room 2층 209/10, 10월 29일

[고엔1-1 | 09:00]
고엔트로피합금의 고속 변형 조건에서의 동적 거동 분석: 이소영, 김현수, 김윤호, 박은수*(서울대학교)
Keywords: 고엔트로피합금, 고속 변형, 변형 메커니즘
고엔트로피합금(High-Entropy Alloys, HEAs)은 우수한 기계적 특성과 높은 열적 안정성으로 인해 극한 환경에서의 구조재료로 주목받고 있다. 이러한 고엔트로피합금의 기계적 특성과 변형 거동에 대한 기존 연구는 본질적인 재료의 강도, 연성 및 인장 특성을 파악하는데에 집중하기 위해 주로 낮은 변형률(저속) 조건에서 이루어져왔다. 그러나 최근에는 고속 충격 및 탄도 충돌과 같은 극한 환경에서의 실제 응용 가능성을 함께 고려하여 재료의 거동을 이해하는 것이 중요해지면서, 높은 변형률(고속 변형률) 환경에서의 변형률 민감도, 미세구조 변화, 파괴 메커니즘 등의 핵심 특성을 규명하려는 연구가 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) 실험 및 ballistic 실험을 통해 다양한 변형 속도 조건에서의 변형 거동을 확보하였다. 특히 미세구조 분석을 통해 쌍정 형성, 마르텐사이트 상변태 및 전위 집적과 같은 변형 메커니즘을 규명하였다. 본 연구 결과는 기존 준정적 변형 조건 대비 고속 하중에서 나타나는 미세구조적 변화를 제시함으로써 고엔트로피합금의 차세대 방호?구조 소재 설계에 필요한 기초 데이터가 될 것으로 기대된다.

[고엔1-2 | 09:15]
나노 쌍정 엔지니어링 전략을 통한 고엔트로피합금의 우수한 기계적 물성-수소 취성 저항성 획득: 최주미, 김래언, 구본우, 이호형, 이시우, 이도원, Renhao Wu(포항공과대학교) ,문종언(공주대학교), 서동우, 김형섭*(포항공과대학교)
Keywords: 고엔트로피합금, 나노 쌍정, 수소 취성, 이종 구조
구조 재료는 산업에서 우수한 기계적 물성-서비스 환경에서의 높은 안정성을 필요로 한다. 하지만, 고강도 재료는 일반적으로 수소 환경에서 높은 취성을 가진다. 따라서, 본 연구에서는 나노쌍정 기반의 미세조직 제어 전략을 통해 고강도와 수소취성 저항성을 동시에 달성하고자 하였다. 연구 대상은 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금이며, 재결정화한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금에 대해, 77 K의 극저온에서 30 %의 사전 변형을 부여하여 나노 쌍정을 형성하였다. 이어서 773 K에서의 소둔을 통해 고밀도 전위를 감소시키는 동시에, 형성된 나노쌍정 구조를 유지하였다. 형성된 나노쌍정은 항복강도와 인장강도를 향상시킨다. 한편, 수소취성 저항성 평가 결과, 구배적으로 분포된 나노 쌍정은 낮은 계면 에너지와 높은 정합성으로 의해 수소 확산 경로를 효과적으로 차단하며, 균열 개시와 전파를 억제하는 것으로 확인되었다. 실험 결과, 나노쌍정 제어 시편은 항복강도가 약 2.524배 향상되었고, 동시에 우수한 수소취성 저항성을 나타냈다. 특히 사전 변형과 소둔 처리를 통해 유지된 나노쌍정 구조는 수소 환경에서도 강도와 연성의 균형 유지를 가능하게 하였으며, 수소로 인한 열화를 억제하는 데 핵심적인 역할을 하였다. 결론적으로, 본 연구에서 제안한 미세조직 제어 전략은 고엔트로피 합금의 수소취성 문제를 효과적으로 개선할 수 있는 실질적이며 유망한 접근법으로, 수소 환경에서 우수한 기계적 성능이 요구되는 차세대 구조용 합금 설계에 중요한 기술적 방향성을 제공한다.

[고엔1-3 | 09:30]
Enhancing Cryogenic Fatigue Resistance through Cr Addition in Fe-Co-V-Based BCC Alloys: Shin Seonho(Kookmin University), Haeum Park(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Kisub Cho(Kookmin University), Seoksu Sohn(Korea University), Hyokyung Sung*(Kookmin University)
Keywords: High-Entropy alloys (HEAs), Body-centered cubic (BCC), Fatigue crack growth, Damage tolerance, Cryogenic applications
Damage tolerance, the balance between strength and toughness, is a crucial requirement for structural materials, particularly under cryogenic conditions where defects and cyclic loading are inevitable. Designing alloys that simultaneously achieve high strength and fracture resistance remains a key challenge. High-entropy alloys (HEAs) have recently attracted attention for their superior mechanical properties and microstructural stability. While FCC-type HEAs such as CrMnFeCoNi exhibit excellent fatigue resistance at low temperatures, BCC-type alloys remain less explored despite their high strength potential. In this study, we investigated the fatigue crack growth behavior of $Fe_{50}Co_{40}V_{10}$ and $Fe_{50}Co_{40}V_5Cr_5$ (at.%) alloys, fabricated by vacuum induction melting under Ar atmosphere. Microstructural analysis and fracture mechanics tests were performed to evaluate their damage tolerance. The results show that the addition of Cr enhances fatigue resistance by promoting crack path deviation and grain boundary interactions, compared to the Cr-free alloy. These findings highlight the potential of Fe-Co-V-based BCC HEAs as candidates for cryogenic structural applications, offering a design pathway to achieve a favorable balance between strength and toughness.

[고엔1-4 | 09:45]
고용강화 효과를 활용한 합금 설계: 정주리, 석진우, 김종태, 이미혜, 한슬기, 한준희, 강이승*(한국생산기술연구원)
Keywords: 고엔트로피합금, 기계적특성, 미세구조, 고온소재
고엔트로피 합금(HEA)은 높은 혼합 엔트로피로 단일상 형성을 유도하여 우수한 구조적 안정성과 기계적 성능을 확보할 수 있어 차세대 내열 소재로 주목받고 있다. 특히 BCC 구조의 TiNbZrHfTa 합금은 탁월한 고온 강도와 열적 안정성을 나타내어 항공우주

및 고온 구조재 분야에서 활용 가능성이 크다. 반면, 현재 항공 산업에서 널리 사용되는 Ti-17 합금은 α+β 구조의 티타늄 합금으로 고온 강도를 지니지만, 장시간 고온 노출 시 미세조직 변화로 인한 강도 저하와 크리프 저항성 감소가 발생한다. 또한 낮은 가공성 역시 실용적 한계로 작용한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 Ti-17에 HEA 설계 개념을 적용하여 고용 강화 효과를 극대화하여 강화된 합금을 설계하였다. 설계된 합금의 미세조직과 상은 SEM 및 XRD로 분석하고, 기계적 특성 평가를 통해 강도와 연성을 검증하였다. 설계된 합금은 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절(XRD)을 통해 미세조직과 상 구조를 분석하였으며, 기계적 특성 평가를 통해 고온 강도와 연성의 확보 여부를 검증하였다. 본 연구 결과는 고온 환경에서도 우수한 성능과 안정성을 유지할 수 있는 새로운 Ti 기반 내열 합금의 개발 가능성을 제시하며, 항공우주 및 차세대 고온 구조재 응용에 기여할 것으로 기대된다.

[고엔1-5 | 10:00]

중엔트로피 VCoNi 합금의 초저온 기계적 물성 및 불연속 소성 거동 연구: 장태진, 성민영, 이건직, 이하훈(고려대학교), 이준호(한국재료연구원), Alireza Zargaran(포항공과대학교), 김영균(한국재료연구원), Zhiming Li(Central South University), 나영상*(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교)

Keywords: 중엔트로피 합금, 액체 헬륨, 초저온 거동

액화 수소, 초전도 기술, 우주 탐사와 같은 첨단 산업의 발전은 0 K에 가까운 극저온에서 우수한 기계적 성능을 가지는 금속 재료의 개발을 요구하고 있다. 온도가 절대 영도에 가까워질 때 금속 소재에서 발생하는 불연속 소성 거동 (Discontinuous plastic flow, DPF)은 소재의 신뢰성을 악화시킬 수 있으며, 이를 개선하는 것이 필수적이다. 그럼에도 불구하고, 극저온에서의 성능 평가는 실험적 한계로 인해 대부분 액체 질소 온도(77 K)에 국한되어 있는 상황이며, 고용강화나 결정립계와 같은 미세조직 인자가 0 K에 가까운 초저온 환경에서 기계적 물성과 불연속 소성 거동에 미치는 영향에 대한 연구가 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 세 가지 다른 결정립 크기를 갖는 단상 VCoNi 중엔트로피 합금의 초저온 기계적 물성 평가를 통해 액체 헬륨 온도(4.2 K) 에서 고용 강화와 결정립계 강화 효과가 불연속 소성과 기계적 물성에 미치는 영향을 체계적으로 평가하였다. 인장 시험 결과, 미세한 결정립 크기를 가지는 VCoNi 합금은 4.2 K 에서 매우 높은 1386 MPa의 항복강도와 1845 MPa의 인장 강도를 보였다. 본 연구를 통해 중엔트로피 합금의 4.2 K Hall–Petch 관계를 최초로 정립하여 결정립계 강화 및 고용 강화 기여도를 정량적으로 분석하였다. 또한, 체계적인 변형 미세조직 분석을 통해 결정립 크기가 변형 메커니즘과 DPF 거동에 미치는 영향을 규명하였다. 본 연구는 초저온 환경에서 중엔트로피 합금의 기계적 거동을 지배하는 핵심 인자로서 결정립 크기의 역할을 밝혔으며, 이는 고강도와 불연속 소성 저항성을 동시에 갖춘 차세대 극저온 합금 설계를 위한 중요한 미세조직적 이해를 제공한다.

[고엔1-6 | 10:15]

Cr-rich CrFeCoNi계 고엔트로피합금의 상변태 거동 및 형상기억특성: 임진수랑, 정휘윤, 최지환, 이제인*(부산대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Shape memory alloy, Martensitic transformation

CrMnFeCoNi계 고엔트로피합금은 고용강화 효과와 쌍정유기소성 또는 변태유기소성 등의 변형기구 활성화를 통해 우수한 상온 및 저온 물성을 구현하여 차세대 구조용 소재로 주목받고 있다. 최근, $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{35}Ni_5$로 대표되는 Ni-lean CrMnFeCoNi계 합금에서 형상기억특성이 관찰되었으며, 상용 FeMnSi계 형상기억합금과 버금가는 성능을 보여 기능소재로의 활용 가능성 또한 보여주고 있다. CrMnFeCoNi계 합금의 형상기억특성은 fcc/hcp 상간의 가역적인 마르텐사이트 변태에 의해 발현되므로 변형 과정에서 발생하는 응력유기 마르텐사이트 변태 거동에 의해 성능이 결정된다. 따라서, 형상기억특성을 향상시키기 위해선 비가역적인 모상의 소성 변형을 억제하는 것이 필수적이다. 다만, 이를 달성하기 위한 형상기억합금 조성제어를 비롯하여 모상 강도 증가에 의한 형상기억특성 변화에 대한 체계적인 분석이 미미한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 고용강화 원소인 Cr의 함량을 증가시킨 CrFeCoNi계 형상기억 신합금과 기존 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{35}Ni_5$ 합금과의 형상기억특성을 비교하며 모상 강도 증가에 의한 특성 변화를 중점으로 분석을 진행했다. 균질화 처리된 CrFeCoNi 주조재의 인장 변형을 가해 형상기억특성을 평가했으며, 0.2 % 내력의 온도 의존성 평가와 Hall-Petch 관계 분석을 통해 모상 강도를 평가했다. 이후 변형 후 미세조직을 관찰하며 응력 유기 마르텐사이트의 분율 및 국부 소성 변형량을 비교하고자 했다. 본 연구를 통해 CrMnFeCoNi계 고엔트로피합금의 형상기억특성 향상을 위한 조성제어 전략과 형상기억합금으로의 상용화를 위한 토대를 제시하고자 한다.

[고엔2-1 | 10:40]

탄소 첨가 $L1_2$ 석출강화 철계 다성분계 합금의 미세조직 및 기계적 물성: 윤주희, 김진경*(한양대학교)

Keywords: 다성분계 합금, $L1_2$ 석출물, 탄소 첨가

$L1_2$ 석출 강화 다성분계 합금은 우수한 강도-연신율 조합으로 큰 주목을 받고 있다. 본 연구는 코발트를 포함하지 않은 철계 $L1_2$ 석출강화 합금에 탄소를 첨가하여 석출 강화 및 결정립 미세화를 통한 기계적 물성 향상을 검토하였다. 유도용해로로 제조한 탄소 첨가 합금은 열간 압연과 균질화, 냉간 압연을 거쳐 재결정화 열처리를 수행하였다. 이후 600도에서 900도까지 24시간 시효 열처리를 수행하여 $L1_2$ 및 TiC를 포함한 다양한 석출물의 형성과 미세조직 변화를 관찰하였다. 또한 동일한 공정을 적용한 탄소 미첨가 합금과 미세조직 및 기계적 물성을 비교함으로써, 탄소 첨가가 석출 거동 및 기계적 물성에 미치는 영향을 분석하였다.

[고엔2-2 | 10:55]

철계 $L1_2$ 석출강화 합금의 $L1_2$ 석출물 크기에 따른 저온 변형 메커니즘 규명: 문광현, 김진경*(한양대학교)

Keywords: 다성분계 합금, 석출강화, $L1_2$ 석출상, 저온 물성, 변형 거동

본 연구는 $Fe_{45.2}Ni_{30.1}Cr_{17.9}Al_{3.5}Ti_{3.2}$(at.%) $L1_2$ 석출강화 합금의 석출물 크기가 극저온 변형기구 및 기계적 특성에 미치는 영향을

조사하였다. 열간압연 후 1000 °C 균질화 열처리를 수행하고, 700 °C(A700) 및 900 °C(A900)에서 각각 어닐링하여 서로 다른 크기의 $L1_2$ 석출물을 형성하였다. 123 K에서 인장 시험 결과, A700이 A900보다 높은 강도와 연성을 나타냈다. A700 조건의 결정립 내부와 미세 불연속 석출 영역과 같이 석출물이 작은 영역에서는 변형 초기에 슬립 밴드가 형성되었으며, 이후 마이크로밴드와 변형 쌍정이 관찰되었다. 반면 A900 및 A700의 조대한 불연속 석출 영역에서는 석출물과 전위 간 상호작용이 활발히 일어나 고변형 시 전위 얽힘이 발생하였다. 이러한 변형기구와 기계적 특성 간의 상관관계를 논의하였다.

[고엔2-3 | 11:10]

B2–$L1_2$ 석출상 제어를 통한 코어–쉘 구조의 Ni 기반 고엔트로피합금: 박효진, 김선규, 손수정, 이정아, 하효정, 이동화, Renhao Wu, 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 코어쉘, 고엔트로피 합금

B2와 불연속 $L1_2$ 석출상 간의 동역학적 경쟁을 통해 Ni 기반 고엔트로피 합금의 미세조직 제어가 가능함. 저온(600 °C) 열처리에서는 불연속 $L1_2$ 성장이 촉진되어 B2 형성이 억제되고 확장된 코어–쉘 구조가 형성되었다. 반대로 고온(900 °C)열처리에서는 B2 핵생성이 가속되어 입계 고정이 일어나며 쉘 발달이 제한되었다. 실험과 제1원리 계산 결과, 온도 의존적 형성 에너지와 원소 분배 거동이 상 선택을 지배함이 확인되었다. 600 °C에서 형성된 최적 코어–쉘 구조는 초미세 DP와 정제된 B2를 포함하여 변형경화 및 기하학적 필요 전위유발 응력을 향상시켰다. 합금은 1 GPa 이상의 항복강도와 27%의 총 연신율을 달성하였다.

[고엔2-4 | 11:25]

$L1_2$ 석출 강화를 통한 Co–Ni–Mo–Al 합금의 4.2 K 초저온 초고강도 및 기계적 안정성 향상: 성민영, 장태진, 송상윤, 이창기(고려대학교), 이준호, 김영균(한국재료연구원), 오상호, 이병주, Alireza Zargaran(포항공과대학교), 김세호(고려대학교), 나영상(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교)

Keywords: L12 석출, 중엔트로피 합금, 액체 헬륨 온도, 불연속 소성 거동

금속 재료는 초저온에서의 우수한 강도로 인해 항공우주 및 액체수소 응용 분야에서 핵심적인 소재로 주목받고 있다. 그러나 20 K 이하의 극저온에서 변형이 진행되면 불연속적 소성 거동이 발생하여 국부 변형과 급격한 응력 강하가 유발되며, 이는 초고강도 합금의 기계적 안정성 확보를 어렵게 한다. 기존의 강화 전략은 강도 향상에는 효과적이나, 후방응력(back stress)을 증가시켜 기계적 불안정성을 악화시킬 수 있다. 이에 본 연구에서는 정밀한 합금 설계를 통해 격자 마찰(lattice friction)을 높이고, 미세하며 정합(coherent) 관계를 갖는 $L1_2$ 석출상을 형성함으로써 이러한 한계를 극복하고자 하였다. 그 결과, 4.2 K에서 2.1 GPa의 인장 강도, 48%의 연신율, 약 99 MPa의 낮은 응력 강하를 동시에 달성한 새로운 Co–Ni–Mo–Al 중엔트로피 합금을 개발하였다. 이러한 미세조직적 특징은 전위의 움직임을 어렵게하며, Hirth lock 형성을 촉진하여 dislocation pile-up 및 변형 국부화를 방지하였다. 특히, 4.2 K에서 거의 수행된 바 없는 loading-unloading-reloading 시험을 통해, 본 합금이 54.5%의 낮은 후방응력 비율과 높은 유효응력을 유지함을 확인하였다. 본 연구는 불연속 소성 거동 완화 메커니즘에 대한 새로운 통찰을 제공하며, $L1_2$ 석출 강화를 활용한 초고강도 초저온 합금 설계의 가능성을 제시하였다.

[고엔2-5 | 11:40]

Nb 및 Ta 첨가량에 따른 준안정 내열 고엔트로피 합금의 기계적 거동 연구: 정윤종, 박강현, 이강진(공주대학교), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(공주대학교)

Keywords: Refractory High-Entropy Alloys, Transformation-Induced Plasticity, Microstructure, Mechanical Properties

BCC(Body-centered cubic) 구조의 내열 고엔트로피 합금은 상온 및 고온에서의 뛰어난 강도, 고온에서의 연화 저항성과 같은 우수한 기계적 특성으로 고온 구조 재료로써 높은 잠재력을 가진다. 그러나, 대부분의 내열 고엔트로피 합금은 상온에서의 연성이 부족하여 실질적인 사용은 매우 제한적이다. 따라서, 내열 고엔트로피 합금의 연성을 향상시키고자 결정립 미세화, 원자가전자농도(VEC)의 제어, 머신 러닝 등 다양한 이론적, 실험적 접근을 통해 연구가 진행되었다. 최근, 내열 고엔트로피 합금에 대한 준안정 합금 설계는 변형유기상변태(TRIP) 효과 및 변형유기쌍정(TWIP)과 같은 추가적인 변형기구의 작용으로 효과적으로 합금의 연성을 향상시키는 것으로 보고되었다. 이러한 준안정 합금에서 변형이 가해지는 동안 발생하는 상변태 및 쌍정과 같은 변형 거동은 몇몇 연구에서 자세히 다루어졌으나, 대부분 BCC 상의 안정도에 따른 변형 거동에 초점을 맞추고 있으며, BCC 안정화 원소의 종류에 따른 거동의 차이에 대한 연구가 현저히 부족하다. 따라서 본 연구에서는 TiZrHfNbx 및 TiZrHfTax 두 조성의 합금계에서 Nb 및 Ta의 함량 변화에 따른 미세조직과 기계적 거동 변화를 비교하였다. Nb와 Ta 함량이 증가함에 따라 기계적 특성 및 변형 미세조직의 차이가 분명하게 나타났으며, 이는 준안정 합금 설계에 있어서 첨가 원소의 BCC 안정화 효과 뿐 만 아니라 원소의 종류에 따른 고유한 효과 또한 고려해야 함을 보여준다. This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy(P0018009). This work was supported by National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(MIST, Korea) (RS-2023-00281671)

[고엔2-6 | 11:55]

$L2_1$-Ni^2TiAl 석출상으로 강화된 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 크리프 물성 연구: 박강현, 최순원, 권민철, 박상민(공주대학교), 심상훈, 임가람(한국재료연구원), 송기안*(공주대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, L21 석출상, 크리프 특성, 고온

가스터빈과 같은 고온 부품용 소재는 Ni기 초내열합금이 주로 사용되고 있다. 그러나, 다량의 Ni 및 Co의 함량과 각종 희소원소

의 첨가는 재료의 가격을 향상시킨다는 단점이 존재한다. 한편 Fe의 경우, 낮은 열팽창계수, 우수한 열전도성, 비교적 저렴한 소재가격이라는 장점이 존재하므로 Fe를 활용한 새로운 합금은 소재비용을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 따라 이전연구에서는 L21-Ni2TiAl 석출상을 강화상으로 활용하는 Fe기반 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 합금이 제안되었으며, 700도에서 우수한 고온 인장강도를 나타낸다는 연구가 보고되었다. 일반적으로, 고온 및 고압의 극한 환경에서 사용되는 소재의 수명을 평가하기 위해서는 크리프 물성 평가가 필수적으로 요구되나, Fe-Cr-Ni-Al-Ti 합금의 크리프 물성 평가에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 우수한 고온 인장강도를 갖는 것으로 보고된 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 합금의 크리프 물성을 700도 및 다양한 응력조건하에서 수행하여 합금의 크리프 물성을 평가하고 L21 석출상이 크리프 물성에 미치는 영향에 대해 조사하고자 한다. 이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원 연구비 지원에 의한 연구임 (P0022331) 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 기반구축 사업(P0018009) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

[고엔3-1 | 14:00]

Suppressing interfacial cracking in FCC/B2 dual-phase high-entropy alloys for enhanced high-temperature mechanical properties: Qingfeng Wu*, Kim Hyoung Seop*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: high-entropy alloys, grain boundaries, phase boundaries, high-temperature mechanical properties

FCC/B2 dual-phase high-entropy alloys (HEAs) exhibit outstanding properties such as high specific strength, low density, structural stability at elevated temperatures, and excellent oxidation resistance, positioning them as promising candidates for high-temperature applications. However, interfacial cracking under high-temperature conditions remains a critical limitation. In this study, we propose two effective strategies to overcome this challenge. (1) Alloying for interfacial strengthening: The introduction of boron enhances the cohesion of both grain and phase boundaries, thereby mitigating intermediate-temperature embrittlement. Additionally, boron in solid solution and the formation of borides substantially increase strength, achieving a yield strength of 580 MPa together with 70% elongation at 800 °C. (2) Grain boundary strengthening via second-phase decoration: In hypoeutectic HEAs, cracks tend to nucleate at triple junctions and propagate rapidly along grain boundaries. By coarsening grains and aligning B2 phases along grain boundaries, interfacial cracking is effectively suppressed, resulting in a threefold improvement in ductility at 800 °C without compromising yield strength. These findings provide valuable design guidelines for the development of FCC/B2 dual-phase HEAs with superior high-temperature mechanical performance.

[고엔3-2 | 14:15]

Ti_2AlMo(B2)에서 A2+B2 구조 형성에 미치는 BCC(A2) 원소 첨가의 영향: 김기범, Yamabe-Mitarai Yoko*(도쿄대학교)

Keywords: B2-ordred, BCC+B2, Spinodal Decomposition, Heat treatment

B2-ordered 상을 포함한 BCC(A2) 구조의 합금은 높은 강도와 연성을 동시에 갖추어 고온 환경에서의 응용을 위한 유망한 재료로 주목받고 있다. 최근 일부 다원소계 합금(MPEAs)은 특정 원소 조합을 통해 A2+B2 이중상 구조를 형성하는 것으로 보고되었으며, 이에 대한 형성 메커니즘으로는 Naka 등이 제안한 격자 불일치 효과와 Senkov 등이 주장한 스피노달 분해가 있다. 그러나 이러한 상 형성과 안정성을 결정짓는 주요 요인은 아직 명확히 밝혀지지 않았다. Ti_2AlMo는 약 3.184 Å의 격자상수를 갖는 안정한 단상 B2 구조를 형성하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 이를 기반으로 격자상수가 유사한 A2 구조 형성 원소(V, Cr, Nb, Ta)를 첨가하여 A2+B2 이중상 구조 형성을 시도하였다. 이를 통해 A2 원소의 첨가가 B2 기반 합금의 상 안정성과 미세조직에 미치는 영향을 체계적으로 평가하고자 하였다. 실험에는 고순도 금속을 사용하여 Ti_2AlMo 조성에 V, Cr, Nb, Ta를 각각 첨가한 네 종류의 MPEA를 아르곤 분위기 하에서 아크용해로 제조하였다. 이때 V와 Cr은 상대적으로 작은 원자로, Nb와 Ta는 큰 원자로 선정하여 원자 크기의 효과를 비교하였다. 첨가 원소의 함량은 10에서 30 at.%까지 10% 간격으로 변화시켰고, 비교를 위해 50 at.% 조성도 포함시켰다. 제조된 시편은 절단 후 석영관에 밀봉하고, 1473 K에서 168시간 동안 균질화 열처리를 실시한 뒤, 1073 K에서 168시간 동안 시효 처리하여 노냉시켰다. 상 분석은 SEM과 XRD를 이용하였고, 이중상 구조를 보인 조성에 대해서는 1173 K, 1273 K, 1373 K에서 추가로 168시간 시효하여 상 안정성을 확인하였다. 주조 상태에서의 EDS 분석 결과, A2 원소의 함량은 일부 변동이 있었지만 Ti, Al, Mo의 조성은 Ti_2AlMo에 근접하였으며, 이에 따라 기준 격자상수로 3.184 Å를 적용하는 것이 타당함을 확인하였다. XRD 결과, 모든 주조 시편은 단일 BCC 상을 나타냈으며, V 및 Cr 첨가 시 격자상수는 감소하고, Nb 및 Ta 첨가 시 증가하였다. 1473 K에서의 균질화 후에도 단일 BCC 상이 유지되었으나 일부 시편에서는 용융이 시작된 흔적이 관찰되었다. 이후 1073 K에서의 시효 처리 결과, Cr 및 Ta를 포함한 합금에서만 이차상이 형성되었고, 다른 조성에서는 단상 구조가 유지되었다. 생성된 이차상은 Cuboidal 형태를 보였으며, 이는 B2 규칙화 구조에서 일반적으로 관찰되는 특징이다. 또한, 시효 온도에 따라 B2 상의 조대화 또는 미세화가 진행되었으며, Cr과 Ta를 포함한 조성에서만 B2 상이 형성된 점을 고려할 때, 격자 불일치보다는 스피노달 분해가 상 형성에 보다 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 이러한 결과는 향후 열역학적 해석을 통해 보다 명확히 규명될 필요가 있을 것으로 보였다.

[고엔3-3 | 14:30]

Enhanced Mechanical Performance of Fe-Ni-Rich Complex Concentrated Alloy via Precipitation Hardening Approaches: Vikas Shivam*, Dong Whan KIM, Jae Kwon Kim , Eun Soo Park(Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Republic of Korea)

Keywords: Complex concentrate alloys (CCAs), Alloy design, Microstructure, Precipitation strengthening, Mechanical properties.

The development of materials that simultaneously exhibit high strength and ductility is essential for most engineering applications, as they contribute to enhanced structural reliability and energy efficiency. However, achieving a favorable synergy between these two properties is inherently challenging due to their typically conflicting nature. In this study, we present the design and development of a series of Fe-rich, non-equiatomic complex concentrated alloys (CCAs). The alloy compositions were selected using a semi-quantitative approach guided by CALPHAD-based thermodynamic predictions. The design strategy aimed to achieve a precipitation-strengthened microstructure consisting of an FCC matrix with B2 and $L1_2$ phases as precipitates. The alloys were synthesized using arc melting, followed by homogenization and cold rolling. Subsequent solution treatment was carried out, and the alloys were aged at 600 °C and 800 °C for various durations to investigate precipitation kinetics and microstructural evolution. The aging process led to the formation of a lamellar $L1_2$ phase within the FCC matrix, with precipitates distributed across multiple length scales. The heterogeneous precipitation of the $L1_2$ phase within the FCC matrix played a crucial role in achieving an excellent balance of room-temperature mechanical properties. The optimized alloys exhibited a yield strength of approximately 1 GPa, an ultimate tensile strength of ~1.4 GPa, and a notable ductility of ~25%. The high Fe content not only contributes to reduced material cost and density, but also supports the mitigation of the strength–ductility trade-off, highlighting the potential of these alloys for advanced structural applications.

[고엔3-4 | 14:45]

스피노달 분해를 통한 계층적 헤테로구조를 나타내는 immiscible 고엔트로피합금: 이시우, 박효진, 김래언, 김재훈, 이도원, 이재홍, 허윤욱, 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: High entropy alloy, Multiphase, Spinodal decomposition, Heterogeneous microstructure, Mechanical property, Strengthening mechanisms

Cu가 함유된 고엔트로피 합금(CuHEA)은 Cu와 다른 주요 원소 간의 고유한 상불혼화성(immiscibility)으로 인해 형성된 상분리 기반의 이중 상 구조를 가지며, 이는 도메인 간 기계적 특성 차이에 따른 이종 변형 유도(HDI) 강화를 활성화하여 뛰어난 강도–연성 조합에 기여한다. 본 연구에서는 $(CuFeMnNi)_{96}Al_2Ti_2$ 합금에 단일 시효 처리를 적용하여, Cu–Fe 간 immiscibility에 기인한 마이크로부터 나노스케일까지 이어지는 계층적 미세구조를 구현하였다. 응고 과정에서 형성된 Cu-rich 및 Fe-rich 도메인과, 스피노달 분해를 통해 형성된 나노스케일 상분리는 열역학 계산을 통해 예측되었으며, 결정학적 및 조성 분석을 통해 실험적으로 검증되었다. 이러한 계층적 헤테로구조는 항복강도를 2배 이상 향상시키면서도 도메인 간 정합성(coherency)으로 인해 우수한 연성이 동시에 확보되었다. 본 연구는 immiscible CuHEA에서 정합계면을 갖는 다중 스케일 미세조직을 효과적으로 설계하여 기존의 강도–연성 상충관계를 극복할 수 있음을 제시한다.

[고엔3-5 | 15:00]

공간적 준안정성 제어를 통한 철계 중엔트로피 합금의 TRIP 거동 향상: 손수정, 하효정, 하수빈, 이지수, 이시우, 구본우, 이병주, 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: Heterostructures, Spatial metastability control, Severe plastic deformation, Mechanical properties, Transformation-induced plasticity

헤테로 구조 설계는 hetero-deformation induced (HDI) 강화 효과를 통해 강도와 연성을 동시에 향상시킬 수 있는 유망한 소재 설계 전략이다. 본 연구에서는 철계 중엔트로피합금 의 조성적 헤테로 구조를 설계하여 공간적 준안정성 제어 (spatial metastability control, SMC) 개념을 도입하였다. 이를 위해 준안정 중엔트로피합금 분말에 순철 분말을 혼합하고 고압 비틀림 공정 및 후열처리를 수행하여, 조성 구배에 따른 전이 영역을 형성하였다. SEM, XRD, EBSD 분석을 통해 multi-material 내 견고한 결합과 뚜렷한 준안정성 대비가 확인되었다. SMC 시편은 상온 및 극저온에서 단계적인 변형 유기 상변태 (Transformation induced plasticity, TRIP) 거동을 통해 탁월한 강도-연성 조합을 달성했으며, 단일소재 대비 활발한 TRIP 거동을 나타내어 공간적 준안정성 제어 전략의 효과가 입증되었다. 본 연구는 TRIP 거동의 단계적 활성화를 유도할 수 있는 새로운 합금 설계 지침을 제시하며, 넓은 온도 범위에서 우수한 기계적 특성을 지닌 차세대 구조용 소재 개발 가능성을 보여준다.

[고엔4-1 | 15:25]

Ti-6Al-4V와 AlTiCrVFe 경량 고엔트로피 합금 하이브리드 구조체의 열처리 제어를 통한 계면 정합성 및 기계적 물성 향상 연구: 이용건, 송은효, 윤교식,안병민*(아주대학교)

Keywords: hybrid structure, heterogeneous, coherent, high entropy alloy, Ti-6Al-4V

본 연구는 고엔트로피 합금(high entropy alloys, HEAs)과 Ti 합금 간 하이브리드 구조체에서 정합 계면을 형성하여, 기계적 물성이 우수하고 구조적으로 안정한 소재를 개발하고자 하였다. HEAs는 $AlTiCrV_{0.5}Fe_{0.5}$로 설계하여 기계적 합금화 공정을 통해 제조하였으며, 방전 플라스마 소결(spark plasma sintering, SPS)로 Ti-6Al-4V와 하이브리드 구조체를 제조하였다. 제조된 구조체는 750°C, 900°C, 1050°C의 세 가지 열처리 조건 하에서 상 및 계면거동을 관찰하였다. X-ray diffraction(XRD)과 scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy(SEM-EDS)를 통해 하이브리드 구조체의 미세조직을 분석한 결과, 열처리 온도가 증가함에 따라 Ti-6Al-4V의 α+β 이중상이 재정렬되어 HEAs부 Al, Cr, Fe의 확산이 활발해짐과 동시에, 계면 두께가 증가함을 확인하였다. 계면의 정합성 및 결정립 연속성은 transmission electron microscopy(TEM)을 통해 분석되었으며, 열처리 온도가 증가함에 따라 격자 정합성과 계면 및 천이면의 결정구조 연속성이 향상되는 것을 확인하였다. 또한, 기계적 물성과 결합 강도는 경도 mapping 및 nano indentation을 통해 정량적으로 평가하였다. 특히 정합성이 향상된 계면 인근에서는 높은 경도와 탄성계수가

측정되었으며, 이는 고용체 강화 및 격자 정합성 향상에 의한 결과로 판단된다. 이러한 결과는 열처리를 통해 계면 및 구조체의 안정성을 향상시킬 수 있음을 보여주며, 이는 하이브리드 소재의 구조적 안정성과 기계적 신뢰성을 확보하기 위한 핵심 기술적 기반이 될 수 있음을 제시한다.

[고엔4-2 | 15:40]

Hf-Ta-Ti-V-Zr 내열 고엔트로피 합금의 격자 왜곡에 따른 전위 거동의 상관 관계 분석: 이강진, 박강현, 정윤종(공주대학교), 한준희(생산기술연구원), 이찬호(The University of Auburn), 피터 리아우(The University of Tennessee), 송기안*(공주대학교)

Keywords: Refractory High Entropy alloys, Lattice distortion, Dislocation dynamics, Mechanical Properties, Deformation behaviors

내열 고엔트로피합금 (Refractory High-Entropy Alloys, RHEAs)이란, 우수한 상·고온 기계적 물성을 지니어 차세대 내열 소재로 주목 받고있는 합금으로, 대부분의 합금들이 단상의 BCC 구조를 이루고 있다. RHEAs에 주로 사용되는 원소들의 큰 원자 크기 차이는 극심한 격자 왜곡을 유발시키는데 이는 전위와의 상호 작용을 통해 기계적 물성에 크게 영향을 미치는 요소로 알려져 있다. 그러나 격자 왜곡이 합금의 기계적 물성에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 아직 부족하며, 일부 연구에서는 격자 왜곡과 기계적 물성간 직접적인 상관 관계가 명확하지 않다고 보고되었다. 최근, 모델링 및 시뮬레이션을 통한 이론적 연구에서 RHEAs의 격자 왜곡이 Edge 전위의 이동도에 크게 영향을 끼치어, Edge 전위도 Screw 전위만큼 충분히 느려져 BCC 합금의 기계적 물성에 영향을 끼칠 수 있음을 제시하였으며, 이는 합금의 기계적 물성 및 변형거동을 이해하기 위해선 격자 왜곡이라는 미세 조직적 특징뿐만 아니라 전위 거동에 대한 분석까지 필요하다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 내열 고엔트로피 합금에서 격자 왜곡과 Edge-Screw 전위 거동이 합금의 기계적 물성 및 변형 거동에 미치는 영향을 이해하기 위해, 격자 왜곡을 제어하여 체계적으로 BCC 단상의 내열 고엔트로피합금을 설계하였다. SEM, 중성자 회절 시험을 통해 미세조직을 분석하고 압축 시험을 통해 기계적 물성 평가를 실시하였으며, In-situ 중성자 회절 시험 및 line-profile 모델링을 통해 합금의 전위 거동에 대하여 분석하였다. This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy ((P0018009), and this work was supported by National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(MIST, Korea) (RS-2023-00281671)

[고엔4-3 | 15:55]

온간 다중공형압연 이후 소둔된 CrMnFeCoNi 고엔트로피 합금의 미세조직과 기계적 특성: 최지환, 정휘윤, 임진수랑, 이욱진, 이제인*(부산대학교)

Keywords: High-entropy alloys, Thermomechanical processing, Microstructure, shape memory alloys, Mechanical properties, Martensitic transformation

적층결함에너지가 낮은 고엔트로피 합금(High-Entropy Alloys, HEAs)을 설계하는 연구는 변태유기소성(TRIP) 메커니즘을 통해 고강도와 고연성을 동시에 달성할 수 있다는 점에서 큰 주목을 받고 있다. 그러나 TRIP HEA의 높은 가공경화는 금속 가공에 있어 어려움을 초래하며, 열기계적 가공을 위해 1000 ºC에 달하는 고온이 요구되는 문제가 있다. 본 연구에서는 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{20}Ni_{20}$ 및 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{35}Ni_5$(Ni20 및 Ni5) HEA에 다중공형압연을 적용하여 400 ºC에서 TRIP HEA의 열기계적 가공 가능성을 검증하였다. 열처리된 HEA 봉재의 결정립 성장 거동을 분석하고, 비커스 경도를 측정하여 Ni20 HEA와 Ni5 TRIP HEA의 Hall-Petch 관계를 비교하였다. Ni5 TRIP HEA는 Ni20 HEA보다 높은 가공경화율을 나타냈으나 인장 연신율은 낮아, 상온에서의 가공성이 저하되는 원인이 되었다. -180 ºC부터 225 ºC까지의 인장 시험 결과, Ni5 TRIP HEA는 10–100 ºC 범위에서 슬립 변형에 앞서 응력유도 마르텐사이트 변태를 나타내었으며, 이는 형상기억 소재로의 응용이 가능한 온도 범위임을 시사한다. 이러한 결과는 온간 다중공형압연 공정이 구조적 및 기능적 응용을 위한 TRIP HEA 빌렛 제조에 효과적인 가공 방법이 될 수 있음을 보여준다.

[고엔4-4 | 16:10]

분무 건조 공정 조건에 따른 Co_3O_4-Cr_2O_3-Fe_2O_3-NiO 혼합 분말 구형 응집체의 형태학적 특성 변화에 대한 연구: 김민종, 임태협, 안종혁, 넬선, 이강현, 이선영*(한양대학교)

Keywords: 고엔트로피합금, CoCrFeNi, 분무 건조, 구형 응집체

고엔트로피 합금은 다수의 원소를 유사한 비율로 혼합하여 제조되는 합금으로, 기존의 주원소 기반 합금에 비해 높은 강도와 연성을 동시에 확보할 수 있으며, 내마모성과 내부식성 또한 우수한 특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 이러한 고엔트로피 합금 분말 제조를 위해 혼합 금속 산화물 분말을 고에너지 밀링으로 입자를 분쇄 및 균질화한 후, 분무 건조 공정을 적용하여 구형 응집체를 형성하고, 수소 환원 공정을 거쳐 고엔트로피 합금 분말을 제조하고자 한다. 제조된 구형 응집체의 성형성은 주로 분말의 유동성과 구형도에 영향을 받는다. 유동성이 높을수록 분말의 충전성이 향상되어 성형체 내 밀도 분포가 균일해지고, 구형도가 높을수록 입자 배열이 균질해져 치밀한 성형체 확보가 가능하다. 또한, 입도는 분말의 유동성에 직접적인 영향을 미치는 요인으로, 입도가 작을수록 비표면적이 커져 입자 간 응집력이 증가함에 따라 유동성이 저하되고, 반대로 입도가 클수록 분말 간 상호작용이 감소하여 유동성이 향상된다. 따라서 분무 건조 조건을 제어하여 적절한 입도와 형상의 분말을 확보하는 것은 분말의 성형 특성을 향상시키는 핵심 인자로 작용할 수 있다. 본 연구에서는 분무 건조 공정 조건 변화에 따른 Co3O4-Cr2O3-Fe2O3-NiO 조성의 분말 응집체의 입도 분포와 분말 특성(유동성, 구형도)을 정량적으로 분석하고, 이들 특성과 성형성 간의 상관관계를 고찰하였다. 이를 통해 분무 건조 조건이 응집체의 미세구조와 성형성에 미치는 영향을 규명하였다.

[고엔4-5 | 16:25]

Effect of Particle Size Distribution and soft deformation process in mitigating gravity induced distortion of CoCrFeNi 3D parts printed via Material Extrusion (MEX): Bayi Nelson, Taehyeob Im, Minjong Kim, Jonghyeok Ahn, Kanghyun Lee, Caroline Sunyong Lee*(Hanyang Univ.)

Keywords: Binder-assisted AM, Gravity induced distortion, Soft deformation process

Binder-assisted Additively Manufacturing (AM) refers to a group of Additive manufacturing process where a liquid or polymer binder is used to join powder particles during printing and is later removed in post-processing before final densification (sintering). Binder-assisted AM methods can produce parts with near net shape, production of parts with minimal waste of material, ability to process metals and ceramics without high-temperature melting printer and lower thermal stress during printing compared to laser-based AM. However, parts that are fabricated using AM methods have low green density thus require a sintering step to enhance the final density of the 3D printed parts. However, during sintering not only the densification process occurs but also the 3D printed part may suffer from dimension accuracy due to anisotropic shrinkage as densification process occurs. Another phenomenon that is less studied but important for the final outcome of 3D printed parts is the role played by gravity to induced distortion during sintering. The influence of Gravity in inducing distortion during sintering is hard to observe but when sintering of 3D printed parts with overhangs such as beams or cantilever, distortion due to gravity becomes more pronounced. Distortion due to gravity tends to be more critical in early stage of sintering where the 3D parts are still fragile (low density), to overcome this problem a higher green density of 3D part is crucial to mitigate such kind of distortions caused by gravity. In this study we deployed bimodal particle size distribution and soft deformation process in sup-pressure to enhance the green density of the 3D printed parts to counteract for the distortion caused by gravity. In that case, we propose to print a slotted cantilever beam with an overhang for sintering distortion experiments. The dimensions were selected in such a way that deflection or bending due to gravity of the overhang part is easily observed but also does not wrap under self-weight.

고온재료
Room 2층 211, 10월 29일

[고온1-1 | 09:00]
Characterization of microstructure in primary creep stage of Ni-based single crystal superalloy: Hyeonbeen Noh(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Sangwon Lee, Jeonghyeon Do, Joong Eun Jung, Baig Gyu Choi, Insu Kim(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Pyuck-Pa Choi*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))
Keywords: Ni-based superalloy, creep

Ni-based single crystal superalloys have been widely used for the high temperature components of aero-engines and industrial gas turbines due to their superior mechanical properties at the elevated temperature. In the primary creep stage of Ni-based single crystal superalloys, directional coarsening of γ' precipitates (rafting) is observed in the microstructure. As the rafted microstructure of Ni-based single crystal superalloys significantly enhances the creep resistance by increasing the γ/γ' interface along which dislocations climb, understanding of rafting in primary creep stage is crucial for improving the creep resistance of Ni-based single crystal superalloy. Here, we observed the microstructures in primary creep stage of CMSX-4 single crystal. The high temperature and low stress creep test (1100 °C, 137 MPa) was interrupted at 0.1% creep strain. The microstructures were analyzed using scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), and atom probe tomography (APT).

[고온1-2 | 09:15]
용체화 열처리 공정에서 냉각 조건이 단결정 초내열합금의 크리프 특성에 미치는 영향: 김봉철(한국재료연구원, 동아대학교), 이상원, 정중은, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 도정현*(한국재료연구원)
Keywords: Single-crystal superalloy, Solution heat treatment, Creep, Lattice misfit

일반적으로 단결정 초내열합금은 용체화 열처리 공정 중 냉각 과정에서 냉각 속도가 달라지더라도 고온에서 유지되는 시효 열처리가 순차적으로 수행되기 때문에 크리프 수명 변화는 거의 없다고 알려져 있다. 하지만 선행 연구에서 Re-free 단결정 초내열합금인 TMS1700합금에서 용체화 열처리 냉각 공정 중 냉각 속도를 수냉으로 빠르게 제어하였을 때, γ/γ′ 간 격자 불일치가 증가하여 크리프 수명이 2배 이상 향상되는 현상을 발견하였다. 본 연구에서는 CMSX-4 SLS 합금의 용체화 열처리 냉각 조건을 제어함으로써, 크리프 특성 변화를 유도하였다. 냉각 조건 제어를 통하여 γ′상의 크기가 유사한 Monomodal γ′상으로 이루어진 미세조직을 갖는 시편과 γ′상이 큰 입자와 작은 입자 두 종류가 공존하는 Bimodal γ′상으로 이루어진 미세조직을 갖는 시편을 각각 확보하였다. 이후, 각 시편에 시효 열처리를 순차적으로 수행하여, 균일한 육면체 γ′상이 형성된 일반적인 단결정 초내열합금의 미세조직으로 발달하였음을 확인하였다. 냉각 조건에 따른 고온 특성 변화를 관찰하기 위해 1100ºC/137MPa 조건으로 크리프 시험을 수행하였다. X선 회절(XRD) 분석을 통해 γ/γ′ 간 격자 불일치 변화를 측정하여 미세조직이 크리프 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

[고온1-3 | 09:30]
DED 공정으로 제조된 IN738LC 초내열합금의 열처리 조건에 따른 크리프 특성 및 이방성 평가: 안동혁(한국재료연구원,부산대학교), 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문(한국재료연구원), 최윤석(부산대학교), 김정기(경상국립대학교), 강현기(터보파워텍), 이형수*(한국재료연구원)
Keywords: Direct energy deposition, Superalloy, IN738LC, Recrystallization, Anisotrpy, Creep

Directed Energy Deposition(DED) 공정은 적층 제조(Additive Manufacturing, AM) 기술 중 하나로, 기존 부품의 손상 부위를 선택적으로 보수할 수 있다는 점에서 큰 장점을 갖는다. 그러나 다른 AM 공정과 마찬가지로, 급격한 열 구배와 불균일한 응고 속도에 의해 합금 원소의 편석이 발생하고, 적층 방향(Building Direction)을 따라 주상정이 성장하는 미세조직이 형성된다. 이로 인해 미세조직적 이방성이 증가하고, 방향에 따른 기계적 특성의 편차가 발생하여 부품의 신뢰성과 내구성이 저하될 수 있다. 널리 사용되는 석출경화형 Ni 기반 초내열합금 IN738LC를 DED 공정으로 제조하였다. 기존의 IN738LC 합금에 적용되는 열처리 조건은 주조재 미세조직을 기준으로 최적화된 공정으로, DED 합금에는 적절하지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 DED 합금에 적합한 최적의 열처리 조건을 도출하고자 하였다. 우선, 용체화 열처리는 γ′ 용해 온도 이상에서 수행하여 이후 시효 열처리 단계에서 γ′상 석출을 최적화하고자 하였고, 기존 결정립계 구조를 재편하기 위한 재결정을 유도하였다. 이후 시효 열처리는 γ′ 석출물이 Monomodal 또는 Bimodal 분포로 형성되는 조건을 적용하여 비교하고자 하였다. 최종적으로, 적층 방향과 수직 및 평행한 방향으로 가공된 시편에 대해 크리프 시험을 실시하였고, 열처리 조건과 방향성에 따른 크리프 특성과 이방성의 변화를 분석하였다.

[고온1-4 | 09:45]
Multi-Scale Alloy Design of Cost-Reduced and Weldable Ni-Based Superalloy and its Deformation Behavior: Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Won Suk Ko(Inha University), Byoung Soo Lee, Hae Jin Lee(KITECH)
Keywords: Additive manufacturing, Ni-based suepralloy, Alloy design, TEM

Additive manufacturing (AM) has emerged as a pivotal technology in the gas turbine and aerospace industries, providing a viable alternative to conventional investment casting for the production of Ni-based superalloy components. To meet the stringent high-

temperature requirements of these applications, superalloys must possess a high volume fraction of the strengthening γ′ phase, typically achieved through increased Al and Ti contents. However, alloys with elevated γ′ fractions (generally exceeding 40–50%) exhibit pronounced susceptibility to hot cracking during the rapid thermal cycles inherent to AM processing. As a result, most research efforts have concentrated on low γ′ superalloys, including Inconel 625, 718, and Hastelloy X, which demonstrate excellent AM processability but are limited in high-temperature strength. Furthermore, the limited alloy design studies that exist have predominantly relied on empirical trial-and-error approaches, often yielding compositions rich in costly elements such as Ta and Hf, thereby constraining industrial applicability. In this study, a multi-scale alloy design methodology was implemented to overcome the intrinsic cracking issues of the reference alloy CM247LC, while simultaneously reducing reliance on high-cost elements without compromising high-temperature strength. Unlike conventional incremental composition adjustments, this approach integrated large-scale thermodynamic simulations with density functional theory (DFT) calculations, enabling high-throughput screening of candidate alloys. Screening was conducted based on critical thermodynamic parameters, including solidus temperature, γ–γ′ lattice misfit, TCP phase fraction, γ′ volume fraction, and overall material cost. To specifically address AM cracking susceptibility, the CSC index and final Scheil solidification range were adopted as primary filtering criteria. From 36,450 candidates, a modified composition—designated as Cost-reduced and Weldable (CW) 247—was selected through experimental ingot validation. CW247 was successfully processed via selective electron beam melting (SEBM) without the occurrence of hot cracking, porosity, or lack-of-fusion defects. Notably, no significant cracks were observed in the fabricated material. Following heat treatment, CW247 exhibited a γ′ area fraction of 61%, comparable to the reference alloy, and demonstrated excellent microstructural stability with no formation of deleterious TCP phases after long-term thermal exposure. Finally, the superior tensile properties of CW247 at both room temperature and 871 °C are discussed in relation to the underlying deformation mechanisms.

[고온1-5 | 10:00]

Effect of initial microstructure on DRX behavior during creep deformation of Nimonic 80A superalloys: Shaik Mahammad Ali*, Sangwon Lee, Hyungsoo Lee, Dae Won Yun, Young-Soo Yoo, Seong-Moon Seo, Hi Won Jeong(Aerospace Materials Research Center, Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Ni-based superalloys, Solution temperature, Grain size, Dynamic recrystallization, Creep deformation.

This study investigates the dynamic recrystallization (DRX) mechanisms during creep deformation of a modified Nimonic 80A Ni-based superalloy. Samples were solution-treated at 1080 °C and 1140 °C. The sample treated at the higher temperature exhibited a coarse equiaxed grain structure that suppressed DRX, leading to about 2.5-fold improvement in creep life compared to the lower temperature-treated sample. In contrast, the sample treated at the lower temperature exhibited a bimodal grain structure that promoted DRX during creep. The deformed microstructure exhibits necklace-like grain structure along the grain boundaries attributed to the DRX, which led to material softening, reduced creep life, and increased creep strain.

[고온2-1 | 10:25]

브레이즈 코팅을 적용한 Silver Alloy Seals 개발: 이탁영, 강희재, 손명숙, 김영무, 손인수*(한화에어로스페이스), 김지웅(숭실대학교)

Keywords: Nickel-based Superalloys, Braze-coating, Silver Alloy Seals

항공용 가스터빈의 Seal 부품은 공력 효율 증대와 윤활 오일의 누설 방지를 위해 공기와 오일 미립자 공간 사이 압력 차이를 발생시켜 유체의 흐름을 제한한다. 누설을 최소화하기 위해 회전체 부품과 고정체의 간극 최적화가 필요하나 고온 환경에서의 고속 회전에 따른 열팽창 및 회전체의 정렬 공차에 의해 고정체와 마찰이 발생할 수 있다. 따라서 마찰 시 회전체가 과열되는 것을 방지하기 위해 고정체의 접촉 표면에 의도적으로 마모되도록 하는 Abradable coating 기술이 지속 개발되고 있다. 일반적으로 허니컴 구조물을 접촉 표면에 접합하거나 용사 등의 공정으로 분말을 코팅하여 다공성의 구조를 설계하나 이는 회전체와의 실제 접촉 시 금속 Debris가 발생되고 그에 따라 후단의 엔진부품에 악영향을 줄 가능성이 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 낮은 전단강도를 이용한 Abradability 확보를 목적으로 Silver Alloy를 브레이징을 통해 적용하였다. 그러나 제작 공정 중 브레이즈 코팅부에 군집성 기공 결함 및 입계파단이 발생하여 이에 대한 원인 분석으로 미세조직 분석 및 산화 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 금속 간 이종 브레이즈 코팅을 할 때 모재의 산화 경향성이 접합 신뢰성 및 코팅부 품질에 미치는 상관관계에 대하여 고찰하며 부품 제작 시 고려해야 할 금속학적 인자를 제시하고자 한다.

[고온2-2 | 10:40]

오스테나이트계 스테인리스강의 고온 Portevin-Le Chatelier 효과에 미치는 온도 구배 영향 조사: 이승용*, 김용남, 권준범(한국재료연구원)

Keywords: Austenitic stainless steel, Portevin-Le Chatelier effect, dynamic strain aging

고온 산업에서 구조용 금속 재료는 다양복잡한 작동 환경 하에서 온도 구배를 경험할 수 있다. 온도는 재료의 변형 거동에 중요한 영향을 미치는 인자로, 온도 구배 상황에서는 고온용 금속 재료가 국부적 열화 현상 등 예기치 않은 거동을 나타낼 수 있다. 또한, 고온용 금속 재료에 첨가된 다양한 합금 원소들은 동적 변형 시효 현상을 유발하는데, 이는 용질 원자의 확산과 관련된 전형적인 온도 의존 현상으로, 세레이션 및 국부적 변형 밴드 발생을 초래하는 Portevin-Le Chatelier (PLC) 효과를 일으킨다. 동적 변형 시효에 따른 PLC 효과는 고온용 금속 재료의 강도와 변형 거동에 중요한 영향을 미치기 때문에 이에 대한 많은 연구가 진행되었으나, 온도 구배 하에서 이들이 미치는 영향에 대해서는 아직 충분히 연구되지 않았다. 본 연구에서는 대표적인 고온용 금속 재료인 오스테나이트계 스테인리스강의 PLC 효과에 미치는 온도 구배 영향을 조사하였다.

[고온2-3 | 10:55]

방전플라즈마소결을 이용한 Mo-10Nb 스퍼터링 타겟 제조 및 특성평가: 김건, 오병헌, 윤지오, 이동주*(충북대학교)

Keywords: 몰리브덴 합금, 방전 플라즈마 소결, 스퍼터링 타겟

Mo–10Nb 합금은 높은 녹는점, 우수한 전기·열 전도성, 낮은 열팽창계수, 그리고 뛰어난 내식성으로 인해 반도체, 평판디스플레이, 태양전지 산업에서 중요한 스퍼터링 타겟 소재로 활용되고 있다. 특히 Nb의 첨가는 산성 환경에서의 내식성을 향상시키고, 박막의 내부응력을 완화하며, 열적 안정성을 증대시켜 TFT-LCD 게이트 전극, CIGS 태양전지 후면전극 및 집적회로 배선재에 적합하다. 그러나 용융주조법 기반의 기존 제조법은 응고 후 미세조직 불균일성과 불순물 문제로 인해 후공정이 필수적이며, 이로 인해 비용과 공정 복잡성이 증가한다. 이에 따라 분말야금법이 대안으로 제시되고 있으며, 특히 방전플라즈마소결(Spark Plasma Sintering, SPS)은 짧은 시간과 낮은 온도에서 이론밀도에 근접한 치밀화를 달성할 수 있어 미세하고 균일한 조직을 형성하는 장점이 있다. 본 연구에서는 Mo–10Nb 나노분말을 활용하여 SPS로 타겟을 제조하고, 소결체의 밀도, 미세조직, 집합조직 특성을 체계적으로 분석하였다. 이후 직류 마그네트론 스퍼터링을 통해 박막을 증착하고 상용 타겟 기반 박막과 비교하였다. 그 결과, 분말야금 기반 SPS 타겟은 균일한 미세조직과 높은 밀도를 확보하여 우수한 박막 특성을 구현할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 타겟 제조 공정, 미세구조 제어, 그리고 박막 성능 간의 상관관계를 제시함으로써 차세대 전자 및 광전자 소자 응용을 위한 최적화된 Mo–10Nb 스퍼터링 타겟 설계 가능성을 제안하였다.

[고온2-4 | 11:10]

Ti 함량에 따른 9Cr-1W 저방사강의 미세조직 및 크리프 거동에 미치는 영향: 최단웅(한국재료연구원,부산대학교), 유지성, 김치원, 이창훈, 박형권(한국재료연구원), 최윤석*(부산대학교)

Keywords: 저방사강, Ti, MX 석출물, 크리프

핵융합로 구조재로 적용되는 9Cr–1W 저방사강은 장시간 고온에서 안정적인 기계적 특성이 요구되며, 이를 위해 Ti, Ta, Zr 등의 미세합금 원소 첨가를 통한 MX 석출물 제어 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 Ti 함량 증가는 MX 분율을 높여 크리프 저항성을 향상시키는 것으로 알려져 있으나, 모재 및 장시간 크리프 후 미세조직·석출물·파단 특성과의 연계성은 충분히 규명되지 않았다. 본 연구에서는 Ti 함량을 달리한 9Cr–1W 저방사강을 대상으로 550 °C 조건에서 크리프 시험을 수행하고, EBSD와 TEM으로 결정립 구조, 서브그레인 경계, KAM 분포 및 MX·$M_{23}C_6$ 석출물의 크기와 분율을 정량 분석하였다. 또한 파단면 관찰을 통해 dimple 형상과 공동 발생 특성을 비교 고찰하였다. 그 결과, Ti 함량이 높은 시편은 모재 단계에서부터 MX 석출물 분율이 증가하였고, 장시간 크리프 후에도 석출물 안정성이 유지되어 조직 열화가 억제되는 경향을 보였다. 아울러 파단면에서는 Ti 함량 증가에 따라 조밀한 미세 dimple이 형성되어 균열 핵생성 억제 및 손상 지연과의 관련성이 시사되었다. 따라서 본 연구는 Ti 함량 변화가 석출물 안정성·미세조직 진화·손상 거동에 미치는 영향을 종합적으로 고찰하였으며, 이를 바탕으로 저방사강의 크리프 특성 향상 메커니즘 이해에 기여하고자 한다.

[고온3-1 | 14:00]

전산유체역학 및 응고계면 안정성 모델 기반 인코넬 718 적층재의 주상정-등축정 천이기구 규명: 조덕현, 양희평, 이학성(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

Keywords: 적층제조, 인코넬 718, 미세조직, 전산유체역학, 용융풀

Directed energy deposition (DED)으로 제조된 인코넬 718 적층재는 고입열로 인한 결정립 조대화가 발생하여 기계적 물성의 저하가 보고되고 있다. 본 연구진들은 이전 연구에서 DED 공정으로 제조된 인코넬 718 분말과 200 nm 크기의 지르코니아 나노입자를 2wt.% 혼합한 적층재의 결정립 미세화 및 등축화를 통해 이방성 감소 및 경도 향상에 대해 보고하였다. 적층제조에서 형성되는 미세조직은 공정변수에 따라 달라진다. 특히, 레이저 기반 적층제조에서는 공정변수뿐만 아니라, 열-물리적 특성도 중요한 영향을 미친다. 따라서 용융풀의 거동은 미세조직 형성의 핵심적인 요소이며, 이를 효과적으로 분석하기 위해 Computational Fluid Dynamics (CFD) 모델이 널리 활용된다. 적층제조에서 개별 공정변수의 영향을 하나씩 분석하는 것은 어렵고 비효율적이므로, 여러 변수들을 통합적으로 고려할 수 있는 해석 방법이 필요하다. 이에 본 연구진은 이전 연구에서 인코넬 718 적층재 및 인코넬 718-지르코니아 적층재의 미세조직 천이를 이해하기 위해 공정변수가 아닌 무차원 수와 차원 수를 활용하여 해석하였다. 무차원 수와 차원 수를 추산하기 위해서는 적층재의 용융풀 거동을 이해하는 것이 필수적이다. 그러나 실제 실험만으로 용융풀의 거동을 정밀하게 분석하는 데는 한계가 있으며, 열 구배, 응고 속도 및 냉각 속도 등 열-물리적 특성을 정량적으로 추산하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 CFD 기반의 FLOW-3D 시뮬레이션을 활용하여 인코넬 718 적층재 및 인코넬 718-지르코니아 적층재의 용융풀 거동을 분석하고, 열 구배, 응고 속도 및 냉각 속도 등 열-물리적 특성을 정량적으로 추산하여 미세조직과의 상관 관계를 연구하였다. 본 연구의 주요 목표는 다음과 같다. 첫째, FLOW-3D 시뮬레이션을 활용하여 인코넬 718 및 인코넬 718-지르코니아 적층재의 용융풀 거동을 분석한다. 둘째, 용융풀 내 열전달, 유체 흐름, 열 구배, 응고 속도 및 냉각 속도 등 열-물리적 특성에 따른 미세조직 형성 메커니즘을 규명한다. 마지막으로 시뮬레이션 결과를 통해 최적의 공정변수를 도출하여 적층제조로 제조된 인코넬 718-지르코니아 적층재의 결정립 미세화 및 등축화 효과를 극대화할 수 있는 방안을 제시한다.

[고온3-2 | 14:15]

B, Zr, Hf 첨가에 따른 DS CM247L 합금의 용체화 열처리 시 수지상간 Incipient Melting 형성과 상변화 거동: 여준기(한국재료연구원,부산대학교), 서성문*, 이형수, 윤대원, 정희원, 유영수(한국재료연구원), 강남현(부산대학교)

Keywords: Superalloy, CM247LC, Directional Solidification, Segregation, Homogenization, Incipient Melting

항공기 및 발전용 가스터빈에 사용되는 니켈기 초내열합금은 크리프 저항성과 내산화성 향상을 위해 다양한 합금원소를 함유한다. 하지만 이 같은 초내열합금의 복잡한 조성은 응고 도중 수지상간 영역에 특정 원소들의 극심한 편석 현상을 유발하며, 용질원소가 축적된 수지상간 영역은 국부적인 융점 저하가 발생하게 된다. 그 결과 주조 후 용체화 열처리 시 해당 영역이 재용융되는 incipient melting (IM) 현상이 발생할 수 있으며, 이는 재용융된 영역의 응고에 따른 새로운 미세기공 형성 및 편석된 원소들이 농축된 새로운 상 생성을 유발한다. 니켈기 초내열합금의 용체화 열처리 후 관찰되는 IM 현상에 대해 보고된 기존의 연구들은 IM 현상을 열처리 결함으로 간주하고 이를 방지하기 위한 열처리 조건 최적화에 집중해왔으나, IM 형성에 대한 기본적인 생성 메커니즘 및 각 합금원소의 영향, 그리고 IM 미세조직을 구성하는 자세한 상 분석은 여전히 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 대표적인 주조용 니켈기 초내열합금인 CM247LC 합금을 기본 조성으로 하여 니켈기 합금에서 편석이 특히 심한 것으로 알려진 B, Zr, Hf 함량을 변화시킨 새로운 합금을 주조한 후 이들 원소가 용체화 열처리 중 발생하는 IM 형성 및 미세조직 변화에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 이들 원소가 IM 형성에 미치는 영향 및 IM 영역의 상분석은 EPMA (Electron Probe Micro-Analysis) 및 TEM (Transmission Electron Microscopy)를 사용하여 조사하였다. 미세조직 분석 결과 Hf 및 B의 편석은 IM 영역에서 Ni_xHf_y 상 및 붕화물을 형성하며 Zr의 경우 MC 형 탄화물 형성에 기여하는 것으로 관찰되었다. 아울러 미세조직 분석과 함께 본 연구에서는 IM 형성이 고온 환경에서 합금의 기계적 특성에 미치는 영향에 대하여 조사하고, 그 결과에 대해 고찰하고자 한다.

[고온3-3 | 14:30]

Ni-Cr 초내열 합금에서 Mg 탈산이 개재물의 진화 거동에 미치는 영향: 장민관, 박주현*(한양대학교), 정세지, 김지원(세아창원특수강)

Keywords: Ni-Cr 초내열 합금, 마그네슘, 탈산, 비금속 개재물

Ni-Cr 초내열 합금은 우수한 내식성, 내열성 및 기계적 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 널리 사용된다. 이러한 특성을 유지하기 위해서는 초고청정도가 필수적이며, 이를 위해 진공 유도 용해(Vacuum Induction Melting, VIM) 또는 진공 아크 재용해(Vacuum Arc Remelting, VAR) 공정을 통해 생산된다. 특히, 강력한 탈산제인 Al 또는 Si를 사용하여 탈산 과정을 거치지만, 이 과정에서 불순물 유입, 용강의 재산화, 내화물-금속 반응 등에 의해 alumina(Al_2O_3), spinel($MgAl_2O_4$), aluminosilicate(Al_2SiO_5)와 같은 비금속 개재물(Non-Metallic Inclusion, NMI)이 형성될 수 있다. 이러한 NMI는 합금의 생산성과 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이를 고려할 때, NMI 입자의 수, 크기 및 상을 제어하기 위한 최적의 탈산제를 설계하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 고주파 유도 용해로를 사용하여 1550ºC, alumina 도가니에서 Ni-Mg 합금 형태로 Mg를 1, 5, 10 g 투입하여 니켈기 초합금을 탈산하여 개재물에 대한 영향을 관찰하였다. 본 실험을 통해 Mg 함량 변화와 반응 시간에 따른 용강 내 개재물의 단위면적 당 개재물 수, 크기 분포(Size Distribution), PDF plot (Popular Density Function), 상과 평균 조성 변화를 분석하였다. 실험 결과, Mg 함량 증가와 반응 시간에 따라 비금속 개재물의 단위면적 당 개재물 수와 면적 분율이 감소하였다. 또한, Mg 함량 증가에 따라 NMI의 평균 조성에서 MgO 함량이 증가하였으며, NMI의 평균 상은 Ni-Mg 투입 전 'Al_2O_3'에서 Ni-Mg 투입 후 $MgAl_2O_4$ 혹은 MgO 개재물로 진화하였다. PDF Plot 결과, 대부분의 MgO 개재물은 Ni-Mg 투입 후 빠르게 반응하여 각 개재물 간의 충돌에 의한 성장을 이룬 것으로 해석된다.

[고온3-4 | 14:45]

니켈 클래딩 STS316H 스테인리스강의 용융염 원자로 적용을 위한 NaCl–$MgCl_2$ 환경 고온부식 특성: 이원찬, 김정한*, 남승주(국립한밭대학교), 윤지현(한국원자력연구원)

Keywords: 용융염부식, 고온부식, MSR, SMR

고속중성자 기반 용융염 원자로(Molten Salt Reactor, MSR)의 개념 개발과 선행 연구는 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. MSR의 가장 큰 특징은 고온에서 부식성이 매우 강한 용융염이 금속 배관 내부를 순환한다는 점이며, 이에 따라 구조재료의 내식성 확보가 핵심 과제이다. 일반적인 고온 부식 환경에서는 Cr_2O_3, Al_2O_3와 같은 보호 산화막이 형성되어 내식성을 향상시키지만, 용융염 환경에서는 주요 합금 원소들이 염화물을 형성하며 급속히 용해되므로 이러한 피막의 안정적인 형성을 기대하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 스테인리스강(STS316H) 기지재에 내식성이 우수한 니켈계 소재를 클래딩(cladding)하여 MSR 환경에서의 내식성 향상을 모색하였다. Directed Energy Deposition(DED) 공정을 적용해 니켈 클래딩을 형성하였고, NaCl–$MgCl_2$ 용융염 침지 시험을 통해 부식 특성을 평가하였다. 또한 동전위분극실험을 통해 STS316H와 니켈 소재의 부식 전위를 측정하고, 갈바닉 부식 저항성을 분석하였다. 부식 시험 후 미세조직 및 표면을 SEM-EDS로 분석한 결과, STS316H 단독 소재는 입계 부식과 피팅(pitting) 현상이 두드러지게 관찰되었으며, 주요 합금 원소인 Cr과 Fe의 선택적 용출이 확인되었다. 반면, 니켈 클래딩층은 상대적으로 균일한 표면을 유지하며 염화물 형성 및 확산이 억제되는 양상을 보였다. 이러한 결과는 니켈 클래딩이 염화물 기반 용융염 환경에서 구조재의 급격한 합금 원소 용해를 효과적으로 억제하며, 계면에서의 갈바닉 부식 위험 또한 제한적임을 보여준다. 본 연구를 통해 확보한 기초 자료는 향후 MSR 적용을 위한 내식성 소재 설계 및 DED 공정 최적화, 그리고 부식 메커니즘 규명에 중요한 기반을 제공할 것이다.

반도체
Room 2층 211, 10월 29일

[반도체1-1 | 16:00]
Prediction of the microstructural evolution occurring during a metallic thin film deposition using a real time-length scaled Monte Carlo Potts model: Lee Jihye, Lee Sukbin*(울산과학기술원)
Keywords: A real time-length monte carlo potts model, thin film deposition, microstructural evolution, surface energy and strain energy anisotropy, texture

The microstructural evolution during a thin film deposition of a hypothetical metal is studied using a real time-length scaled Monte Carlo Potts model. The deposition process is realized such that solid monomers are placed in a random fashion on the substrate structure. At the same time, the microstructure evolves via two distinct spin-dynamics: 1) “spin exchange” mechanism to mimic the material–vacant site exchange diffusion, and 2) “spin flip” mechanism to simulate the grain growth. It is found that the microstructural parameters such as initial grain (or nuclei) size and density, and grain size, shape and texture of the deposited film, vary sensitively with the monomer deposition rate, the boundary energy, the initial kinetic energy of the monomers and the temperature of the system. In this work, the simulation model is explained in detail, first. Then, as an examplary case, the properties of a hypothetical cubic fcc crystal are assumed for the film deposition simulation. It is found out that the results obtained from the proposed simulation follow what the existing theories and experiments have reported.

[반도체1-2 | 16:15]
NbF_5 및 $TiCl_4$ 전구체를 활용한 HfO_2와 ZrO_2의 원자층 식각 공정 개발: 최보윤, 제우디 게타세우 물루알렘, 신혜영, 전나리*(충남대학교)
Keywords: 원자층 식각, ALE, HfO2, ZrO2, 고유전율 산화물, NbF5, TiCl4

SiO_2는 전통적으로 게이트 절연막으로 사용되어 왔지만 트랜지스터 크기가 지속적으로 감소함에 따라 정전 용량 확보와 누설 전류 억제에 한계를 겪고 있다. 이를 대체하기 위해 HfO_2 및 ZrO_2와 같은 고유전율 산화물에 대한 탐색과 공정 개발이 활발히 진행되어왔다. 그러나, 복잡한 3차원 구조에서 이러한 산화물을 원자 수준으로 정밀하게 패터닝하는 것은 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다. 본 연구에서는 할로겐 계열 전구체인 NbF_5와 $TiCl_4$를 사용하여 HfO_2와 ZrO_2에 대한 열 원자층 식각 거동을 비교하였다. HfO_2는 원자층 식각 공정의 자기 제한적인 표면 반응을 통해 균일한 식각 속도를 보였으며, 식각 후에도 매끄러운 표면을 유지하였다. 반면에, ZrO_2는 식각 후 표면 거칠기가 증가하였고, 표면에서 상당한 양의 염소 불순물이 검출되었다. 밀도 범함수 이론 계산을 통해서 $TiCl_4$가 HfO_2보다 ZrO_2의 불소화된 표면과 더 강하게 반응하여 표면을 불안정하게 만들고, 이에 따라 식각 후 박막 품질을 저하시키는 것을 확인하였다. 자기제한적인 표면 거동을 나타낸 HfO_2에 대해서는 너비 150 nm, 깊이 2,000 nm의 나노홀 구조 위에서 원자층 식각을 적용하였다. 나노홀의 벽면 및 하단에 있는 HfO_2는 대부분 식각 되었지만, 나노홀 상단에 있는 HfO_2는 두께만 약간 감소하여 나노홀 위치에 따른 선택적인 식각 거동을 관찰하였다. HfO_2의 3차원 구조 위 선택적인 식각 결과는 전구체와 물질 간의 화학적 반응뿐만 아니라 결정성과 같은 물질의 미세구조가 고유전율 산화물에 대한 원자층 식각의 중요한 변수임을 보여주었다. 3차원 구조에서 위치에 따른 고유전율 산화물의 선택적 식각 결과는 원자 수준의 두께 제어와 재료 선택성이 필수적인 차세대 트랜지스터 공정에서 정밀한 집적 가능성을 보여준다.

[반도체1-3 | 16:30]
ENHANCED SPECTRAL UTILIZATION IN INGAAS THERMOPHOTOVOLTAIC DEVICES VIA COLD-WELDED AU BACK-REFLECTORS WITH AIR GAPS: Chu Young, Yongmin Baek, lee yun seog*(서울대학교)
Keywords: 열광전변환, TPV, 백리플렉터, 금속, Anti-Reflection, 접합

Thermophotovoltaic (TPV) systems have gained increasing attention as a promising solution for direct heat-to-electricity conversion, offering compactness, solid-state operation, and scalability across a range of thermal energy sources. Recent advances in low-bandgap semiconductor absorbers, such as indium gallium arsenide (InGaAs), have significantly improved TPV device efficiencies under broadband infrared illumination, with reported power conversion efficiencies (PCE) approaching 40% under optimized conditions. However, further performance improvements are hindered by inefficient photon utilization, due to incomplete absorption in the active layer and surface reflection losses. Addressing these optical losses is essential for realizing higher efficiencies and advancing practical TPV deployment. To this end, the integration of functional layers, such as back reflectors and anti-reflection (AR) coatings, has emerged as an effective strategy to enhance spectral utilization and improve device-level performance. In this study, we propose a layered optical design strategy for improving photon management in InGaAs-based TPV devices. A gold (Au) layer was employed as a back reflector due to its exceptionally high reflectivity (>95%) in the near- to mid-infrared range, which closely aligns with the dominant emission spectrum of typical thermal sources. Given the fabrication challenges associated with the complex epitaxial structure of InGaAs cells, which require multiple lattice-matched layers such as InP and InGaAs, a cold-weld bonding process was adopted to mechanically integrate the Au reflector without damaging the underlying semiconductor layers. Spectral characterization of the thermal source and comparative device performance measurements with and without the Au reflector confirmed the enhanced photon recycling. To further

mitigate optical losses, we introduced anti-reflection (AR) coatings designed to maximize light coupling at the front surface. Specifically, a bilayer structure consisting of MgF_2 and ZnS was selected based on their contrasting refractive indices, forming an effective AR stack. Devices treated with the AR coatings showed improved light absorption and increased EQE.

[반도체1-4 | 16:45]

Finite Element Analysis of Heat Transfer in System-on-Chip: Experimental Validation and Optimized Graph Convolution Networks for Acceleration: 천민준(Hanbat National University), 김성진(Pohang University of Science and Technology), 이정원, 강인수(Nepes Co.), 강성모(Asicland Co.,Ltd), 오용준(Hanbat National University), 송재용(Pohang University of Science and Technology), 조훈휘*(Hanbat National University)

Keywords: Finite element analysis, System-on-Chip, Thermal distribution, Infrared camera, Graph convolution neural network

The rapid advancement of AI semiconductors necessitates strategies to effectively manage the adverse impact of heat generation on system performance. This study investigates the heat transfer of a system-on-chip (SoC) using finite element (FE) analysis and a graph convolution network (GCN). Using COMSOL software, thermal behavior is analyzed by precisely setting boundary conditions, thermal properties, and processing parameters. This study validates the computed temperature distribution by comparing it with experimental data obtained from an infrared camera. The findings confirm that the model accurately captures the overall temperature distribution. Additionally, parametric studies of the FE simulation are performed to generate a GCN training database. A hyperparameter optimization is implemented to design an accelerated GCN with high predictive performance. In addition, a residual-connected model architecture is incorporated to further increase the accuracy of the model. A comparison among the experimental, computed, and predicted data is performed across the SoC, which indicates that the applied GCN model is very robust and captures the thermal behavior adequately. These findings provide critical insights into heat management and structural stability in SoC semiconductor architectures. This integrated approach makes a substantial contribution to advancing semiconductor packaging technology by analyzing the critical challenges of heat dissipation management and structural stability in high-performance computing.

[반도체1-5 | 17:00]

반도체 패키징용 구리-구리 접합의 접합강도 향상을 위한 표면처리 기법 연구: 안성민, 김미림, 김정한*(국립한밭대학교)

Keywords: Cu hybrid bonding, (111) oriented electroplating, self-assembled monolayer (SAM), oxide suppression

차세대 반도체 소자의 고성능·저전력 구현을 위해서는 배선 길이를 단축하고 입출력(I/O) 밀도를 극대화할 수 있는 3차원(3D) 집적 기술이 필수적이다. 기존의 범프(bump) 기반 접합 기술은 미세화 한계와 높은 접촉 저항 문제로 인해 차세대 요구를 충족하기 어렵다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 제시되는 기술이 구리-구리 하이브리드 본딩이다. 구리-구리 하이브리드 본딩은 구리-구리 직접 접합과 절연체 간 결합을 동시에 구현함으로써, 미세 피치(pitch)에서 낮은 저항과 높은 기계적 안정성을 제공한다. 따라서 차세대 고성능 컴퓨팅(HPC), 인공지능(AI) 반도체, 그리고 3D NAND, DRAM과 같은 메모리 집적에 있어 필수적인 패키징 기술로 주목받고 있다. 본 연구에서는 구리-구리 직접 접합 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 표면처리 기법을 비교·평가하였다. 우선 (111) 방향성을 갖는 구리 전해도금을 기반으로, 자기조립 단분자막(Self-Assembled Monolayer, SAM) 처리를 통해 산화막 형성 억제 효과를 확인하였다. 또한 환원제 처리를 적용하여 잔존 산화막 제거 능력을 검증하였으며, 니켈 무전해 도금을 도입하여 확산 억제 및 계면 안정화 효과를 분석하였다. 그 결과, 각 표면처리 공정은 서로 다른 특징을 보였으며, 접합 강도 및 계면 신뢰성 측면에서 차별적인 성능을 나타냈다.

[반도체1-6 | 17:15]

일방향 다공성 구리를 이용한 DBC 접합계면 신뢰성 향상: 최상규(인하대학교), 김상욱(로터스 머터리얼즈), 이진관(인하대학교), 김근수*(호서대학교), 현승균*(인하대학교)

Keywords: direct bonding copper, lotus-type Cu, thermal shock, Chaboche model, reliability

본 논문에서는 DBC(Direct Bonded Copper) 접합된 알루미나 세라믹 기판의 신뢰성을 향상시키기 위해, 로터스 타입의 일방향 다공성 구리를 DBC 기술로 접합하는 방법을 조사하였다. 세라믹 기판의 피로 메커니즘과 수명을 규명하기 위해, 접합계면의 열응력 및 소성변형 분포를 유한요소법(Finite Element Method, FEM)으로 해석하였다. 연성 구리의 탄소성 거동(elastic–plastic behavior)을 모사하기 위해, 비선형 운동 경화(non-linear kinematic hardening)를 포함한 Chaboche 모델을 적용하였다. 또한, 로터스 구리의 특징인 일방향 기공의 기하학적 설계 인자가 열기계적 성능에 미치는 영향을 열충격 실험을 통해 평가하였다. 설계된 로터스 구리 DBC 기판은 열사이클 조건에서 높은 견고성을 나타냈다. 기존 구리 압연재보다 열응력과 소성변형률이 낮았고, 접합계면에서는 구리의 기하학적 구조에 의해 크랙 성장 억제 효과가 확인되었다. 결과적으로, 로터스 타입의 다공성 구리를 접합한 DBC 기판은 기존 구리 포일 접합 DBC 기판보다 높은 신뢰성을 확보하였으며, 세라믹 기판 분야에서 다공성 구리 소재의 적용 가능성을 입증하였다.

적층제조 및 분말 I
Room 2층 212/13, 10월 29일

[적층1-1 | 09:00]
가스분무공정 시 분사 가스가 Super Duplex Stainless Steel 합금 분말 미세조직 및 분말 특성에 미치는 영향에 관한 연구: 백건우, 조성재, Sourabh Kumar Soni (국립공주대학교), 김용래, 박성수((주)영신특수강), 하지원, 김현중, 홍순직*(국립공주대학교)
Keywords: Super Duplex Stainless Steel, Gas Atomization, Powder Charaterization

본 연구에서는 gas atomization 공정 시 분사 가스 종류가 super duplex stainless steel 분말의 특성과 미세조직에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 분말의 형상과 미세조직은 SEM, X-ray diffraction (XRD)를 통하여 분석하였다. 분말의 유동도는 Hall flowmeter법 및 Dynamic flow 법을 통하여 분석하였으며, 기계적 특성은 경도를 측정함으로 비교하였다. 그 결과 분사 가스의 열전도도 차이에 의한 냉각속도로 인해 미세조직적 차이를 보였다. Ar 가스에 비해 열전도도가 약 1.4배 큰 N_2 가스 분사 시 미세한 분말의 형성 분율이 높았으며, 미세한 미세조직을 형성하였다. 이로 인해 결정립에 형성되는 BCC와 결정립계에 형성되는 FCC 상의 분율 차이를 나타냈다. 유동 특성은 차이를 보이지 않았으며, 경도의 경우 미세한 미세조직을 나타낸 N_2 가스 분말이 약30Hv 높은 값을 나타내었다.

[적층1-2 | 09:15]
316L 스테인리스 강-구리 복합재의 열·기계적 특성 향상을 위한 공정 설계: 최동인, 조영환(서울대학교), 강성규(경상국립대학교), 정경재(성균관대학교), 이호원, 최인석, 한흥남*(서울대학교)
Keywords: 3D 격자 구조, 적층 제조, 복합재, 구리, 열 특성

3차원 격자 구조의 도입은 금속 복합재의 설계 자유도를 확장시킴과 동시에 기계적 강도, 열전도도와 같은 물성을 종합적으로 향상시킬 수 있는 수단으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 316L 스테인리스 강-구리 복합재의 열·기계적 특성 향상을 목적으로, 제조 공정 및 격자 형상에 따른 미세조직과 물성 변화를 분석하였다. 이를 위해, 직접분사 적층(Directed Energy Deposition, DED) 공정을 활용하여 단순 입방(simple cubic) 구조를 구현하였으며, 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM) 및 방전 플라즈마 소결(Spark Plasma Sintering, SPS) 공정을 통해 옥텟-트러스(octet-truss) 구조의 복합재를 제조하였다. 제조된 시편들은 공정 방식과 형상에 따라 국소적으로 다른 미세조직 및 원소 분포를 형성하였으며, 주사 전자 현미경(SEM)과 전자탐침 미세분석(EPMA)을 통해 이를 확인하였다. 더불어, Laser Flash Apparatus(LFA)를 이용한 열전도도 측정 및 나노 압입 시험을 통한 국소 기계적 물성 평가를 수행하여 미세조직과 열·기계적 특성 간의 상관성을 분석하였다. 적용된 제조 공정 및 적층 된 격자 형상에 따라 복합재의 미세조직과 열·기계적 특성이 뚜렷하게 달라짐을 확인하였으며, 이를 바탕으로 최적화된 격자 형상 설계를 통해 복합재의 성능 향상을 도모할 수 있음을 제시하였다.

[적층1-3 | 09:30]
금속 재료 압출 적층 공정으로 제작한 SS316L/IN718 층간 복합 재료의 co-sintering 조건 최적화 및 기계적 성질 분석: 이도원, 이정아, 오상호, Renhao Wu, 이시우, 김래언, 이병주, 김형섭*(포항공과대학교)
Keywords: 재료 압출 적층 공정, 공동 소결, 316L-IN718 복합소재, 유한요소해석, 기계적 성질

본 연구는 재료 압출 적층 제조 공정 및 소결을 통해 제작된 SS316L/IN718 층간 금속 복합체의 공동 소결 최적화 조건을 탐색하고, 열처리를 통한 기계적 성질 향상을 위한 분석을 진행하였다. 먼저, 복합소재 상분석, DSC 및 딜라토미터 실험을 master sintering curve 분석을 기반으로 2가지 소결 최고 온도 조건인 1250 °C(S1250)와 1350 °C(S1350)를 선정하여, 미세조직 진화, 확산 거동, 계면 안정성을 평가하였다. 또한 interface에서의 상변태 및 원소 간 상호확산 예측을 위해 CALPHAD 및 DICTRA 시뮬레이션을 사용하였으며, 열유도 응력의 발생은 FEM 모델링을 통해 분석하였다. 이를 통해 S1350 조건에서 안정적인 열 전사로 인한 소결 밀도 향상과 미세조직 안정성을 보였으며, 기계적 물성에서도 단일재료에 비해 향상됨을 보였다. 그리고, SEM, EBSD, 나노인덴테이션 기반 경도 매핑을 통해 경계에서의 미세조직 변화, Laves 상 형성 양상에서 두 소결 조건 간, 두 재료 간 경계에서 뚜렷한 차이를 확인하였다. 본 연구는 재료 조성 구배 제어를 통한 방법이나 전통적인 공정만으로 이종 재료 간 직접 연결이 가능했던 방법을 벗어나 적층 공정 만으로 이종 금속 복합소재를 제작 방법을 제시하며, 두 재료 간의 공동 소결이 가능한 조건을 최적화 방법을 마련하여 계면 상 안정성과 치밀화, 기계적 성질의 토대를 마련할 수 있음을 보였다.

[적층1-4 | 09:45]
열처리 온도가 Laser powder bed fusion 공정으로 제조된 저열팽창 Fe-Ni 합금의 열팽창 특성과 기계적 특성에 미치는 영향: 조용호, 박소연(인하대학교), 김정환(한국재료연구원), 서동우(포항공과대학교), 이기안*(인하대학교)
Keywords: Laser powder bed fusion additive manufacturing, Invar alloy, Microstructure, Mechanical property, Thermal expansion property, Heat treatment

Fe-36Ni 합금(Invar 36)은 첨단 산업이 고도화 되어감에 따라 극도로 높은 정밀성을 요구하는 초정밀 부품과, 극심한 온도 편차가 지속적으로 발생하는 우주 공간에서 활용되는 첨단기기 개발에 필수적인 소재로 그 중요성이 대두되고 있는 합금이다. 그러나, 이 합금은 높은 밀도 때문에 경량화가 어렵고, 무른 성질과 낮은 열전도율 때문에 가공 난이도가 높다는 한계가 존재한다. 적층 제

조는 최소한의 가공과 소재 소모로 복잡한 형상의 부품을 조형할 수 있어 기존 invar 합금의 단점을 보완할 수 있는 기술로 최근 많은 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 Fe-36Ni 합금을 laser powder bed fusion(LPBF) 적층 제조 공정으로 제조하고 열처리 온도를 다르게 제어했을 때 합금의 미세조직과 열팽창계수, 그리고 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 제조된 LPBF Fe-36Ni 합금(as-built)은 평균 결정립 크기가 SD 면: 87 μm, BD 면: 69 μm인 오스테나이트 상으로 구성되어 있었으며, dislocation cell 과 nano size oxide 입자가 matrix 내부에 분포하는 것으로 나타났다. 열처리 온도는 재결정 온도보다 낮은 300ºC와 재결정 온도보다 높은 900ºC로 선정하여 진행하였다. 300ºC에서 열처리한 시편(300C)은 as-built 시편보다 kernel average misorientation(KAM) value가 소폭 감소하는 정도의 미세조직 변화만 나타나지만, 900ºC에서 열처리한 시편(900C)은 KAM value 가 현저히 감소했을 뿐 아니라, 결정립 크기도 약 10 μm 감소한 것으로 조사되었다. –130ºC ~ 100ºC 범위에서 열팽창계수는 as-built: 1.0 ppm/ºC, 300C: 1.3 ppm/ºC, 900C: 2.5ppm/ºC 로 재결정 온도 구간을 경계로 합금의 열팽창계수가 급격히 상승하는 거동을 보였다. 열처리는 상온 연신율을 약 5~8 %p 향상시켰으며 (as-built: 17.4%, 300C: 23.3%, 900C: 25.3%), 합금의 상온 인장 강도도 약 20 MPa 향상시키는 것으로 나타났다. 상온 항복 강도는 300C 시편은 as-built 시편과 유사한 정도를 보였지만 (as-built: 445 MPa, 300C: 449 MPa), 900C 시편은 as-built 시편보다 약 39MPa 낮은 항복 강도 특성을 보였다 (900C: 406MPa). 상기 결과들을 토대로 하여 LPBF 공정으로 제조된 저열팽창 Fe-Ni 합금의 열처리 온도에 따른 합금의 열팽창 특성 및 기계적 특성 변화 거동을 미세조직과 연계하여 고찰하였다.

[적층1-5 | 10:00]

L-DED 제조된 Fe-36Mn-9Al-7Ni (wt.%) 초탄성 철계 형상기억합금의 레이저 공정변수에 따른 미세조직과 반복 압축 특성: 박지영, 김도형, 정휘윤, 이욱진*(부산대학교)

Keywords: 적층제조, 형상기억합금

레이저 직접 에너지 적층 (Laser Direct Energy Deposition, L-DED) 공정은 고출력 레이저를 이용해 금속 분말을 기판 위에 직접 용융 및 적층하여 3차원 부품을 제작하는 금속 적층 제조 공정이다. L-DED 공정은 복잡하고 치수 정밀도가 높은 금속 부품을 신속하게 제작할 수 있다는 장점을 가진다. 한편, 초탄성 형상기억합금 (Superelastic Shape Memory Alloy, SMA)은 변형이 가해진 후 하중이 제거되었을 때 원래의 형상으로 회복할 수 있는 의사탄성 거동을 보이는 합금으로, 반복 변형에도 영구 변형이 발생하지 않는 장점 때문에 항공, 의료기기 등 다양한 분야에 널리 활용되고 있다. Ni-Ti, Cu-Al-Ni, Cu-Zn-Al, Fe-Mn-Si 계열 등 다양한 SMA 합금이 개발되어 사용되고 있으며 최근 개발된 Fe-Mn-Al-Ni 합금은 원재료 가격이 낮고 매우 우수한 초탄성 특성을 보여 주목받고 있다. 하지만, Fe-Mn-Al-Ni 합금은 적층 시 열에 의한 크랙이 쉽게 발생하는 등의 문제점으로 인해 난적층 소재로 알려져 있다. 본 연구에서는 Fe-36Mn-9Al-7Ni(wt.%) 초탄성 SMA를 L-DED 공정으로 다양한 레이저 조건에서 제작하였으며, 미세조직 및 기계적 특성을 조사하였다. 그 결과, 레이저 공정 조건을 최적화할 경우 우수한 초탄성 특성 및 반복 압축 특성을 구현할 수 있음을 확인하였다.

[적층2-1 | 10:25] 초청강연 Canceled

High-Temperature Wear Properties of Laser Powder Directed Energy Deposited Ferritic Stainless Steel 430: Hyun-Ki Kang*, Samsub Byun, Jongyeob Lee(Turbo Power Tech Co., Ltd.), Namhyun Kang(Pusan National University), Seunghun Lee(TESONE Co., Ltd.)

Keywords: additive manufacturing, directed energy deposition, ferritic stainless steel 430, wear resistance, chrome carbide precipitation, high-temperature tribology

Ferritic stainless steels (FSSs) have attracted considerable attention due to their excellent corrosion resistance and significantly lower cost compared with nickel-bearing austenitic stainless steels. However, the high-temperature wear behavior of additively manufactured FSS 430 has not yet been thoroughly investigated. This study aims to examine the microstructural characteristics and wear properties of laser powder directed energy deposition (LP-DED) FSS 430 fabricated under varying laser powers and hatch distances. Wear testing was conducted at 25 °C and 300 °C after subjecting the samples to solution heat treating at 815 °C and 980 °C for 1 h, followed by forced fan cooling. For comparison, an AISI 430 commercial plate was also tested under the same test conditions. The microstructural evolution and worn surfaces were analyzed using SEM-EDS and EBSD techniques. The wear performance was evaluated based on the friction coefficients and cross-sectional profiles of wear tracks, including wear volume, maximum depth, and scar width. The average friction coefficients (AFCs) of the samples solution heat treated at 980 °C were higher than those treated at 815 °C. Additionally, the AFCs increased with hatch distance at both testing temperatures. A strong correlation was observed between Rockwell hardness and wear resistance, indicating that higher hardness generally results in improved wear performance.

[적층2-2 | 10:50]

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조된 SA508 Gr.3 Steel의 인장 및 피로 특성에 미치는 열처리의 영향: 황원구(인하대학교), 류호진(한국과학기술원), 이기안*(인하대학교)

Keywords: Laser Powder Bed Fusion, Reactor pressure vessel, SA508 Gr.3 Steel, heat treatment, Microstructure, High-cycle fatigue

SA508 Gr.3 Mn-Mo-Ni 저합금강은 우수한 용접성, 저온 충격 인성, 중성자 조사 저항성 및 적절한 인장 강도를 동시에 갖추고 있어, 원자로 압력용기·가압기·증기발생기 등 원자력 설비의 핵심 부품 소재로 널리 사용된다. 그러나 최근 원자로 압력용기의 고성능화와 복잡한 형상 설계가 확대됨에 따라, 적층 제조(Additive Manufacturing, AM) 공정이 주목받고 있다. 대표적 AM 공정들

중 하나인 Laser Powder Bed Fusion (LPBF) 공정은 미세 정밀 가공과 구조 최적화에 유리해 금속 적층 제조 분야에서 활발히 활용되고 있다. 그러나 LPBF의 10^3~10^6 K/s 급속 냉각 속도는 SA508 Gr.3 강에서 기준 베이나이트 조직 대신 마르텐사이트 조직 형성을 유도하여, 항복 강도는 증가하나 연신율이 크게 저하되는 한계가 있다. 본 연구에서는 LPBF로 제작된 SA508 Gr.3 강에 대해 기준 열처리 조건을 적용하여 베이나이트 조직을 재형성하고, 그 미세조직 및 기계적 특성을 체계적으로 분석하였다. 시편은 880 °C에서 6 h 오스테나이트화 후, 660 °C에서 10 h 템퍼링을 실시하였다. 전자 후방산란 회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD) 분석 결과, 열처리 후 미세조직은 99% 이상이 베이나이트로 구성되었으며, 평균 결정립 크기는 약 10.98 ± 9.49 μm로 측정되었다. 인장시험(초기 변형률 10^{-3} s^{-1})에서 항복강도 494 MPa, 최대 인장강도 643 MPa, 연신율 24.5%를 확보하여 SA508 Gr.3 강의 요구 사양을 충족하였다. 또한, 고주기 피로시험(주파수 10 Hz, 응력비 R = 0.1)에서 10^7 사이클 피로한도는 350 MPa로 나타났다. 상기 결과들 및 파단면 분석 결과들을 바탕으로 LPBF 제조 SA508 Gr.3 강의 변형 거동을 규명하였으며 이와 함께 해당 공정의 산업적 실용성과 원자력 부품 제조 분야 적용 가능성을 토의하고자 하였다.

[적층2-3 | 11:05]

레이저 에너지 직접 적층법으로 제조한 Fe-17Mn-10Cr-5Si-4Ni-1VN 합금의 미세조직 및 형상기억 특성: 정종욱, 김태윤, 이욱진*(부산대학교)

Keywords: L-DED, 적층제조, 형상기억합금

레이저 에너지 직접 적층법 (Laser Directed Energy Deposition, L-DED)은 금속 분말과 레이저를 동시에 조사하여 용융풀을 형성하여 재료를 층층히 쌓아 3차원 형상을 제조하는 적층 제조 방식으로, 레이저 분말 베드 용융 (Laser Powder Bed Fusion) 방식과 함께 주요한 적층 제조 공정으로 널리 활용되고 있다. 한편, 철계 형상기억합금 (Fe-based shape memory alloy, Fe-SMA)은 기존에 사용되던 Ni-Ti 합금보다 저렴한 원소재 가격 및 높은 가공성으로 인해 주목받고 있다. Fe-SMA은 가역적인 응력 유기 마르텐사이트 변태에 의해 γ-FCC에서 ε-HCP로 상변태하며 형상기억 특성을 나타낸다. 또한 조성 민감성 및 낮은 용접성 등의 문제로 적층 제조에 적합하지 않은 Ni-Ti 합금에 비해 적층성이 우수하다는 장점이 있다. 하지만 Fe-SMA는 Ni-Ti 합금에 비해 다소 낮은 형상기억효과 (shape memory effect, SME)을 나타내는데, 이러한 낮은 특성은 석출물 형성 및 열-기계적 처리를 통해 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다. SME를 개선하는데 사용할 수 있는 다양한 석출물 중 VN은 열처리 과정에서 γ-FCC 기지 내에 형성돼 국부적인 소성변형을 억제함으로써 SME와 의사탄성거동 (pseudo-elasticity)을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다. 본 연구에서는 L-DED를 이용한 Fe-17Mn-10Cr-5Si-4Ni-1VN (wt.%) 합금의 적층 제조 시 레이저 공정변수에 따른 미세조직 및 형상기억 특성을 알아보고자 하였다. 체적 에너지 밀도를 고정한 상태에서 레이저 출력과 스캔 속도를 변화시켜가며 샘플을 제작하여 미세조직, 기계적 특성 및 형상기억 특성을 분석하였다.

[적층2-4 | 11:20]

L-PBF 공정을 이용하여 제작된 경사기능형 내마모 경량철강의 미세조직과 기계적 성질: 박진수, 문준오*(창원대학교), 박성준, 권한솔(한국재료연구원)

Keywords: 경사기능재료, 경량철강, L-PBF, SKD61, 내마모, HIP

CO2배출 저감과 운송, 발전 산업의 에너지 효율 향상을 위해 구조 재료의 경량화 설계에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 오스테나이트계 Fe-Mn-Al-C 경량 철강은 기존 철강소재 대비 낮은 밀도를 가지면서도 우수한 기계적 특성을 보이며, 이에 따라 소재 경량화를 구현할 수 있는 후보소재로서 많은 관심을 받고 있다. 경량철강에서 Al과 C의 첨가는 강의 밀도를 낮추고 나노 크기의 κ-carbide (Fe3AlC-type)를 입내에 석출시켜 강도를 증가시키는 장점이 있지만, 반면에 그 첨가량이 과도할 경우에는 입계를 따라 조대한 κ-carbide 또는 제2상인 DO_3상이 생성됨으로써 불균질한 조직 형성 및 기계적특성 저하를 야기시킨다. 이러한 경량철강의 한계를 극복하고 표면 내마모성이 우수한 경량철강을 설계하기 위해 본 연구에서는 SKD61 공구강 분말을 Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) 방식을 이용하여 오스테나이트계 경량철강 표면에 적층하여 내마모 특성이 우수한 경사기능형 경량철강을 제작하였다. 적층 후, 경량철강과 표면 공구강 적층부 간의 열팽창 계수차이에 의한 박리, 적층제조 결함 개선을 위해 HIP(Hot Isostatic Pressing) 열처리를 실시하였고 이후 ?칭-템퍼링 (Quenching-Tempering, QT) 열처리를 추가적으로 수행하였다. 연구에 사용된 샘플의 미세조직은 모재, 모재와 적층부의 계면, 적층부로 나누었으며, 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), 후방 산란 전자 회절(EBSD), 투과전자현미경(TEM)을 활용해 분석하였으며, 기계적 특성의 경우 비커스 경도, ball on disk 시험을 통해 경사기능형 내마모 경량철강의 기계적 특성을 평가했다.

[적층2-5 | 11:35]

직접용융증착으로 제조된 CuNiAl 저합금 강의 직접시효에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화: 주수빈, 노건우, 정종현, 류경희(경상국립대학교), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: Additive Manufacturing, Maraging steel, Mechanical properties, Heat treatment

마레이징 강은 우수한 기계적 특성과 낮은 탄소 함량으로 적층 제조에 적합하여 항공, 방산, 자동차 등 다양한 산업 분야에 활용되고 있다. 그러나, 최근 2차 전지 산업의 성장으로 Ni 수요의 급증으로 원자재 가격이 상승하며 Ni을 대체할 Cu 기반 석출 경화형 합금 개발이 많은 관심을 받고 있다. 기존 연구에서는 Cu-rich phase의 낮은 경도와 빠른 조대화를 해결하기위해 Ni, Al과 같은 추가 원소를 소량 첨가하여 co-precipitation을 형성하나, 고함량의 Cu 첨가 시 Fe와 Cu의 녹는점 차이로 적층 중 액화균열이 형성되는 문제가 발생하였다. 따라서, 본 연구에서는 Cu, Ni, Al의 총 합금 원소 함량을 5 wt% 미만으로 제한한 CuNiAl 저합금강을 설계하였으며 직접시효 중 미세조직 및 기계적 특성 변화에 대해 논의하고자 하였다. 열처리 이후 경도는 256 Hv, 인장강도는

700 MPa까지 증가하였으며 이는 열처리동안 co-precipitation이 형성된 결과로 사료된다. 하지만 장시간 열처리 시, Cu rich phase가 BCC → 9R 구조로 전이되며 경도와 인장강도 모두 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, 열처리 시간이 증가할수록 secondary phase의 형성으로 인해 고용체 내에서의 격자 왜곡이 완화되고, 가공경화 지수 감소로 항복점연신민감도가 감소해 불연속 항복거동이 억제되는 것을 확인하였다. 상기 결과들을 통해 적층 제조된 CuNiAl 저합금강이 high-Ni 마레이징 강을 대체할 수 있는 가능성을 검증하였다.

[적층2-6 | 11:50]

Direct energy deposition (DED)**를 활용한** metal repairing **후 오스테나이트계 스테인리스강의 수소 취성 저항성 향상**: 정차희, 양대철(고려대학교), 사공만재(포항공과대학교), 백주현(고려대학교), 김형섭(포항공과대학교), 손석수*(고려대학교)

Keywords: Metal repair, 적층 제조, 수소 취성

오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 내식성과 기계적 특성으로 인해 수소 연료 저장 탱크, 수소 기반 에너지 시스템 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용된다. 그러나 사용 중 손상된 부품을 수리하기 위한 기존의 용접, 브레이징 등의 방법은 미세조직 내에 결함을 유발하고, 넓은 heat-affected zone (HAZ)를 생성하여 수소 환경에서 극심한 취성을 유발할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 적층 제조 기술 중 하나인 Directed Energy Deposition (DED) 공정을 이용하여 metal repairing을 진행하고, 수소 취성 저항성을 평가하였다. SSRT 결과를 통해, HE index 기준으로 repair 이후 수소 취성 저항성이 크게 향상됨을 알 수 있었다. 또한, DED 공정 후 높은 전위 밀도로 인해 오스테나이트 안정성이 향상되었으며, DIMT가 효과적으로 억제됨을 확인하였다. 이에 따라, BCC 마르텐사이트 형성이 감소하면서 수소 확산이 제한되고, 균열 전파가 지연되는 현상이 관찰되었다. 반면, 비교재에서는 DIMT 변태가 활발하게 발생하며 BCC 마르텐사이트를 따라 균열이 전파되는 양상이 나타났다. 또한, 수소 투과 시험 및 열 탈착 분석을 통해, repaired 시편이 비교재에서 보다 더 많은 수소 고용량을 가지지만, 수소 확산 속도는 감소함을 확인하였다. 이러한 결과는 DED 공정을 통한 repairing이 수소 취성 저항성을 향상시키며, 추후 수소 환경에서 사용되는 부품의 높은 신뢰성을 가질 수 있음을 시사한다.

[적층3-1 | 14:00]

Multifaceted deformation mechanisms in a near-fully recrystallized Al/Ti/V-modified Ni-based multi-principal-element alloy via direct energy deposition in-situ alloying: Wu Renhao, Hyojin Park, Jaehueng Lee, Shi Woo Lee, Jalal Kangazian, Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

Keywords: Ni-based multi-principal-element alloy, Trace elements, Near-fully recrystallization, Additive manufacturing induced cellular precipitates, Multifaceted deformation mechanism

Laser additive manufacturing is widely investigated as a superior paradigm integrating material design, processing, and multi-property optimization. However, its intrinsic solid-liquid thermal cycling and severe plastic deformation can drive rapid accumulation of multiscale defects, leading to performance degradation. In this work, we present a density functional theory -guided in situ alloying strategy via direct energy deposition to tailor matrix stacking fault energy (SFE) and precipitation mechanisms in a novel Ni-34.7Cr-17.5Fe-17.5Co-14.5Al-6.3Ti-4.5V (at.%) multi-principal-element alloy. By strategically elevating Al content while controlling Ti/V concentrations, a stabilized medium-to-high SFE matrix was achieved under severe plastic deformation during additive manufacturing. This promotes homogeneous cellular precipitates emerged at grain interiors and boundaries and facilitates dynamic recrystallization. The well-designed approach enables a near-fully recrystallized matrix while promoting columnar-to-equiaxed transition, effectively mitigating anisotropy and enhancing in-service performance. The work establishes a groundbreaking strategy for developing next-generation Ni-based alloys through hierarchical microstructure engineering.

[적층3-2 | 14:15]

직접용융증착법으로 제조된 Inconel 718 **합금의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화** : 권시은, 김정기 *(경상국립대학교)

Keywords: Inconel 718, Directed energy deposition, Response surface methodology, Heat treatment

복합 화력 발전 산업의 탄소 배출 저감 및 전력 수급망 안정화 요구에 따라 고효율 가스터빈의 운전 조건 확보를 위해 작동 온도 증가는 필수적이다. 이로 인해 고온 환경에서 장시간 안정적으로 운전이 가능한 가스터빈 내열소재/부품의 수요가 증가하고 있다. 그러나, 터빈의 장기운용 중 반복적인 피로 하중 및 열응력으로 인한 부품의 손상은 불가피하며, 이에 대한 유지보수는 매우 중요한 이슈가 되었다. 이로 인해 최근 형상 제약이 적고 신속하며 정밀한 복원이 가능한 적층제조 기술이 주목받고 있으며, 높은 자유도와 효율을 갖춘 직접용융증착법(Directed energy deposition, DED)이 각광받고 있다. 적층제조를 활용한 유지보수는 경제성 측면에서 이점이 있지만, 복잡한 공정변수 간의 상호작용으로 인해 공극, 편석, 미세조직 비균일성과 같은 결함이 발생할 수 있으며, 이는 기계적 성능 저하로 이어진다. 따라서, 본 연구에서는 상대적으로 적은 Al과 Ti 함량으로 적층이 용이한 Inconel 718 합금을 대상으로 최적의 보수용접 조건을 도출하기 위해 반응표면분석법(Response surface methodology, RSM) 기반 공정 최적화를 수행하였다. 실험 결과, 높은 치수 정확도, 상대 밀도, 경도의 조합을 지닌 최적 조건을 도출하였으며, γ′ 및 γ″ 강화상의 형상 및 분포 제어와 미세조직 안정화를 위해 Direct aging(DA) 및 Solution treatment + aging(STA) 열처리를 적용하였다. 이후 초기 시편(As-built, AB)과의 미세조직 비교 분석을 수행하고, 다양한 온도 조건에서의 인장 특성 평가를 통해 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계를 규명하였다. 본 연구 결과는 최적의 DED 공정 조건과 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화의 정량적 상관관계를 제시함으로써, Inconel 718 합금 기반 가스터빈 부품의 정밀 유지보수 공정 설계에 대한 방향성을 제공한다

[적층3-3 | 14:30]

DED–Rolling 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 동적 재결정화에 따른 미세조직 균질화 및 기계적 특성 분석: 임민혁*, 이지운*, 홍순직, 조성재, 김현중, 유현우, 배주은(국립공주대학교)

Keywords: Nickel-based alloy 625, Directed Energy Deposition, Plastic deformation, Recrystallization (Dynamic, Static), Homogenized microstructure

Inconel 625 합금은 Ni 기반 초내열 합금으로 900ºC 이상의 고온에서도 우수한 강도, 내산화성을 띠고, 용접성과 가공성 모두 우수한 편으로 적층 제조(Additive Manufacturing) 공정에 활용하기 적합한 소재이다. 금속 분말 기반 방식인 Directed Energy Deposition (DED)으로 제조했을 때 빌드 방향을 따라 형성되는 주상 결정립(Columnar grain)은 특정 방향에서의 텍스처가 우세하여 미세조직 이방성이 강하게 나타나는데, 이는 장시간 고온 노출 시 Laves 상, δ상 석출로 입계 취성 및 크리프 수명 저하 문제가 나타난다. 본 연구에서는 이러한 한계를 개선하기 위해 DED 공정 파라미터 최적화와 소성가공 및 후열처리를 통하여 미세 등축 조직 형성과 2차 상의 입계 석출을 유도하였다. 먼저, 공정 최적화 결과는 가장 높은 경도 값을 나타내고, 적층 밀도가 99.45%로 우수하면서 상단과 하단 밀도 차이가 가장 적게 나타난 공정 조건을 채택하였다. 이러한 최적 조건으로 압연재를 적층한 뒤 냉간 압연을 통해 압하율이 증가함에 따른 내부 slip band 간 병합/소멸 현상과 내부 변형 축적이 가하는 영향을 관찰하고, 후열처리를 통해 정적 재결정을 유도하여 미세조직 균질화 및 상 변화를 관찰하였다. 분석 과정은 재료 표면의 국부적 소성변형 저항 평가를 위해 비커스 경도 측정과 주사전자현미경의 EBSD 미세조직 분석을 진행하였다. 미세조직 분석은 IPF, KAM, GOS, Phase Map 등을 진행하였고, 압하율이 증가함에 따라 KAM, GOS value가 우상향하였다. 미세조직 분석 결과 As-built부터 압하율 10%까지는 BD 방향 columnar 조직이 지배적이었고, 20%부터 KAM, GOS value 수치가 2배 이상 급증함과 동시에 lamellar 형태를 띠는 Deformation twin이 형성되기 시작하였다. 이후 30–40%에서는 내부 응력이 표면부에 집중되고 shear band가 동반되며 가공 경화로 인한 미세조직 세립화가 심화되었다. 열처리 후 모든 압하율 조건에서 KAM 0.29–0.34°, GOS 0.27–0.32°로 수렴하고 등축 재결정립과 annealing twin이 관찰되어 잔류변형/응력이 크게 감소하였음을 시사한다. 비커스 경도 결과를 종합하면 As-rolled에서 압하율이 10% 간격으로 증가할수록 경도는 약 10~15% 우상향하였고, Heat-treated 이후에도 마찬가지로 우상향 그래프를 나타냈으나 경도 증가 폭은 1~4%로 크게 감소함을 보였다. 이러한 결과를 통해 압하율 증가에 따른 변형 에너지 축적은 재결정 구동력을 증대시키고 열처리를 통해 소성가공으로 인한 변형 불균일성 완화 및 등축 세립화는 균질한 미세조직으로 전환되었다. 즉, 적층 제조 DED 공정의 최적 조건을 제시하였고, 소성 가공 접목을 통한 압하율에 따른 상관 관계에 대하여 고찰하였다. 추후 연구에서는 이러한 압하율에 따른 미세조직 분석 결과를 기반으로 적층-압연 과정을 반복적으로 진행하는 Interlayer rolling 공정을 접목할 것이며, 레이저 입열을 이용한 동적 재결정화를 유도하여 추가적인 열처리 없이 균질한 등방성 미세조직을 나타내고자 한다. 그리고 상온 및 고온 인장 시험, 피로 및 크리프 시험을 통한 특성 분석을 하여 초내열 부품 제조 또는 수리에 활용할 수 있는 가능성을 모색하고자 한다.

[적층3-4 | 14:45]

Directed Energy Deposition 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 동적 변형시효 거동 분석: 강호성(경상국립대학교), 곽민석(현대제철), 고원석(인하대학교), 박기덕(GODTECH), 김상식(경상국립대학교), 김형섭(포항공과대학교,연세대학교, 도호쿠대학교), 설재복(국민대학교), 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: Additive Manufacturing, Ni-based Superalloys, Dynamic Strain Aging, Mechanical Property, Microstructure

Inconel 625 합금을 기반으로 한 적층제조는 가스터빈 시스템의 유지보수 및 수리(MRO) 분야에서 활용되며, 복합발전소의 장기적인 수명 확보와 효율 개선에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 본 합금은 고온 환경에서 변형 불안정성을 나타내며, 이는 구성부품의 기계적 성능을 저하시키는 주요 요인으로 작용한다. 기존 연구에서는 원소 편석 및 이차상의 존재가 이러한 변형 불안정성의 원인으로 제기되었으나, 소성 변형 중 발생하는 미세조직학적 변화만으로는 이를 명확히 설명하기에는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 Directed Energy Deposition(DED) 공정으로 제작된 Inconel 625 합금을 대상으로 고온 소성변형 중 발생하는 변형 불안정성의 원인을 규명하고자 하였다. 이를 위해 실험적 관찰과 함께 First-principles Density Functional Theory(DFT) 계산을 병행하여 Stacking fault energy (SFE)를 예측하였으며 유한온도조건에서의 정성적 효과를 분석하였다. DFT 계산 결과, 합금 원소 첨가 및 온도 상승에 따라 SFE가 감소하는 경향을 보였다. 또한, 기지 내 Co, Cr, Fe 등 주요 고용 원소에 의해 형성된 Chemical Short Range Ordering (CSRO)은, 923 K에서 10% 변형 시 약 1 nm 크기로 형성되었으나, 30% 변형 시 2-3 nm 수준으로 성장하는 것이 관찰되었다. 이러한 SFE 감소와 CSRO의 성장은 전위의 활주 평면성을 향상시켜, 고온에서 부분 전위 분해를 촉진하는 것으로 나타났다. 상기의 원인으로 인해 고온에서 {111}면에서의 부분 전위 분해 및 Lomer-Cottrell Lock이 활성화되어, 상온에 비해 전위의 반복적인 잠금-해제가 빈번하게 나타남을 확인하였다.

[적층4-1 | 17:10]

Improvement of Temperature-Dependent Tensile Behavior in Laser Powder Bed Fusion Fabricated Hastelloy X Ni-based Alloy: Kangazian Kangazi Jalal, Soung Yeoul Ahn, Shiwoo Lee, Hyeonseok Kwon, Rae Eon Kim, Jaehun Kim(POSTECH), Ahmad Kermanpur, Morteza Shamanian(Isfahan University of Technology), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

Keywords: Laser Powder Bed Fusion, Ni-based Alloys, Hot-tensile Behavior, Heat Treatment, Cryogenic

Hastelloy X (HX), a solid-solution strengthened Ni-based alloy, is widely recognized for its superior mechanical strength and corrosion resistance. This makes it suitable for manufacturing complex, highly precise parts in hot-section turbine components and the aerospace industry. Using additive manufacturing to produce near-net-shaped Ni-based superalloy parts is a growing trend in the

aerospace and energy sectors, especially due to the difficulties associated with poor machinability in traditional manufacturing methods. This presentation first discusses the laser powder bed fusion (LPBF) additive manufacturing of crack-free HX. While previous research has focused on post-treatment to improve tensile behavior, this work investigates a unique approach to tailor the microstructure through both LPBF process parameters and post-heat treatment, aiming to enhance the cryogenic to high-temperature tensile properties of the LPBFed HX. Overall, the experimental results show that selecting the scanning pattern as an island pattern combined with solution annealing at 1175 °C improves tensile properties of HX, especially elongation, over a range of temperatures, including –197 °C, 25 °C, 560 °C, 660 °C, 760 °C, and 860 °C.

[적층4-2 | 17:25]

균열 저항성이 극대화된 인코넬 939 계열 적층 제조 내열합금 개발 전략: 김동환, 김민석, 박은수*(서울대학교)

Keywords: 니켈계 초합금, 적층 제조, 균열 저항성, 비평형 응고, 기계적 특성

인코넬 939는 크립 수명과 산화 저항성이 매우 뛰어난 니켈계 내열합금 소재이다. 그러나 이 합금은 주조 대비 용접 및 적층 제조 조건에서 크게 떨어지는 기계적 특성을 나타내는데, 이는 급격히 응고되는 합금 용탕의 매우 낮은 균열 저항성에 기인한다. 본 연구에서는 인코넬 939 계열 니켈계 내열합금의 구성 원소 분율 제어를 통한 균열 저항성 및 적층성을 개선하고자 하였다. 인코넬 939 및 파생 내열합금들의 비평형 냉각 곡선을 통해 그 적층성을 예측하였다. 또한 Ti, Nb 및 C와 같은 일부 원소들의 분율을 감소시킴으로써 γ′-석출상 분율 및 기계적 특성의 하락을 최소화하면서도, 응고 및 열처리 과정에서의 균열 저항성은 크게 개선되어 적층 제조에 적합한 신규 개발 합금 조성을 제시하였다. 나아가 해당 조성의 적층 소재의 내부 공극 및 기계적 특성을 평가함으로써 개발 합금의 우수한 적층성을 검증할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 통해 인코넬 939뿐 아니라 다른 니켈계 초합금에서도 적층성 및 기계적 특성을 모두 확보할 수 있는 합금 설계 방향성을 제시할 수 있을 것으로 기대한다. 이 논문은 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(No. KRIT-CT-23-042-03)

[적층4-3 | 17:40]

Plate 구조 설계법을 도입한 Kelvin truss형 Inconel 718 lattice structure의 기계적 특성 향상: 박소연, 오주환(인하대학교), 고찬영(인천항공우주산학융합원), 이기안*(인하대학교)

Keywords: Laser powder bed fusion, Inconel 718 superalloy, Lattice structure, Mechanical property, Microstructure

Lattice structure는 특정 unit cell이 주기적으로 반복되도록 설계된 구조로, 기존 다공성 소재보다 우수한 비강도를 가지며, 형상과 소재에 따라 고유한 물리·화학적 특성을 나타낸다. Inconel 718(이하 718 합금)은 넓은 온도 범위에서 우수한 기계적 특성, 내부식성, 내산화성을 지닌 대표적인 Ni–Cr계 초합금으로, 항공우주 및 에너지 산업에서 널리 활용되고 있다. 특히 lattice structure의 높은 비강도, 뛰어난 damping 특성, 넓은 비표면을 활용한 열관리 효율 향상 등은 718 합금의 응용 가능성을 확대하며, 이를 기반으로 한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 중에서 Kelvin(truncated octahedron) truss model은 우수한 에너지 흡수 능력과 하중 분산 특성으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 기계적 특성의 추가적인 향상을 위해 Kelvin truss(KT) 구조의 일부를 plate type으로 변형한 Kelvin plate(KP) 구조를 설계·제작하였다. L-PBF 공정을 통해 unit cell 크기 3 mm로 제작된 소재의 상대밀도는 KT: 25.97%, KP: 31.84%였으며, strut 내부 결함은 매우 적었다. 압축 시험 결과, 항복강도는 KT: 337.08 MPa, KP: 72.69 MPa였으며, 비강도는 KT: 17.43, KP: 27.88로 KP가 약 160% 향상되었다. DIC 분석 결과, KP는 plate 영역이 응력집중을 완화해 shear band 형성을 억제하고 층별로 변형을 수용하며 우수한 에너지 흡수특성을 나타냈다. 추가적으로 후열처리 공정을 통해 석출상의 종류와 분율을 제어함으로써 추가적인 기계적 특성 향상 방안을 모색하였다. 상기 결과들을 기반으로, 미세조직적 변형 거동을 연계하여 lattice structure의 mechanical response를 해석하였으며, lattice 형상과 미세조직의 synergy 효과를 고려한 lattice structure의 기계적 특성 향상 방안을 논의하고자 하였다.

[적층4-4 | 17:55]

와이어 아크 적층제조 Alloy 718의 후열처리에 따른 Laves 상 용해 거동 평가 : 임시은(한국재료연구원,부산대학교), 김찬규, 강용준, 오동진, 송상우(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 박기태*(한국재료연구원)

Keywords: Wire arc additive manufacturing, Alloy 718, Laves phase, Homogenization heat treatment, Microstructure

초내열합금 Alloy 718은 γ″(Ni_3Nb) 및 γ′($Ni_3(Al, Ti)$) 상의 석출 강화 메커니즘을 기반으로 우수한 고온 기계적 강도와 구조적 안정성을 확보한 소재이다. 따라서 주로 항공·우주, 국방, 발전 산업 등 고온, 고압, 고부식의 극한 환경에서 핵심 소재로 활용되고 있다. 최근 Alloy 718을 비롯한 고성능 합금에 적층 제조(Additive Manufacturing) 기술이 결합되면서 복잡한 형상 구현과 제조 효율 향상이 가능해졌으며, 이 중 Wire Arc Additive Manufacturing(WAAM)은 높은 생산성과 중 대형 부품 제조에 적합한 공정으로 주목받고 있다. 일반적으로 적층제조된 Alloy 718에서는 응고 말기 inter-dendritic 영역에 합금원소 Nb가 편석되며, 이로 인해 취성의 Laves 상이 다량 형성되어 균열 발생 및 기계적 성능 저하의 주요 원인으로 작용한다. 이에 따라 고온의 균질화 및 용체화 열처리를 통해 Laves 상을 제어하는 것이 필수적이다. 그러나 WAAM Alloy 718의 Laves 상 형성 및 용해 거동에 관한 연구는 아직 제한적이다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 균질화 열처리 조건에서의 Laves 상의 용해 거동을 평가하여 그 특성을 체계적으로 규명하고자 하였다. 주사전자현미경(SEM) 및 X선 회절 분석(XRD)을 통해 용해 거동 및 잔류 Laves 상의 분율을 정량화하였다. 또한, 결정립 성장 및 Nb의 재분배 거동은 전자 후방 산란 회절(EBSD) 및 전자 탐침 미량 분석 기법(EPMA)을 통해 확인하였으며, 투과전자현미경(TEM)을 통해 As-built 및 열처리 후 미세조직 내에서 관찰되는 각 상의 결정 구조를 식별하였다.

학회상 수상기념 강연
Room 2층 212/13, 10월 29일

[AW-1 | 16:30] 송천학술상 수상기념강연

재활용 기반 모빌리티 소재로서 Crossover 알루미늄 합금의 적용성: 김세훈*(한국자동차연구원)

지속가능한 모빌리티 전환과 EU CBAM 규제 대응을 위한 경량소재 개발이 전 세계적으로 요구되는 가운데, 알루미늄 합금의 재활용성이 미래 자동차 산업에서 핵심적인 가치로 부각되고 있다. 특히, Car to Car 재활용을 통한 순환경제 구현을 위해서는 고순도 알루미늄의 확보보다는 재활용 공정을 고려한 합금 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 과거 개발된 Al-Mg-Zn계 비열처리(non-heat-treatable) 합금을 기반으로, 최근 제안되고 있는 재활용 친화형 합금 조성과의 연계성을 고찰하였다. 해당 합금은 Mg 함량이 6.0–6.8 wt.%이고, Zn 함량은 1.0–1.5 wt.%의 범위를 가지며, 기존 5xxx계 합금 대비 향상된 강도를 확보하면서도 7xxx계 합금의 취약점인 수소취성 및 열처리 민감도를 회피할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 비열처리형이므로 용체화 및 시효 열처리 공정이 불필요해, 재활용 과정에서의 에너지 소비를 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 합금 조성에서 나타나는 주조성, 압출성, 가공성, 내부식성 등을 분석하였으며, 이 결과를 통해 모빌리티용 소재로써 잠재성을 확인하였다. 본 연구를 통해 도출된 소재는 재활용 기반의 합금 설계 패러다임을 확장함과 동시에, 미래 자동차용 알루미늄 소재의 지속가능성(sustainability) 확보에 기여할 것으로 기대된다.

[AW-2 | 16:55] 동국승원학술상 수상기념강연

타이타늄 합금의 표면 강화 기술: 이동근*(국립순천대학교)

타이타늄 합금은 높은 비강도 및 탁월한 해수내식성, 고온 내산화성 및 크리프 강도 등 첨단 운송기기의 소재부품으로 적합하여 활발히 적용되고 있다. 하지만, 표면 내스크래치성 및 내마모성 등이 떨어져 지속적으로 마찰/마모되는 부품에는 적용이 제한된다. 이에 타이타늄 합금 표면에 열적 또는 기계적 표면처리를 수행하여 내마모성을 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 가스터빈 엔진의 경우 엔진의 흡입 단계에서 모래, 얼음 등 미세한 입자들이 빨려 들어가며 블레이드와 충돌해 침식 손상을 유발할 수 있어 블레이드의 내구성을 약화시킬 수도 있다. 일반적인 내마모 표면코팅 처리기술은 표면경화층과 기지와의 결합력, 불연속성 및 debonding, toughness 등 여러 제약이 있을 수 있다. 이에 표면에서부터 내부로의 연속적 경화층을 형성할 수 있도록 하는 표면 강화 기술에 대해 연구한 내용들을 제시하였다. 타이타늄 소재의 특성을 반영한 진공가스처리 방식으로 연속적인 경도 향상과 내마모성을 크게 향상시켰으며, 표면처리 조건에 따른 기계적, 전기화학적, 미세조직적 특성을 분석 고찰하였다.

[AW-3 | 17:20] 금속·재료상 수상기념강연

지속 가능한 에너지 저장, 그리고 LG에너지솔루션의 비전: 김동명(LG에너지솔루션)

LG에너지솔루션은 30년 이상의 리튬이온전지(LIB) 연구개발(R&D)을 통해 전기차 시장의 성장을 가능케 하였으며, 미국, 유럽, 아시아 등 글로벌 시장으로 사업을 확장하여 배터리 업계의 대표 기업으로 자리매김하였다. 본 발표에서는 LG에너지솔루션의 제품 경쟁력을 강화하기 위한 기술 개발 전략과 지속 가능한 배터리 기술 리더십을 달성하기 위한 로드맵을 제시하고자 한다. 첫째, LG에너지솔루션은 차별화된 기술을 바탕으로 소재 뿐만 아니라 공정, 팩, 배터리 관리 시스템(BMS) 등 시스템 전반에 걸쳐 R&D 혁신을 추진하고 있다. 이를 통해 급속 충전, 에너지 밀도, 안전성, 비용 경쟁력 등 고객 가치를 극대화하기 위한 솔루션을 제공하며, 에너지 저장의 한계를 뛰어넘고자 한다. 둘째, LG에너지솔루션은 AI 기반 R&D와 특허 전략을 통해 배터리 기술 개발을 가속화하고 있다. 수십 년간 축적된 기술 노하우, 데이터, 지적 재산권을 활용하여 견고한 기술적 기반을 구축하였으며, 이를 바탕으로 R&D에 AI를 접목하여 기술의 신뢰성과 개발 속도를 동시에 확보하고 있다. 이러한 접근은 단순히 개발 속도를 높이는 것을 넘어, 차세대 배터리 기술의 상용화를 앞당기는 데 기여하고 있다. 셋째, LG에너지솔루션은 글로벌 우수 대학, 연구 기관 및 다양한 기술 역량을 확보한 기업들과의 강력한 파트너십을 통해, 혁신 파이프라인을 강화하고 있다. 학계와의 협력을 지속적으로 확대하고, 이론적 발전을 실제 응용 기술로 전환하는 데 주력하여 혁신적인 배터리 기술 개발을 가속화하고자 한다. 이렇듯 기술적 혁신과 협력을 통해 차세대 배터리 기술을 선도하고, 지속 가능한 에너지 저장 솔루션을 제공하고자 하며, 앞으로도 LG에너지솔루션은 기술 혁신과 지속 가능성을 중심으로 배터리 산업의 미래를 이끌어 나가고자 한다.

학생세션
Room 2층 214, 10월 29일

[학생 1-1]

Computational Study of Nickel Based Catalysts for Efficient Ammonia Decomposition: Juyoung Han, Heon jae Jeong*(DepartmentofMechanical Engineering, Sogang University, Seoul 04107,SouthKorea)

Keywords: Ni based Catalsyt, Surface adsorption, surface dissociation, Ammonia Cracking

Recently, the use of fossil fuels has increased carbon emissions, becoming a key cause of global climate problems. To reduce the use of fossil fuels, the development of next-generation energy resources has received increasing attention, and hydrogen has emerged as a promising candidate. For safer storage and transportation, hydrogen as a next-generation energy resource is often converted into ammonia, which offers greater stability and handling advantages. As hydrogen gains importance as an energy source, there is a growing need for catalysts that can efficiently decompose ammonia to produce hydrogen. Therefore, the objective of this study is to compare and analyze the performance of Ni-based catalysts, which are widely used for ammonia decomposition, in order to identify the optimal catalytic material. This study was carried out by analyzing and comparing Ni, Ni3N, and NiO catalysts under dry and wet conditions using first-principles calculations. Structural models were constructed by placing NH_3 molecules on Ni, Ni3N, and NiO slabs under dry and wet conditions. Ab-initio molecular dynamics (AIMD) simulations were performed for 10 ps to investigate the adsorption and dissociation behaviors of NH3 on Ni, Ni3N, and NiO surfaces. The simulation results were analyzed using several methods. To quantify the extent of NH3adsorption, radial distribution function (RDF) and coordination number (CN) analyses were performed. To compare the adsorption energies of the catalysts, the d-band center was calculated.In addition, Bader charge analysis was conducted to examine the redistribution of charge density between the slab surfaces and the adsorbed NH_3 molecules. There are several criteria used to evaluate the performance of a catalyst. One important factor is the extent of NH3 adsorption on the catalyst surface. In this study, the extent of NH3 adsorption was quantitatively evaluated by comparing the Ni–N bond distance of approximately 2.0 ± 0.1 Å, which forms when NH3 is adsorbed on Ni-based catalyst surfaces, using RDF and CN analyses. Under dry conditions, the extent of adsorption followed the order NiO < Ni < Ni3N, while under wet conditions, it followed Ni < NiO < Ni3N. Ni and Ni3N showed higher adsorption under dry conditions, while NiO exhibited higher adsorption under wet conditions. In particular, NiO showed a significant increase in adsorption under wet conditions compared to dry conditions.

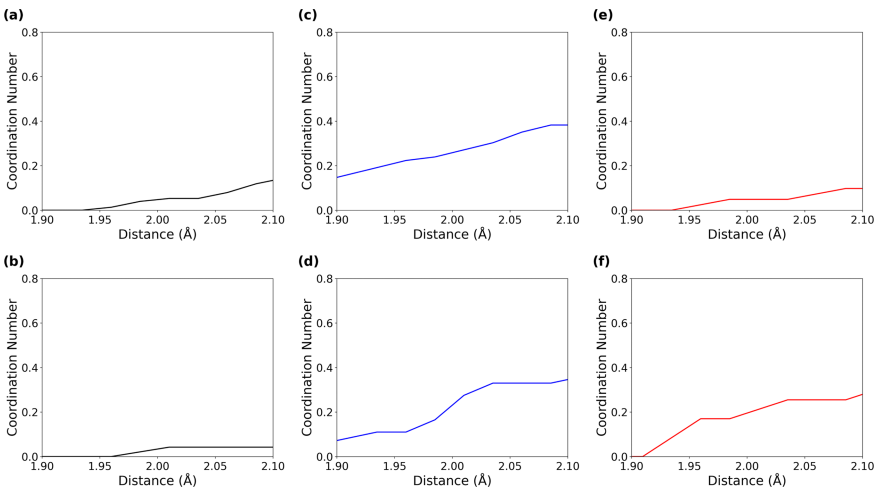


Fig. 1. Coordination number (CN) analysis graphs derived from the RDF analysis of NH3 adsorption on various Ni based catalyst. These graphs are constrcuted based on RDF results and represent the actual cumulative number of atomaic interactions, enabling evaluation of the extent of NH3 adsorption related to its cracking behavior. (a) Dry NH3 on pure Ni, (b) Wet NH3 on pure Ni, (c) Dry NH3 on Ni3N, (d) Wet NH3 on Ni3N, (e) Dry NH3 on NiO, (f) Wet NH3 on NiO

Subsequently, the d-band center was analyzed to compare the adsorption energies of each Ni-based catalyst under both dry and wet conditions. The d-band center, defined as the average energy level of the d orbitals in transition metals, is known to correlate with adsorption energy, as values closer to the Fermi level generally lead to stronger adsorption. While Ni and Ni3N showed only slight variations in their d-band center values under both dry and wet conditions, NiO exhibited a significant shift from –4.28 eV to –1.89 eV, moving much closer to the Fermi level, which was set to 0 eV. The trend of increased adsorption energy for NiO under wet conditions appears to correlate with the increased NH_3 adsorption on NiO observed under the same conditions. Finally, Bader charge analysis was conducted to examine the extent of charge redistribution at the interface between the adsorbed NH3 and the Ni-based catalyst surfaces. Under wet conditions, the extent of charge

redistribution followed the order NiO < Ni3N < Ni, while under dry conditions, it followed NiO < Ni < Ni3N. In all cases, a higher degree of charge redistribution was observed under wet conditions. It was also observed that the trend in adsorption differed from that of charge redistribution. In this study, the catalytic performance of Ni-based materials was compared by simulating the adsorption and dissociation behavior of NH_3 molecules on the catalyst surfaces through AIMD calculations. However, a more thorough evaluation of catalytic performance requires further investigation into the detailed dissociation mechanism of NH_3 on the catalyst surface. In future work, we plan to conduct a stepwise analysis of the NH_3 dissociation mechanism on Ni-based surfaces using first-principles calculations.

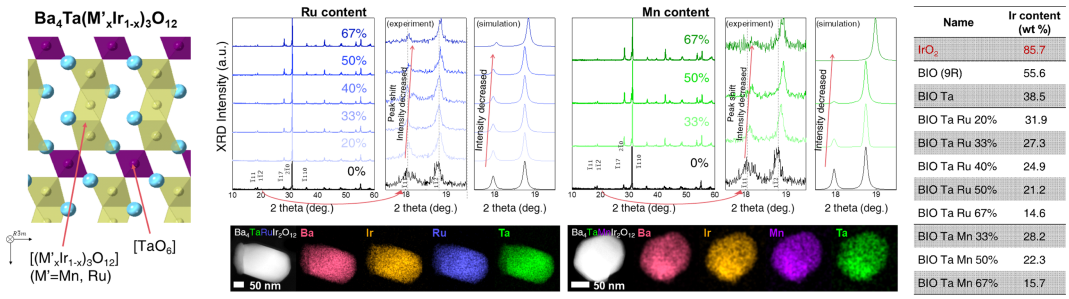
Acknowledgement: We gratefully acknowledge the use of high-performance computing (HPC) resources, specifically the Nurion clusters, provided by the KISTI R&D Innovation-Support Program at the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI).

[학생 1-2]

Engineering Durable Low-Iridium Electrocatalysts: The Role of Ru and Mn in Barium Iridate for Acidic Oxygen Evolution Electrocatalysis: Hyeonsoo Wi1*, Ki Hyun Park, Sung-Yoon Chung+(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

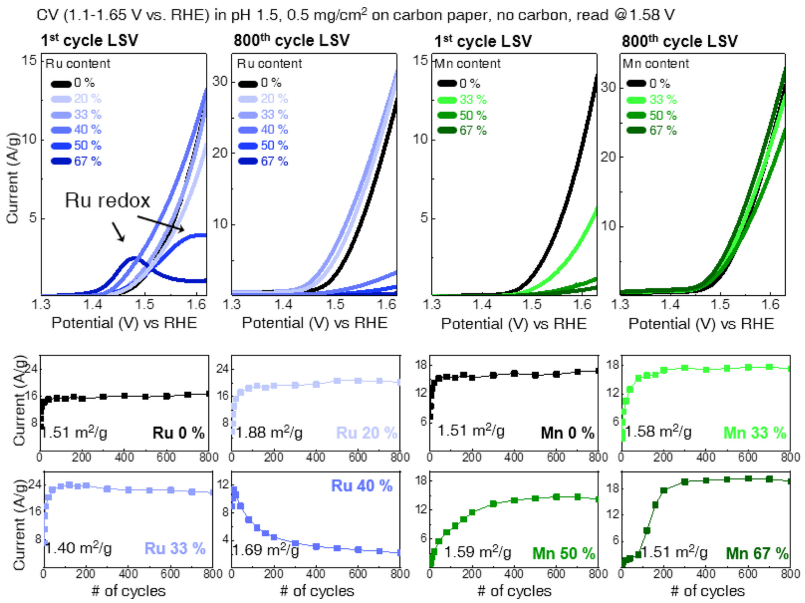
Keywords: Electrocatalysis, Oxygen Evolution Reaction, Complex iridate

Perovskite-based catalysts have emerged as promising candidates for oxygen evolution reaction (OER) due to their structural flexibility and tunable properties. In this study, we synthesized $BaIrO_3$ and $Ba_4Ta(Mn_xIr_{1-x})_3O_{12}$, $Ba_4Ta(Ru_xIr_{1-x})_3O_{12}$ perovskite oxides by substituting iridium with manganese (Mn) and ruthenium (Ru) to enhance catalytic performance while reducing the reliance on iridium. Using a solid-state synthesis method, we achieved uniform doping of Mn and Ru into the lattice structure, confirmed through XRD and STEM-EDS analyses.

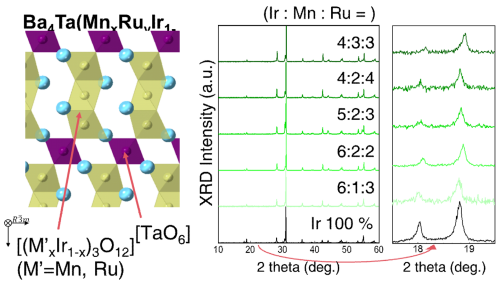


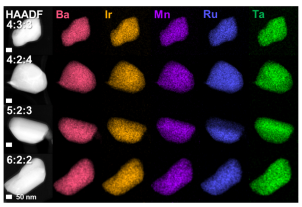
Name	Ir content (wt %)
IrO_2	85.7
BIO (9R)	55.6
BIO Ta	38.5
BIO Ta Ru 20%	31.9
BIO Ta Ru 33%	27.3
BIO Ta Ru 40%	24.9
BIO Ta Ru 50%	21.2
BIO Ta Ru 67%	14.6
BIO Ta Mn 33%	28.2
BIO Ta Mn 50%	22.3
BIO Ta Mn 67%	15.7

Electrochemical performance was evaluated using cyclic voltammetry (CV) in acidic condition. The electrochemical test results demonstrated that Ru substitution significantly improved catalytic activity but compromised stability when the Ru content exceeded 33 %, due to Ru leaching in acidic environments. Conversely, Mn substitution enhanced structural stability by suppressing lattice oxygen vacancy formation and preventing structural degradation, despite not directly contributing to OER catalysis.



By adjusting the substitution ratios of Mn and Ru, we successfully synthesized multi-component $Ba_4Ta(Ir_xMn_yRu_z)_3O_{12}$ (x+y+z=1) structures that reducing Ir content to as low as 17.6 wt%.





Name	Ir content (wt %)	Average ionic radii of trimer
BIO Ta 613	25.2	75.4
BIO Ta 622	25.4	74.5
BIO Ta 523	21.6	74.45
BIO Ta 424	17.6	74.4

This study highlights the synergistic effects of Mn and Ru co-substitution in perovskite structures, achieving both enhanced catalytic activity and stability with reduced Ir usage. These findings provide a pathway for designing cost-effective and durable catalysts for OER applications in acidic environments.

References: 1) Journal of the American Chemical Society 147.21 (2025): 17725-17738. 2) Nature Communications 16.1 (2025): 4152.

[학생 1-3]

Exploring $SrSb_2$ as a Novel Thermoelectric Material & Its Intrinsically Low Lattice Thermal Conductivity : 이강건(한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과), 장한휘(한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과), 정연식*(한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과), 오민욱*(한밭대학교 신소재공학과)

Keywords: Thermoelectric, strontium antimonide, low- to mid-temperature

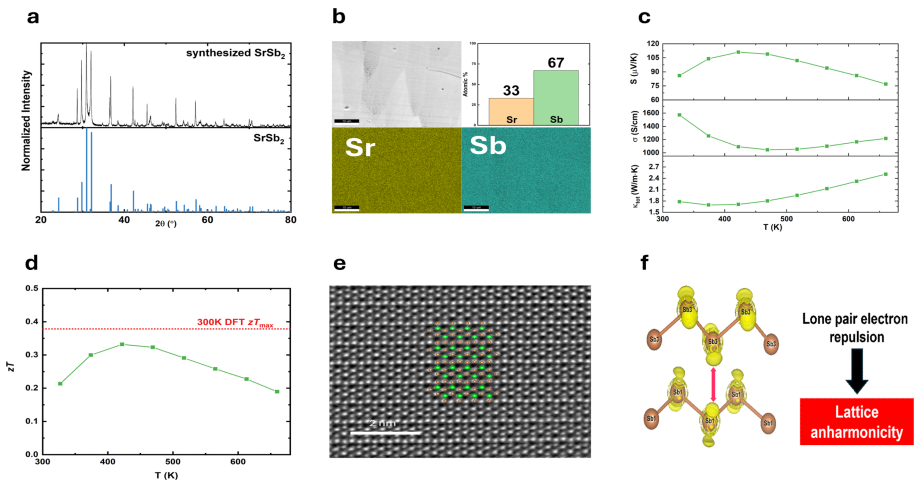


Fig. 1. (a) Powder XRD patterns of $SrSb_2$ measured at 298 K. (b) BSE-SEM images of polished surface of $SrSb_2$ with EDS mapping. Seebeck coefficient(S), electrical conductivity(σ), total thermal conductivity(κ_{tot}), and zT of samples are shown in (c) and (d). Atomic-resolution HAADF-STEM image of $SrSb_2$ showing its characteristic layered-chain structure. (e) Structural model of $SrSb_2$ is overlaid on the image for better visibility (Sr:Green, Sb:Brown). (f) Electron localization function map of $SrSb_2$ showing the existance of lone pair electrons whose repulsion is the origin of low lattice thermal conductivity.

1. Introduction Thermoelectric materials have garnered significant attention due to their unique capability to directly convert heat into electricity and vice versa. Particularly, with the growing interest in the Internet of Things (IoT), low-temperature thermoelectric materials have become increasingly essential for self-powered devices and active thermal management systems.[1)] Although bismuth telluride (Bi_2Te_3)-based alloys have been the benchmark room-temperature thermoelectric materials for several decades, their practical applications remain limited by the scarcity of tellurium (Te). Recently, strontium antimonide ($SrSb_2$) has emerged as a promising alternative, exhibiting a high theoretical thermoelectric figure of merit (zT) in the low- to mid-temperature range according to density functional theory (DFT) calculations.[2)] However, experimental validation and characterization of the thermoelectric properties of $SrSb_2$ have been elusive. In this study, we report the first comprehensive experimental investigation of $SrSb_2$, including the elucidation of the underlying mechanism responsible for its low lattice thermal conductivity. Our findings highlight the significant potential of $SrSb_2$ as an efficient low to mid-temperature thermoelectric material. 2. Methodology We designed Sr-Sb alloys with exact stoichiometric ratio. High-quality polycrystalline samples are synthesized using vacuum arc melting, followed by induction hot pressing where the temperature of sintering are 673K and 773 K respectively, with 50MPa uniaxial pressure. 3. Key Research Findings First, we study the

structural properties of $SrSb_2$. Fig. 1a shows the powder X-ray diffraction (XRD) pattern, where majority phase is indexed to monoclinic $SrSb_2$ without noticeable secondary phase. Minor Sb phase along the grain boundary is expelled by increasing the sintering temperature to 773K, improving phase purity. From Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy(SEM-EDS) analysis (Fig. 1b), homogeneous $SrSb_2$ phase is observed, with desired Sr:Sb=1:2 atomic ratio, leading to the enhanced Seebeck coefficient, electrical conductivity, and thermal conductivity (Fig. 1c). Eventually, the maximum experimental zT value of $SrSb_2$ closely approaches the theoretical value predicted by DFT calculations. (Fig. 1d). In addition, the low lattice thermal conductivity result from its unique layered-chain structure prone to phonon scattering[2]. Crystal structure observed by HAADF-STEM image is well matched with the expected layered-chain structure[2] (Fig. 1e). Electron localization function (ELF) map of $SrSb_2$, illustrating the presence of lone-pair electrons whose repulsive interactions give rise to the lattice anharmonicity (Fig. 1f). This inherited anharmonic lattice are key to scatter phonons, resulting in the low lattice thermal conductivity. These in-depth understandings of $SrSb_2$ will aid in the development of low-to mid-temperature thermoelectric materials as potential alternatives to conventional Bi_2Te_3-based alloys.

References: 1) D. Narducci, J. Phys. Energy 1, 024001 (2019). 2) M. Y. Toriyama, A. N. Carranco, G. J. Snyder, P. Gorai, Mater. Horiz., 10, 4256-4269 (2023).

[학생 1-4]

Al/BNNB 복합재의 기계적,열적 특성 향상 연구: 이효정*(국민대학교), 한주연(국민대학교), 구자연((주)EML), 박은수((주)EML) , 최현주+(국민대학교)

Keywords: BNNB, Al, 기계적특성, 열적 거동, 나노 복합재

고출력 전자소자, 배터리, 항공우주 및 자동차 산업의 발전에 따라, 높은 기계적 강도와 우수한 열전도성을 갖춘 경량 금속 복합재료에 대한 산업적 수요가 급격히 증가하고 있다. 특히 알루미늄(Al)은 가벼운 무게와 우수한 가공성으로 인해 산업 전반에서 폭넓게 사용되고 있으나, 낮은 기계적 강도와 열적 제한성으로 인해 고성능 구조재료로의 응용에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 나노 수준에서 높은 기계적 특성과 우수한 열전도도를 동시에 지닌 보강재를 활용하는 것이 효과적인 접근법으로 보고되고 있으며, 그중 나노가시구조 질화붕소(Boron Nitride Nano Barb, BNNB)는 독특한 표면형태와 탁월한 물성으로 최근 주목받고 있다. BNNB는 나노막대 형태의 거친 표면(topology)으로 인해 매트릭스와의 계면 결합력이 우수하고, 전위 이동을 효과적으로 제어하며, 하중을 전달함으로써 기계적 강화 효과를 유도할 수 있다. 또한 높은 열전도성과 절연성을 동시에 지니고 있어 전자 패키징 및 방열 소재로서의 잠재력도 크다. 그러나 BNNB 함량이 증가할수록 균일한 분산과 계면 결합 특성이 저하될 수 있어, BNNB 첨가에 따른 기계적 특성 향상 효과를 극대화할 수 있는 적정 함량을 도출하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 BNNB를 보강재로 첨가한 Al 매트릭스 복합재를 두 단계의 볼밀링 공정을 통해 제작하여, 기계적 강화 효과와 결정립 미세화 메커니즘을 규명하고, 나아가 Al과 BNNB 간의 열팽창계수 차이에 기인하는 열적 거동을 탐구하기 위한 기초 데이터를 확보하고자 하였다. BNNB (1.5, 3, 4.5 vol%) 와 Al 분말은 BNNB의 균일 분산을 위한 공정제어제(Process Control Agent, PCA)로 Stearic acid를 첨가하여 Milling을 진행하고자 하였다. Plantary mill은 1차로 BNNB와 Stearic acid (PCA) 3 wt.%를 planetary mill을 이용해 볼:분말 비 15:1, 200 rpm으로 15분씩 2회 밀링하고 30분씩 휴식하는 과정으로 2번 진행하였다. 이어서 Al과 BNNB를 혼합한 분말을 Attrition mill에서 동일 비율의 볼과 분말로, 500 rpm, 6시간 동안 추가로 밀링하였다. 이후 혼합된 분말을 구리 튜브에 충진하여 21 MPa로 냉간압축한 뒤, 약 12% 의 압하율로 1.5mm까지 열간압연하여 Al/BNNB 복합재 시편을 제작하였다. 제작된 복합재 시편의 기계적 특성 평가는 비커스 경도 측정과 인장 시험을 통해 인장강도(Ultimate Tensile Strength, UTS), 연신율(Elongation, El.) 및 탄성계수(Young's modulus)를 측정하였다. 미세조직은 주사 전자 현미경,전자 후방 산란 회절, 투과 전자 현미경, 전자 에너지 손실 분광법 분석을 통해 관찰하였고, 투과 전자 현미경 이미지를 기반으로 결정립 크기 분포를 정량화하여 결정립 미세화 효과를 평가하고자 하였다. 열적 거동은 향후 열전도도 및 열팽창계수 분석을 통해 규명할 예정이다. 나아가 Al과 BNNB 간의 열팽창계수 차이에 기인하는 열적 거동을 탐구하기 위한 기초 데이터를 확보하고자 한다.

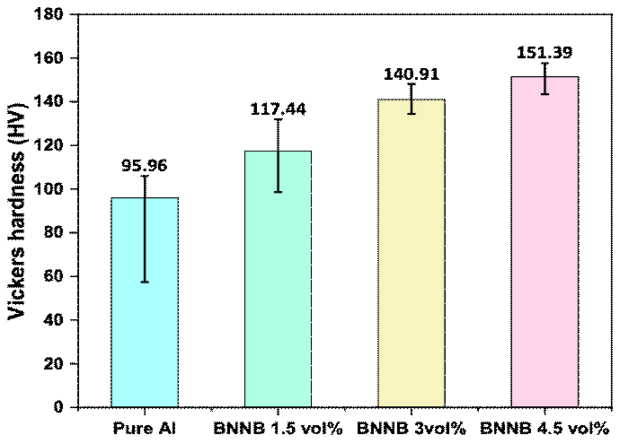


Fig. 1. BNNB 함량에 따른 Pure Al 및 Al–BNNB 복합재의 비커스 경도 변화

본 연구에서는 BNNB를 함유한 Al 복합재의 기계적 강화 효과를 평가하기 위해 비커스 경도를 분석하였다. Pure Al 대비 BNNB 함량이 1.5, 3.0, 4.5 vol.%로 증가할수록 경도가 각각 117.44, 140.91, 151.39 HV로 향상되었으며, Pure Al 과 비교했을때 Al - BNNB 4.5 vol.%의 경우 약 57.8% 향상한 것으로 이는 BNNB의 보강 역할과 미세조직 개선 효과에 의한 것으로 예상된다.

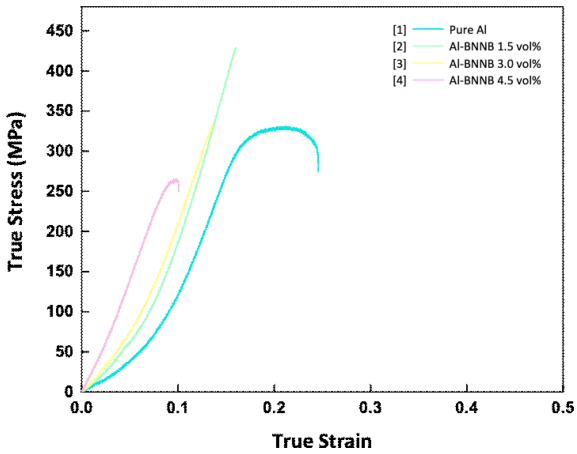


Fig. 2. Pure Al 및 Al–BNNB 복합재의 BNNB 함량에 따른 응력–변형률 곡선

또한, Al–BNNB 복합재의 인장 거동을 평가한 결과, Pure Al 대비 BNNB 첨가에 따라 인장 강도가 향상되는 경향을 보였다. 특히 1.5 vol% BNNB에서는 가장 높은 인장 강도가 확인되었으며, 이는 BNNB의 균일한 분산과 하중 전달 효과에 기인한 것으로 판단된다.

Table 1. Pure Al 및 Al–BNNB 복합재의 BNNB 함량에 따른 기계적 특성

Materials	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Fracture stress (MPa)	Elongation (%)	Young's modulus (GPa)
Pure Al	330.74	276.25	24.56	0.94
Al-BNNB 1.5 vol%	429.41	428.07	15.97	0.91
Al-BNNB 3.0 vol%	332.75	331.08	13.57	1.01
Al-BNNB 4.5 vol%	265.56	252.45	10.06	2.28

응력–변형률 곡선 분석 결과, BNNB 함량 증가에 따라 시편의 항복 강도와 인장 강도가 Pure Al 대비 향상되는 경향을 보였으며, 특히 1.5 vol.% BNNB 첨가 시 가장 우수한 특성이 나타났다. 투과 전자 현미경 분석 결과, BNNB는 Al 매트릭스 내에 균일하게 분산되어 있으며, 결정립 크기가 감소하는 거동이 관찰되었다. 또한, BNNB의 높은 열전도성과 Al과의 열팽창계수 차이로 인한 계면 응력 분포 및 열전도 거동에 영향을 미칠 가능성이 높아, 향후 열적 거동에 대한 정량적 평가를 통해 이를 규명할 계획이다. 본 연구는 Al/BNNB 복합재의 강화 메커니즘과 미세조직의 정량적 변화를 규명함으로써 고성능 경량 구조재료 개발을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

References: 1) B. Nemutlu, O. Kahraman, K.B. Demirel, I. Erkul, M. Cicek, H. Sahin, K.C. Dizdar, D. Dispinar, Arch. Foundry Eng. 22(2) (2022) 5–10. 2) S.J. Nam, S.H. Hong, H.T. Jeon, Sci Rep 8 (2018) 1614. 3) L. Li, Y. Chen, W.Z. Li, Z.X. Wang, J Mater Res 27 (2012) 2309–2316.

[학생 1-5]

질화물 유도 자가 형성 공정을 이용한 Al/SiC/CNT 나노 하이브리드 복합재의 기계적 및 열적 특성 연구: 이지원, Kanhu Nayak, 한주연, 이건배, 최현주*(국민대학교 신소재공학과)

Keywords: 알루미늄 하이브리드 복합재, 질화물 유도 자가 형성 공정, 우주 항공 소재

위성에 적용되는 금속 재료는 운용 과정에서 초저온부터 고온까지의 급격하고 반복적인 열 충격을 견디며 동시에 높은 구조적 안정성을 유지해야한다. 이러한 극한의 온도 변화 환경에서도 부품의 변형을 최소화하며 안정적으로 작동하기 위해 낮은 열팽창계수(Coefficient of Thermal Expansion, CTE)가 요구되며, 열의 빠른 분산을 통해 열응력을 완화하기 위해 높은 열전도도(Thermal Conductivity, TC)가 필수적이다. 또한 우주 환경에서 발생하는 다양한 기계적 하중에 견딜 수 있도록 우수한 기계적 강도 및 경량 특성을 동시에 갖추어야 한다. 이러한 다중 성능 요구를 만족시키기 위해 전통적으로 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등의 경량 금속에 고강도 세라믹 입자를 단일 강화재로 분산시킨 금속기 복합재(Metal Matrix Composites, MMCs)가 개발되었다. 그러나 단일 종류의 강화재 만으로는 이러한 복합적인 성능 요구를 동시에 최적화하기에 기능적 한계가 존재한다. 따라서 서로 다른 특성을 가지는 두 종류 이상의 강화재를 조합하여, 상호 보완적인 특성을 나타내는 하이브리드 금속 복합재를 주목하고 있다. 하이브리드 복합재는 각각의 강화재가 담당하는 열적·기계적 기능을 조절함으로써 목표 물성에 따라 특성을 균형적으로 제어할 수 있다. 특히 위성 구조

체와 같이 열적 안정성과 기계적 특성이 동시에 요구되는 고기능 경량 구조 부품에 있어 유망한 재료 플랫폼으로 간주되고 있다. 본 연구에서는 알루미늄(Al)을 기지 금속으로 하고 나노 크기의 실리콘 카바이드(SiC) 및 탄소나노튜브(Carbon Nanotube, CNT)를 각각 분산시킨 분말을 활용하여 복합재를 제조하였으며, 기계적 및 열적 특성을 종합적으로 평가하였다. 실험에 사용된 복합재 분말은 108–150 μm 크기의 순수 Al 분말을 3 vol.% SiC (1 μm) 또는 3 vol.% CNT (직경 32 ± 10 nm)와 함께 어트리터 밀링(550 rpm, 12 시간)을 통해 각각 나노결정화된 A 분말(Al/3%SiC)과 B 분말(Al/3%CNT)로 제조하였다. 이후 각각의 A 또는 B 분말을 10, 20, 30 wt.%로 pure Al (10 μm), 그리고 마이크로 크기 SiC (10 wt.%, 10 μm)와 함께 터뷸런스 믹서(65 rpm, 30 분)를 이용하여 총 6종의 하이브리드 복합 분말을 제조하였다. 이 복합 분말은 질소 분위기 하에서 660 °C, 1시간 동안 질화물 유도 자가 형성 공정(Nitride-Induced Self-Forming Process, NISFAC)을 거쳐 제조되었으며, 후속 공정으로 580 °C에서 1시간 동안 핫 프레스를 통해 치밀화를 유도하였다. 제조된 복합재는 광학현미경을 통해 미세조직을 관찰하였으며, 비커스 경도, 압축강도, 탄성계수 등의 기계적 특성과 함께 열전도도(TC) 및 열팽창계수(CTE)를 측정하였다. 모든 시편은 상대밀도(아르키메데스법) 98% 이상의 우수한 치밀도를 달성하였으며, 광학현미경 분석 결과 SiC 입자가 복합재 내에 균일하게 분산되어 있음을 확인하였다.

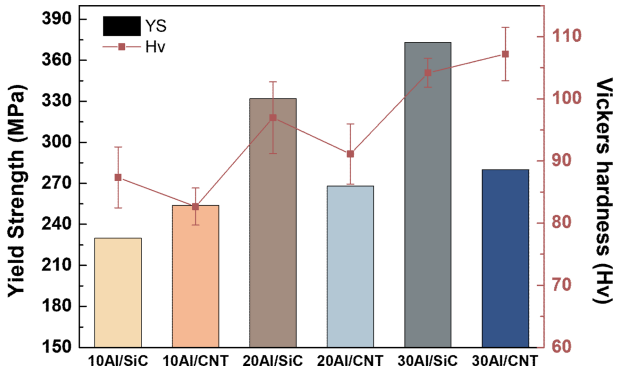


Fig. 1. (a) 순수 Al 기지, (b) Al6061 기지 복합재의 나노분말 종류 및 함량에 따른 항복강도와 비커스 경도 변화.

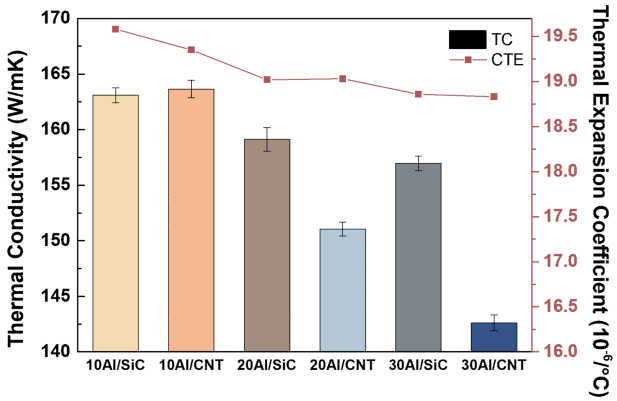


Fig. 2. 순수 Al 기지 복합재의 나노분말 종류 및 함량에 따른 열전도도 및 열팽창계수 변화.

기계적 특성 측면에서 순수 Al 기지 복합재는 SiC 및 CNT의 함량 증가에 따라 경도가 향상되었다. 특히 SiC는 구형 입자로서 분산성이 우수하여 복합재 내에 균일하게 분포되기 쉬운 반면, CNT는 1차원 섬유 형태로 인해 응집되기 쉬워 분산에 한계가 있다. 이에 따라 SiC가 CNT보다 더욱 뚜렷한 경도 향상 효과를 나타내었으며 우수한 열전도도 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 SiC에 의한 강도 및 열전도도 향상, CNT에 의한 열팽창 억제 효과가 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 또한, 볼밀링을 통한 나노 강화재의 균일한 분산이 미세조직 균질화에 기여함으로써 복합재의 전체적인 열적·기계적 성능 향상을 유도하였다. 본 연구는 NISFAC 공정을 기반으로 다양한 강화재 조합에 따른 열적·기계적 성능 최적화 가능성을 실험적으로 입증하였으며, 향후 고신뢰성·경량 위성용 금속 복합 소재 설계 및 개발에 있어 효과적으로 기여할 수 있다.

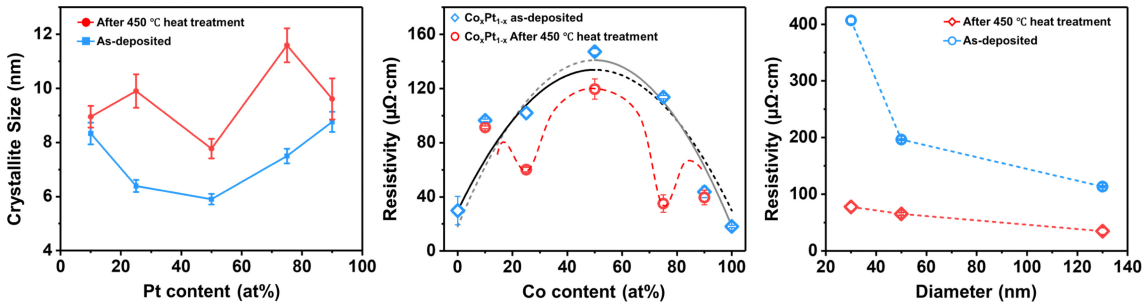
References: 1) Z. Lv, J. Sha, G. Lin, J. Wang, Y. Guo and S. Dong, J. Alloys Compd., 947, 169550 (2023). 2) H.H. Kim, J.S.S. Babu, C.G. Kang, Mater. Sci. Eng., A 573 92–99, (2013).

[학생 1-6]

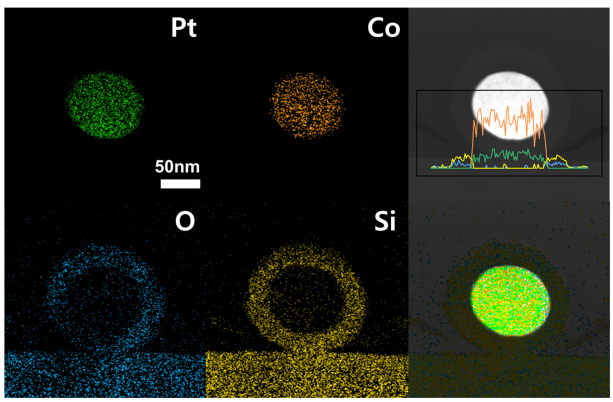
미래 배선 소재로서 코발트-플래티넘 나노와이어의 전기적 특성들: 김영근*(고려대학교 신소재공학과), 문지성(고려대학교 신소재공학과), 오은수(고려대학교 신소재공학과), 장영준(고려대학교 반도체시스템공학과), 정은진(고려대학교 신소재공학과), 문준환(고려대학교 신소재공학과), 김연범(고려대학교 신소재공학과), 김양희(한국과학기술연구원 특성분석센터)

Keywords: 금속간화합물, 나노와이어, 코발트-플래티넘, 전기 증착

빅데이터와 AI 기술의 급격한 발전으로, 높은 성능과 낮은 전력 소비를 가진 전기적 디바이스에 대한 소비는 꾸준하게 증가했다. 반도체 산업은 트랜지스터 밀도를 높이기 위해 측면 스케일링에 집중해 왔으며, 신호 지연을 최소화하기 위해 채널 길이를 줄이는 방법을 사용했다. 뿐만 아니라, FinFETs과 Gate-All-Around FETs (GAAFETs)과 같은 최신 소자 구조의 개발은 중요한 성능 개선을 이끌어 왔다. 트렌지스터의 집적화가 물리적, 성능적 한계에 도달하면서 고도화된 기술 노드에서는 배선의 RC 지연이 성능 향상의 주요한 제약 요인으로 부각되고 있다. 금속간화합물(IMC)은 최근 순금속들의 장점과 한계를 절충할 수 있는 유망한 전도체 후보로 주목받고 있다. 그러나 대부분의 연구는 박막 형태의 금속간화합물에 집중되어 있으며, 전기적 저항에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 본 연구에서는 다양한 Co–Pt 계 후보 중 Co_3Pt 금속간화합물을 주요 상으로 선택하여 Co–Pt 나노와이어를 합성하고 특성 평가를 수행하였다. 나노와이어의 높은 안정성과 균일도를 확보하기 위해 삼전극 전기화학적 증착법을 적용하였으며, 합성된 나노와이어의 전기적 특성은 4단자 탐침법을 이용하여 평가하였다. 직경 130 nm의 Co_3Pt 나노와이어의 전기 저항률은 35.04 μΩ·cm으로 측정되었다. 이는 유사한 크기의 Co_3W 및 Co_3Mo 금속간화합물, 그리고 $RuxCo_{1-x}$ 합금 나노와이어에 대한 기존 연구 결과와 비교할 때 현저히 낮은 값이다. 뿐만 아니라 직경을 30 nm까지 감속시킨 경우 77.85 μΩ·cm으로 낮은 값을 나타냈다.



또한 금속 배선 공정에서의 유전체 환경을 모사하기 위해 나노와이어에 실리카 코팅을 적용하였다. 450 ℃에서 6시간 열처리한 후에도 상호 확산이 관찰되지 않아, 확산 방지층 없이 사용할 수 있는 전도체로서의 적합성을 확인하였다. 본 연구는 기존의 TaN/Ru-Co 확산 방지층 구조를 대체할 수 있는 소재의 활용 가능성을 제시한다.



References: 1) D. Gall, J. Appl. Phys, 127, 050901 (2020). 2) J. S. Kim et al., Science, 386, 6727 (2024). 3) J. H. Moon et al., J. Mater. Sci. Technol., 105, 17 (2022).

[학생 1-7]

In situ 질화 반응으로 제조한 질화 알루미늄 강화 과공정 알루미늄-실리콘 복합재료의 방열 특성: 최정원, 이제인*(부산대학교 재료공학과)

Keywords: Aluminum matrix composites, Aluminum nitride, Arc melting, Nitridation

최근 스마트폰, 전기차와 같은 최신 전자제품에서 경량화 및 소형화가 요구되면서 효과적인 열관리를 통해 제품의 수명과 성능을 높이기 위한 방열 신소재 개발이 주목받고 있다. 본 연구에서는 in situ 질화반응이 수반된 아크 용해 공정으로 AlN 강화 과공정(Al-20, 30, 40Si at.%) Al-Si 합금 기지 복합재를 제조하여 낮은 열팽창계수 및 높은 열전도도를 갖는 새로운 방열소재를 제시하였다. 본 연구에서는 아르곤, 질소 혼합 가스 분위기에서 Al-Si 모재를 아크용해하여 강화재 AlN이 용탕 내부에 자발적으로 합성된 Al-20, 30, 40Si/AlN 복합재를 제조하였다. 그림 1은 Al-30Si 합금과 AlN 세라믹 기판 간의 젖음성을 보여준다. 합금의 녹는점 이상인 810ºC 에서 접촉각은 90° 이상이며 1100ºC 이상부터 접촉각이 감소하기 시작한다. Al-Si 합금과 AlN의 젖음성은 1100ºC 이상의 고온에서 향상되므로, 초고온 공정인 아크 용해법이 Al-Si/AlN 복합재를 만들 수 있는 최적의 공정임을 의미한다.

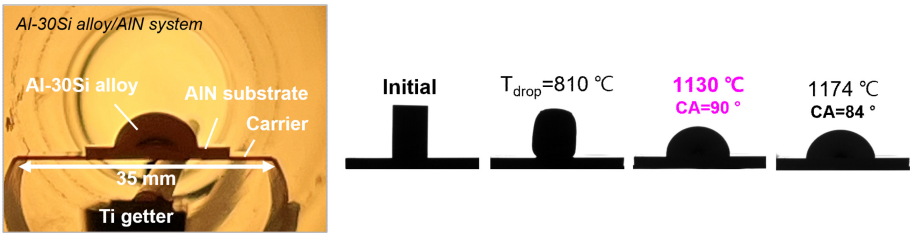


Fig. 1. Al-30Si 합금 – AlN 간의 젖음성 평가 결과

그림 2는 Al-Si/AlN 복합재의 단면 미세구조를 나타낸다. 침상 형태의 초정 Si 상이 금속 기지 내에 균일 분산되어 있고, 세라믹 AlN 상이 라멜라 구조로 존재한다. 기지의 초기 조성이 20, 30, 40Si임에 따라 각 복합재는 25, 20, 15 vol.% AlN을 포함한다.

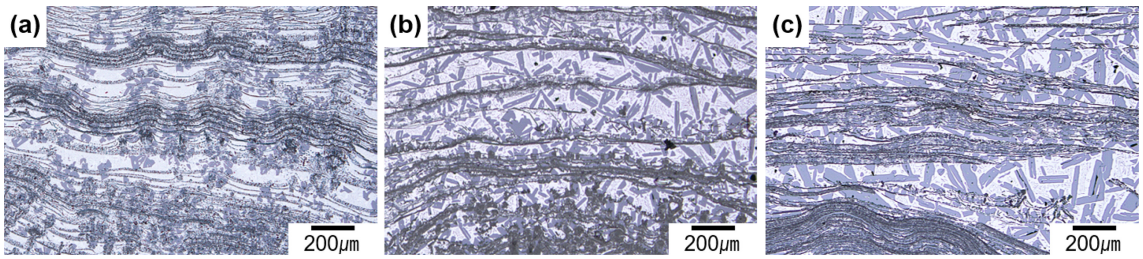


Fig. 2. Si 함량에 따른 복합재의 미세구조 (a) Al-20Si/AlN (b) Al-30Si/AlN (c) Al-40Si/AlN

그림 3(a)는 Al-Si 합금과 Al-Si/AlN 복합재의 열팽창 특성을 나타낸다. Al-Si 합금의 열팽창은 Si 함량이 증가함에 따라 선형 감소하지만, 복합재는 20Si/AlN에서 10.5 x 10-6 K-1로 공정 합금에 비해 30% 이상 낮다. 그림 3(b)는 Al-Si/AlN 복합재의 열전도도 측정결과를 보여준다. Si 함량이 증가함에 따라 복합재의 열전도도는 각각 136, 120, 100 W/mK의 결과를 보여, 합금 대비 큰 감소가 나타나지 않았다.

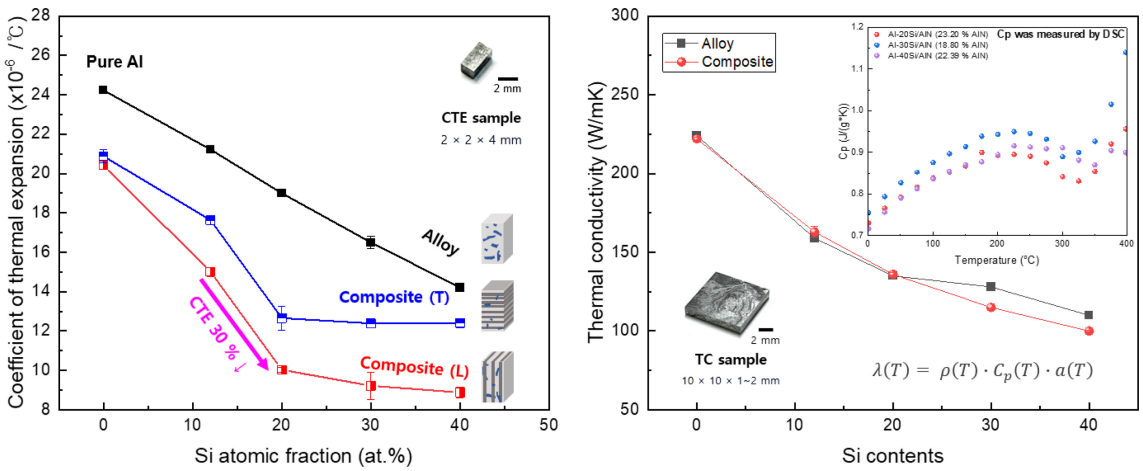


Fig. 3. (a) Al-Si/AlN의 열팽창 특성 (b) 열전도 특성

그림 4(a)는 Al-Si 합금과 Al-Si/AlN 복합재의 상온 압축시험 결과이다. 특히 Al-20Si/AlN 복합재는 618 MPa의 압축강도를 보여 개발 신소재 중 가장 우수한 기계적 특성을 보인다. 이는 25 vol.%의 AlN 라멜라를 갖는 복합재에서 연질의 금속 기지가 먼저 소성변형을 겪으면서 세라믹 강화재에 효과적으로 응력을 전달하여 큰 하중을 견딜 수 있게 되었기 때문이다[1-2]. Si 함량이 30 at.% 이상 증가하는 경우 복합재의 압축강도는 감소한다. 그림 4(b)는 크기가 증가한 침상 Si 입자에서 균열이 쉽게 발생, 전파하는 모습을 보여준다. 과공정 Al-Si 합금의 기계적 특성은 초정 Si 상의 크기에 의존하는데[3], 본 연구에서도 조대한 Si 상에서 입내 파괴가 우선적으로 발생하였고 이것이 압축강도의 감소를 초래하였다.

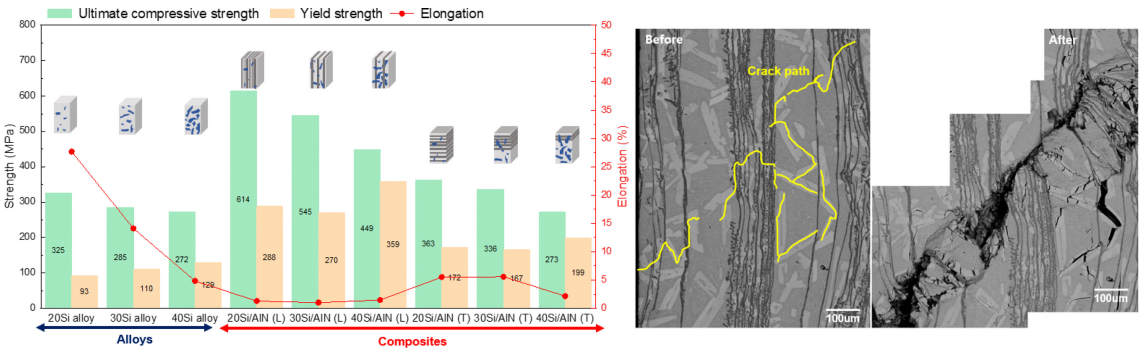


Fig. 4. (a) Al-Si 합금 및 Al-Si/AlN 복합재의 압축 특성 (b) Al-Si/AlN 복합재의 파단 특성

요약하면, 본 연구에서는 AlN을 자발 합성시켜 열팽창계수를 급격히 낮추면서 압축강도는 높은 Al-Si/AlN 복합 신소재를 개발하였다. 본 연구에서의 저열팽창, 고열전도도, 고강도 특성은 AlN 라멜라 및 불연속 Si 조합의 미세구조에 기인하며, 우리의 결과는 Al-(20, 30, 40Si)/AlN 복합재료를 새로운 고성능 경량 방열 신소재로 제안한다.

References: 1) Y. Wang, Q. Liu, B. Zhang, H. Zhang, Y. Jin, Z. Zhong, J. Ye, Y. Ren, F. Ye, and W. Wang, Mater. Sic. Eng. A. 819, 141469 (2021). 2) Z. Hu, R. Guo, and P. Shen, Ceram. Int. 48, 30734 (2022). 3) M.D. Dighe, A.M. Gokhale and M.F. Horstermeyer, Matall. Mater. Trans. A. 33A, 555-565 (2002).

[학생 2-1]

확산모델을 통한 멀티 피직스 진주 복합재의 역설계: 변진언*(한국과학 기술원 기계공학부), 이인효(한국과학 기술원 기계공학부), 박건도(캘리포이나 대학교 버클리 기계공학부), 유승화(한국과학 기술원 기계공학부)

Keywords: Inverse design, Composite, Multi-physics, Diffusion, Phase-field

자연계의 진주층(Nacre)이나 갑각류 외골격 등에서 관찰되는 층상 구조는 충격 에너지 흡수와 균열 제어에 탁월한 기계적 특성을 보이며, [1]이를 모사한 복합재 설계가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 복합재는 강성과 인성 간의 trade-off를 정밀하게 조절할 수 있다는 장점이 있지만, 기존의 설계 접근은 구조-물성 간의 비선형적 관계나 균열 경로, 미세 손상 거동을 충분히 반영하기 어렵다는 한계가 존재한다.

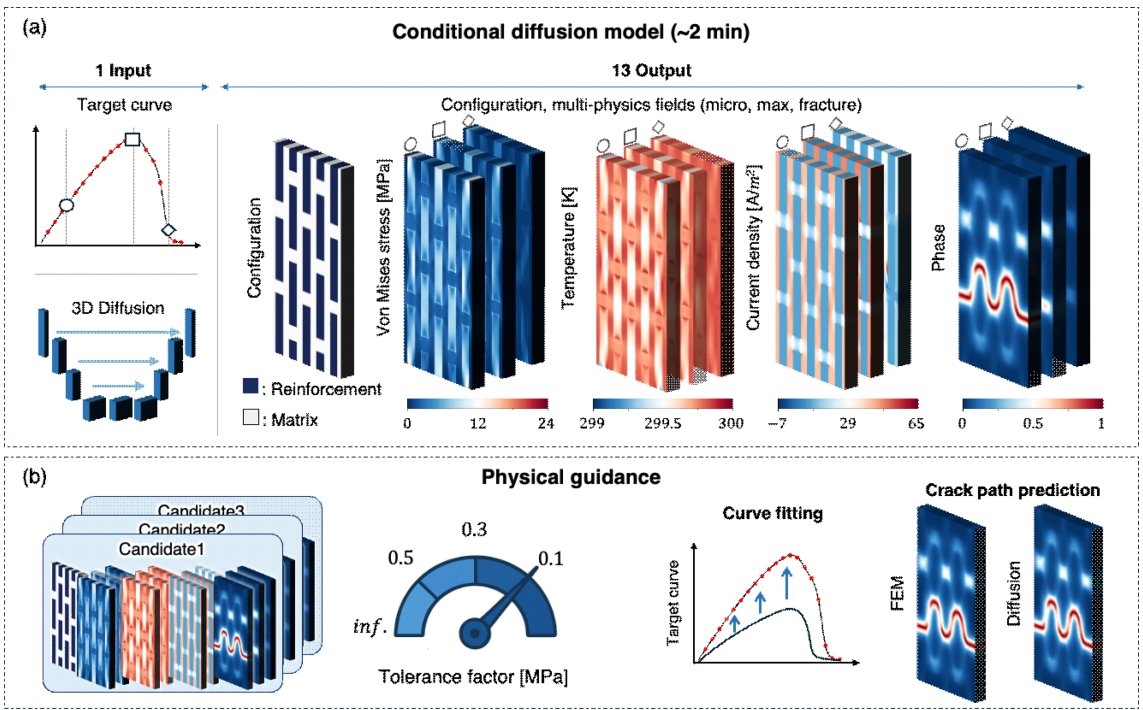


Fig. 1. 본연구의 흐름 및 물리적 가이드 방법

본 연구는 그림 1(a)과 같이 목표 SS 곡선을 조건으로 입력 받아, 그에 상응하는 복합재 구조와 해당 구조에서의 응력장, 열장, 전류밀도장, 손상장 등 다물리장 필드를 동시에 예측할 수 있는 [3-4]조건부 디퓨전 모델(Conditional Diffusion Model)을 제안하며, [2]FEM 기반 역설계의 계산 비용 문제와 생성 모델의 물리적 불일치 문제를 해결하는 것을 목표로 한다. 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이, 확률적 샘플링의 특성상 일부 출력은 정확성이 떨어질 수 있기 때문에, 생성된 다수의 후보 중 FEM 검증 없이도 신뢰도 높은 결과를 선별할 수 있도록 Tolerance Factor를 제시하였다. 해당 지표는 FEM 기반 SS 곡선과 Diffusion 결과 간의 최대 응력과 파괴 시점 오차를 기반으로 하며, 이를 통해 사후 검증 없이도 최적 설계를 선택할 수 있는 물리 기반 guidance 체계를 제안하였다. 기존 FEM이 수 시간 이상 소요되는 반면, 제안 모델은 약 2분 이내로 구조 및 다물리장 예측을 모두 완료할 수 있어 연산 비용과 설계 속도 측면에서도 높은 이점을 보인다. 모델의 성능은 정성적, 정량적 평가를 통해 검증하였으며, [Figure 2]는 다양한 target SS 곡선에 대해 예측된 구조 및 다물리장 결과와 FEM 결과 간의 비교를 보여준다. NRMSE 기준 평균 0.0702의 SS 곡선 예측 정밀도를 확보하였고, crack 경로에 대해서도 Enhanced Hausdorff Distance(EHD) 기반 유사도

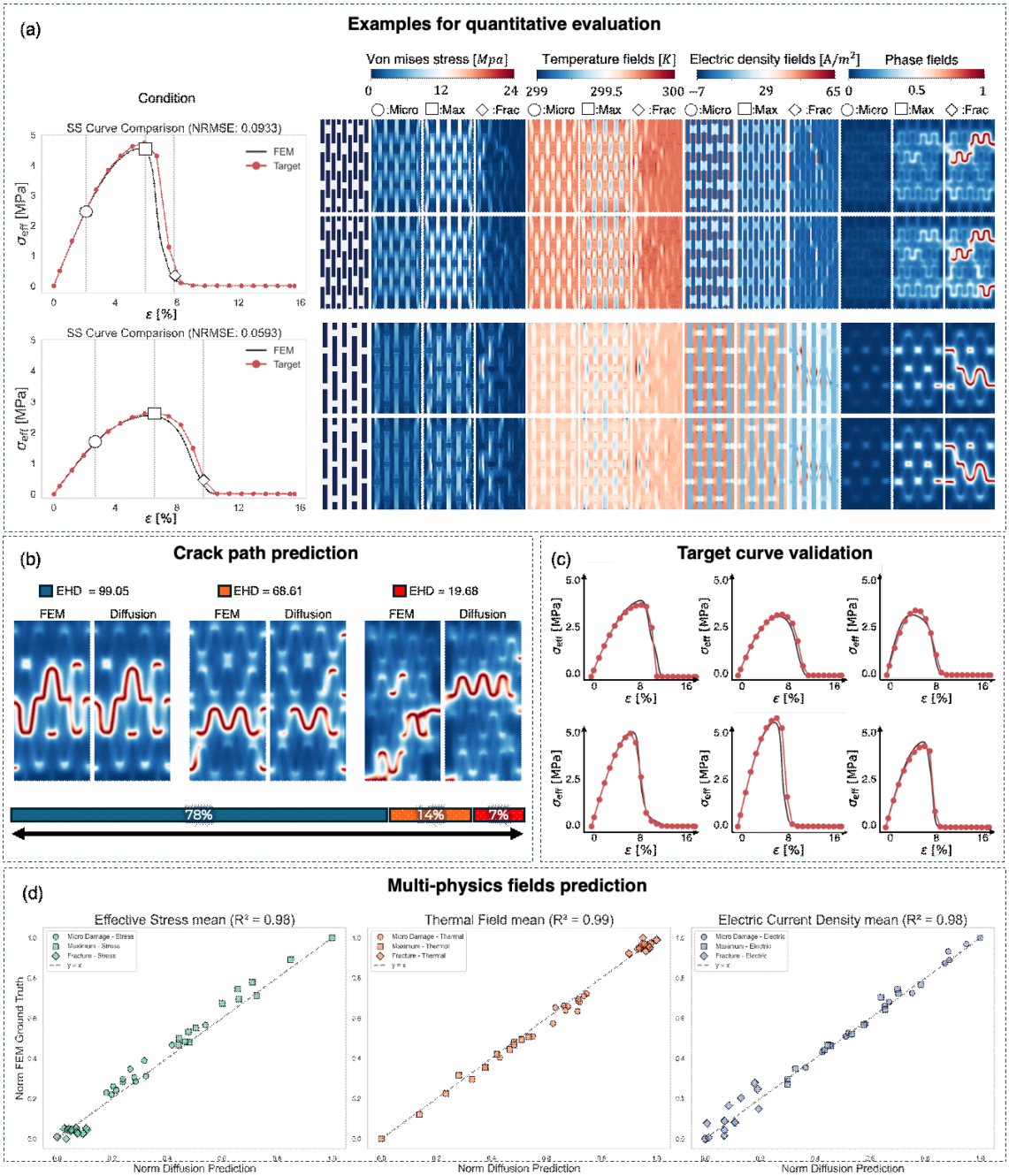


Fig. 2. FEM을 통한 Diffusion model의 validation 결과

분석을 통해 FEM 대비 높은 일치도를 나타냈으며, 응력, 온도, 전류장 예측에서는 각각 R^2 0.98 이상을 기록하여 다물리장 예측의 정확성 또한 확인되었다. 본 연구는 조건부 생성 모델의 효율성과 확장 가능성을 기반으로, 복합재 역설계 문제를 물리 기반 설계로 전환하고자 하는 새로운 접근을 제시하며, 향후 crack 경로 제어를 위한 복합재 설계 등 일반화를 통해 실제 재료 설계에 적용될 수 있는 통합 플랫폼으로 확장할 예정이다.

References: 1) K. Park, D. Scaccabarozzi, C. Sbarufatti, A. Jimenez-Suarez, A. Ureña, S. Ryu, and F. Libonati, Carbon 166, 193 (2020). 2) G. Molnár and A. Gravouil, Finite Elem. Anal. Des. 130, 27 (2017). 3) J. Ho and T. Salimans, arXiv preprint, arXiv:2207.12598 (2022). 4) J. Ho, A. Jain, and P. Abbeel, Adv. Neural Inf. Process. Syst. 33, 6840 (2020).

[학생 2-2]

열역학 계산과 생성적 적대 신경망을 이용한 합금강의 비정상 결정립 성장 거동 연구: 최정후, 김성진, 이석재*(전북대학교 신소재공학부)

Keywords: Abnormal Grain Growth, Carbonitride, Grain Coarsening Temperature, GAN

① 연구 목적과 의의 SCR420H강은 기계구조용 탄소 강재에 크롬(Cr)을 합금화하여 강재의 담금질성, 강도 및 인성을 향상시킨 소재로, 주로 침탄 열처리하여 자동차용 Gear, Shaft 부품에 사용되고 있다[1]. 그러나 탄소중립 정책 강화에 따라, 기존 침탄 열처리 온도인 930 ºC 이하가 아닌 930 ºC 이상의 고온침탄을 적용하려는 연구가 진행 중이다. 고온 침탄은 최대 40% 이상의 침탄 시간을 단축과 함께, 원가절감, 최종공정 시간 단축 및 CO^2 배출저감이 가능하다[2,3]. 하지만 고온에서의 결정립 조대화로 인해 강도 및 인성 저하가 발생할 우려가 크다. 이에 따라 Al, Nb, Ti, V등의 미세합금 원소를 첨가하여 석출물의 pinning effect를 이용해 결정립 조대화를 방지하려는 연구가 수행되고 있다[4-11]. 하지만 고온에서 AlN의 고온 고용도 증가[12], Nb과 V의 pinning효과 감소, Ti계 석출물의 조대화, 압연 균열 및 피로크랙의 발생기점 작용 등으로 고온에서 안정적인 결정립 조대화 억제가 어려운 상황이다[13].

또한, 기존 연구들은 주로 석출물 분율, 크기에 주목하거나, Nb/C 및 Ti/N의 함량비 최적화에 초점을 맞춰왔으며[14], 비정상 결정립 성장(Abnormal Grain Growth,AGG) 여부는 주로 육안 관찰이나 Novikov식[15] 같은 단순 비율기반의 평가방법에 의존하는 경우가 많았다[16]. 이에 따라 (Ti,Nb)(C,N)복합 석출물의 석출거동을 고려하여 AGG 발생 조건을 정량적으로 평가한 연구는 아직 부족한 실정이다. 특히 Ti 0.15wt.% 이상의 합금강에서 비정상 결정립 성장 발생 거동을 정량적으로 해석하고 평가한 연구는 거의 전무하다.[17-20] 따라서 본 연구에서는 미세합금 원소를 첨가하여 (Ti,Nb)(C,N)복합석출물 형성 및 가열온도 변화를 통한 석출물 분산 제어를 통해 비정상 결정립 조대화 온도(Grain Coarsening Temperature,GCT)의 향상을 시도하였고, MatCalc열역학 계산을 통해 AGG 발생 조건을 계산하여 해당 결과를 실험적으로 검증하는 것을 목표로 설정하였다. 또한, 새로운 조건에서의 GCT예측을 위해 인공지능 기반 GAN 모델을 활용한 연구도 함께 수행하였다.

② 연구 방법론 개요 1) 시편 준비 진공유도용해법을 통해 SCR420H강과 Nb, Ti을 추가로 첨가한 소재를 세아베스틸로부터 제공 받아 사용하였다. 각 합금은 실제 Bloom 소형재 공정(?100 미만)을 재현하기 위해 1차 가열(1250ºC, 300분)후 상온에 공랭, 2차 가열(1050ºC-1200ºC, 80분)후 상온으로 공랭하였다. 이후 세 강재에서 18×18×18mm^3 크기의 시편을 채취하였다. 2) 열역학 및 인공지능 계산 열역학 계산 프로그램인 MatCalc[21] Fe database를 사용하여 Al,AlNb,AlTi강의 온도에따른 석출상 거동 및 pinning pressure를 계산하였다. 이후 Razzak[22]가 제안한 AGG발생 조건식을 적용하여, AGG 조건 매커니즘 맵을 작성하여 분석하였다. 또한, GAN(Generative Adversarial Network)을 활용하여 오스테나이트 결정립 미세조직을 학습 및 생성하여 새로운 조건에서의 GCT값을 예측하였다. 학습 이미지의 품질 향상을 위해 ImageJ를 통하여 과에칭 및 불순물을 제거하였다. 모델 학습을 위해 오스테나이트 결정립 미세조직 이미지를 90º, 180º, 270º 회전 및 반전시킨 뒤, 512×512픽셀로 크롭하여 훈련 데이터 수를 확보하였다. 추후, 이에 관해서 검증실험을 할 예정이다. 3) 광학현미경 및 TEM 분석 결정립 크기 측정을 위하여 침탄 모사 가열 온도에서 가열된 샘플을 Diamond suspension 1μm까지 연마 후 Picric acid용액으로 에칭하여 광학현미경(OM, LEICA, DMI5000)을 이용하여 ×100배율에서 오스테나이트 결정립을 관찰하였다. 석출물의 종류,크기,화학조성을 조사하기 위해 200kV 가속전압 하에서 투과전자현미경(TEM,JEOL,JEM-ARM200F) 및 에너지분광분석기(EDS)을 실시하였다. TEM 분석용 샘플은 기계연마 및 Nital용액으로 에칭한 후 Carbon extraction replica 방법을 이용하여 제작하였다.

③ 주요 연구 결과 그림 1은 MatCalc을 통해 합금별 온도에 따른 평형 상분율 변화를 계산한 결과이다. Cr계 및 Al,Nb,Ti계 탄질화물을 확인하였다. 그림 2는 (Ti,Nb)(C,N)복합 석출물 내 원소 조성변화를 나타낸다. 온도가 상승할수록 Ti,N의 비율이 증가하는 경향을 보였으며, 저온에서는 Nb,C의 비율이 상대적으로 높아졌다. 그림 3는 MatCalc로 계산한 합금 및 열처리 조건별 주요 석출상과 pinning pressure(MPa)값을 나타낸다. Al, AlNb강에서는 고온으로 갈수록 pinning효과가 감소하는 경향을 보였으나, AlTi강의 경우 (Ti,Nb)(C,N) 석출상이 우수한 고온안정성을 통해 pinning효과를 유지할 수 있다고 판단하였다. 그림 4는 합금 및 열처리 조건별 평균결정립 크기, 최대결정립 크기 변화를 나타낸 그래프이다. Al,AlNb강에선 결정립 크기가 상대적으로 미세하였지만, AGG이 발생하는 정도는 크게 나타났다. 반면, AlTi강에선 결정립 크기가 조대하였지만 GCT온도는 증가하였고, AGG 발생 정도는 상대적으로 약하였다. 그림 5는 MatCalc와 실험적으로 계산한 결정립 크기값을 이용해 AGG 발생 조건을 매핑한 그림이다. AGG발생 이후 합금 및 열처리 조건에서는 대부분 AGG이 발생할 수 있는 조건임을 확인하였다. 또한, 영역1-6 구간별로 비정상 결정립 성장이 일어난 정도를 예측할 수 있었다. 그림 6는 합금 및 열처리조건에 따른 TEM 사진이다. 모든 합금에서 (Fe,Cr)C 탄화물들이 관찰되었다. Al강에선 미세한 크기의 AlN이, AlNb강에선 (Nb,Ti)(C,N)이 주요 석출상으로 관찰되었으며, AlTi강에선 $Ti_4C_2S_2$와 (Ti,Nb)(C,N) 석출상이 존재함을 확인하였다. 그림 7-9은 합금 및 열처리조건에서 비정상 결정립 성장 여부를 인공지능 기반 GAN 모델로 학습 및 이미지 생성한 결과이다. 생성된 이미지에서 AGG 발생 유무가 구분되는 모습을 확인할 수 있다. 테이블 1은 GAN으로 학습 및 생성된 이미지에 대해 FID(Frechet Inception Distance) 값을 통해 평가한 결과를 나타낸다. 전반적으로 학습이 잘 이루어졌지만, AGG 영역에서 결정립 크기 및 석출물 분포가 불균일하여 상대적으로 학습이 잘 이루어지지 않았을 수 있음을 시사한다. 그림 10은 AGG이 일어난 조건에서 얻은 실제 오스테나이트 결정립 사진

과 GAN으로 생성한 결정립 이미지를 비교한 것이다. 두 이미지를 비교한 결과, AGG 발생 여부가 합금 및 열처리 조건에 따라 적절히 학습되었음을 확인할 수 있었다.

References: 1)V. Boonmag, O. Wisesook, A. Phukaoluan, and G. Plupharch: Key Eng. Mater., 777 (2018), 294. 2)V. Heuer, K. Loeser, and G. Schmitt: AGMA, 15 (2015), 9. 3)Y. Yang, M. Wang, J. Chen, and H. Dong: J. Iron. Steel Res. Int., 20 (2013), 140. 4) K. A. ALOGAB, D. K. MATLOCK, J. G. SPEER, and H. J. KLEEBE: ISIJ Int., 47 (2007), 307. 5)G. Saito, N. Sakaguchi, M. Ohno, K. Matsuura, M. Takeuchi, T. Sano, K. Minoguchi, and T. Yamaoka: ISIJ Int., 60 (2020), 2549. 6)M. Chapa, S. F. Medina, V. López, and B. Fernández: ISIJ Int., 42 (2002), 1288. 7)G. Saito, N. Sakaguchi, K. Matsuura, T. Sano, and T. Yamaoka: ISIJ Int., 63 (2023), 727. 8)C. M. Enloe, K. O. Findley, and J. G. Speer: Metall. Trans. A, 46 (2015), 5308. 9)N. Z. Gutiérrez, M. I. Luppo, and C. A. Danón: ISIJ Int., 47 (2007), 1178. 10)K. A. Alogab, D. K. Matlock, J. G. Speer, and H. J. Kleebe: ISIJ Int., 47 (2007), 1034. 11)R. Lagneborg, T. Siwecki, S. Zajac, and B. Hutchinson: Scand. J. Metall., 28 (1999), 186. 12)S. Gong, L. Su, and F. Wang: Metall. Mater. Trans. A, 55 (2024) 910. 13)B. Buchmayr: Steel Res. Int., 88 (2017), 10. 14)Y. Shen and S. S. Hansen: Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., 20 (1997), 619. 15)V. Y. Novikov: Scr. Mater., 37 (1997), 463. 16)J. M. Kim, S. Y. Hong, J. H. Jang, and K. J. Lee: Mater. Sci. Forum., 879 (2017), 921. 17)G, T. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences 294.1438 (1966): 298-309. 18)H. T., M. J. A. M. Acta metallurgica, 1965, 13.3: 227-238. 19)Pa, M., DP, D., & CR, K. ISIJ international 36.2 (1996): 194-200. 20)N, Hannerz and F. Kazinczy: J. iron Steel Inst., 208(1970), 475. 21)MatCalc 5.61, The materials calculator. https://www.matcalc.at/. 22)Razzak, M. A., Perez, M., Sourmail, T., Cazottes, S., & Frotey, M. (2012). A simple model for abnormal grain growth. ISIJ international, 52(12), 2278-2282.

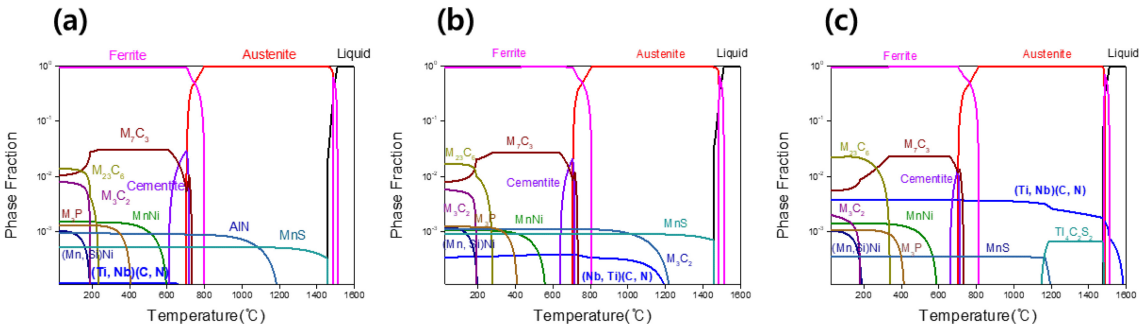


Fig. 1. Equilibrium phase fraction as a function of temperature for (a) Al steel and (b) AlNb steel and (c) AlTi steel.

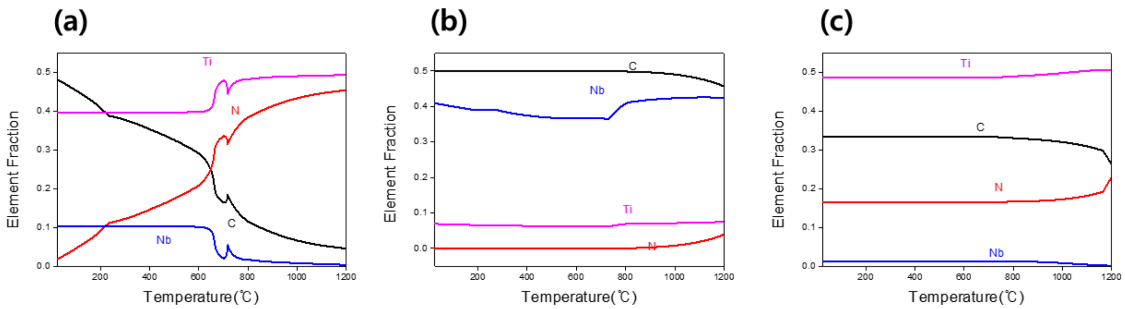


Fig. 2. Equilibrium phase fraction of precipitates for Al steel and AlTi steel and chemical composition of (Ti,Nb)(C,N) of (b) Al steel and (c) AlTi steel.

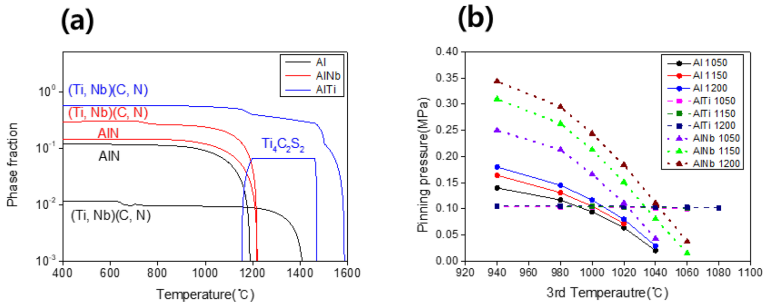


Fig. 3. Phase fraction of major precipitates and corresponding pinning pressure(MPa) for Al, AlNb, and AlTi steels.

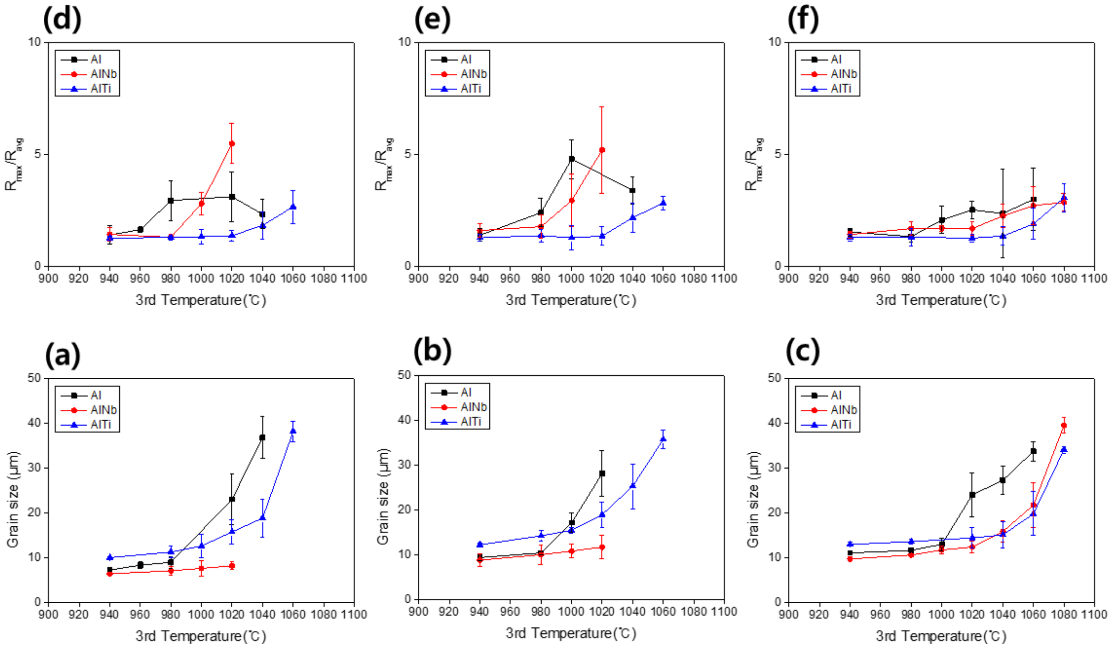


Fig. 4. Changes in (a-c) grain size and (d-f) Rmax/Ravg with reheating temperature of Al and AlTi steels, which are 2nd reheating-treated at (a,d) 1050°C, (b,e) 1150°C, and (c,f) 1200°C.

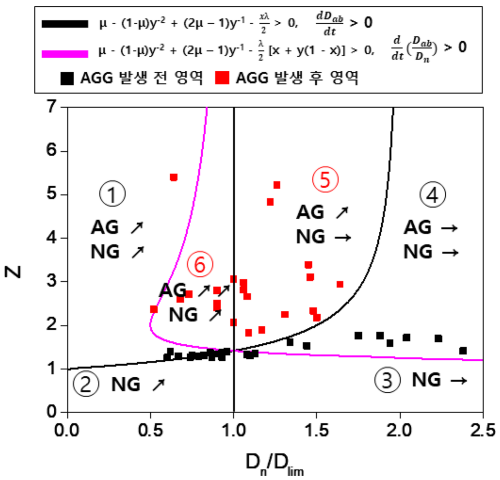


Fig. 5. Mapping diagram of abnormal grain growth(AGG) conditions.

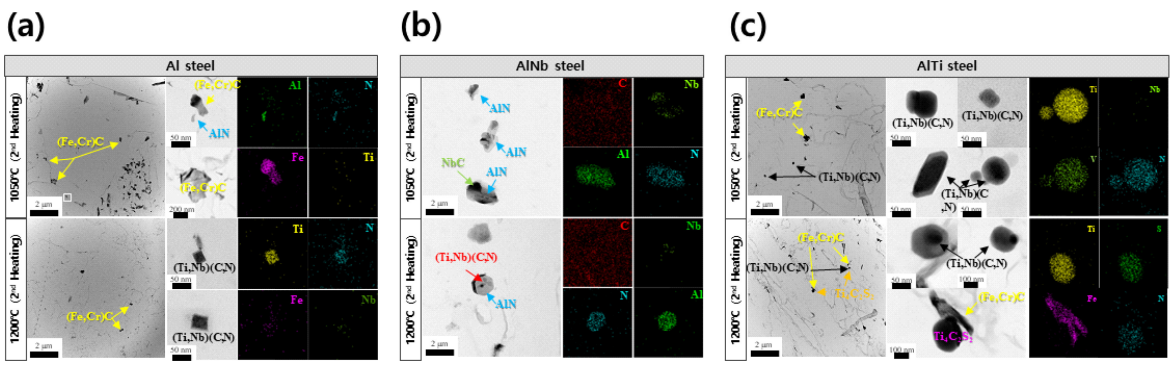


Fig. 6. (a) TEM image of Al steel, (b) AlNb steel, and (c) AlTi steel, each of which was 2nd solution-treated at both 1050°C and 1200°C.

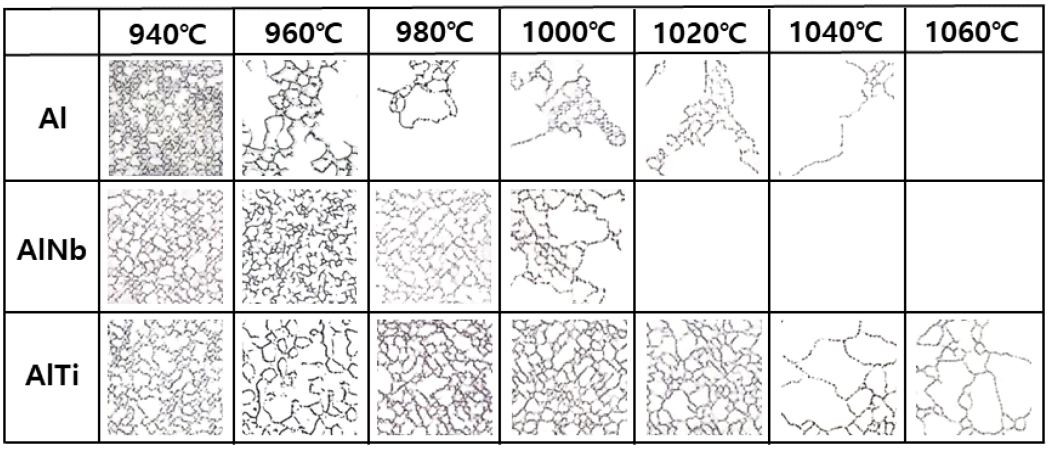


Fig. 7. Generated microstructure images using GAN at 3rd temperatures of 940-1080°C for 2nd temperature of 1050°C.

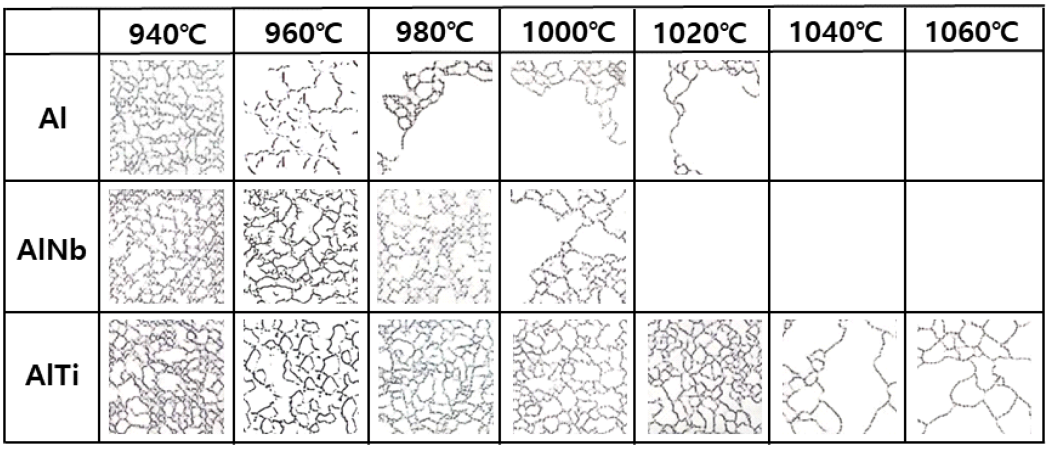


Fig. 8. Generated microstructure images using GAN at 3rd temperatures of 940-1080°C for 2nd temperature of 1150°C.

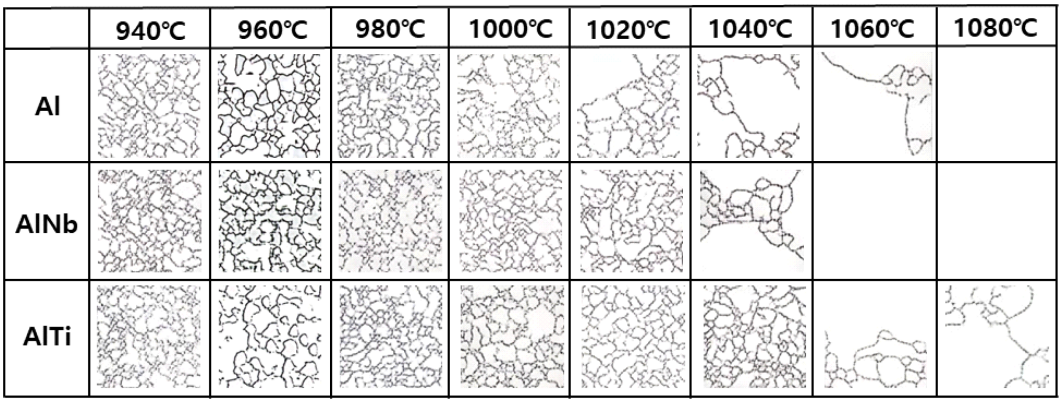


Fig. 9. Generated microstructure images using GAN at 3rd temperatures of 940-1080°C for 2nd temperature of 1200°C.

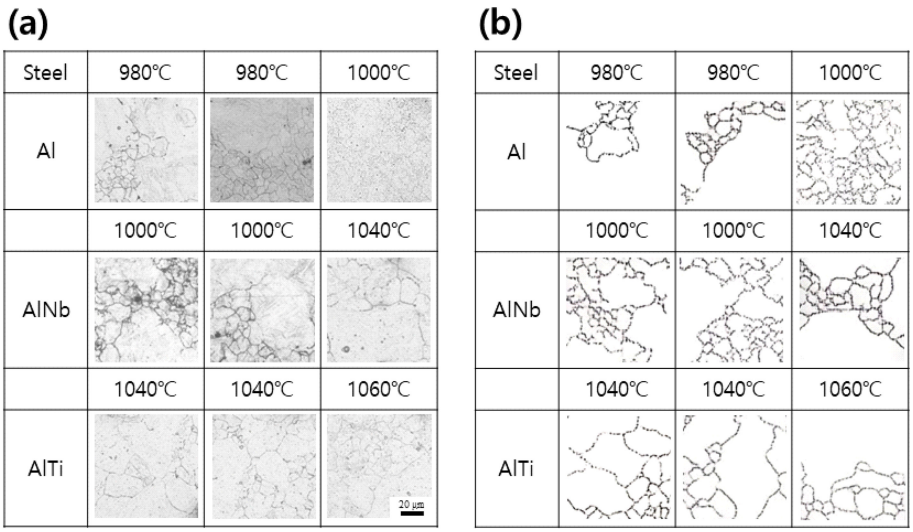


Fig. 10. Actual and generated austenite grain structure images of abnormal grain growth (AGG), for (a) actual and (b) generated austenite grain structure images.

Table 1. FID(Frechet Inception Distance) scores of microstructure images generated.

FID score		2nd temperature(℃)								
		Al 1050	Al 1150	Al 1200	AlNb 1050	AlNb 1050	AlNb 1050	AlTi 1050	AlTi 1150	AlTi 1200
3rd temperature (℃)	940	287	121	134	160	147	108	137	146	128
	960	872	1124	572	824	697	973	807	722	758
	980	204	363	88	128	141	256	202	97	150
	1000	384	284	345	304	387	290	149	103	346
	1020	258	480	246			198	187	181	126
	1040	188		208			302	273	278	297
	1060			309				251	197	216
	1080									242

[학생 2-3]

DED 기반 In-house 실험과 기계학습을 연계한 알루미늄 합금 개발: 김도원, 전서연, 안성빈, 박수원, 송용욱, 최현주*(국민대학교 신소재공학부)

Keywords: 적층제조, 알루미늄 합금, 인공지능, 기계적 특성, 전기전도도

1. 서론 알루미늄 합금은 경량성과 우수한 내식성, 열 및 전기전도 특성으로 인해 항공, 자동차, 건축 등 다양한 산업에 널리 활용되고 있다[1]. 특히 금속 적층제조(Additive Manufacturing, AM) 공정은 부품 경량화와 형상 자유도를 극대화할 수 있는 기술로 주목받고 있으며, 알루미늄을 기반으로 한 신합금 개발이 활발히 진행되고 있다[2]. 그러나 기존 문헌 데이터는 합금 조성이 편중되어 있고, 공정 조건 및 파라미터가 매우 분산되어 있으며, 기계적 특성도 일관되지 않아 인공지능(AI) 기반 합금 설계에 활용하기에는 적절하지 않다. 본 연구는 문헌 데이터가 가진 편향성과 분산성 등의 문제점을 개선하기 위해 실험 데이터를 독자적으로 구축하였고, 실용적이고 신뢰도 높은 AI 학습 기반을 마련하였다. In house 실험 데이터를 활용하여 AI 기반 예측 및 역설계 기법을 적용함으로써 실질적인 설계-제조-검증을 연계하는 전략적 접근을 제시하였다.

2. 실험 방법, 결과 그림 1과 같이, 문헌 데이터를 기반으로 조성 분포, 공정 조건, 기계적 특성의 분산도를 시각화하여 AI 학습 적합성을 검토하였다. 특히 Al-Si-Cu-Mg계 합금 데이터를 중심으로 수집된 조성 분포는 일부 영역에 치우쳐 있으며, 공정 조건(레이저 출력, 스캔 속도)은 출처마다 상이하게 분산되어 있어 데이터 신뢰도를 저하시켰다. 그림 2에 나와있는 피어슨 상관계수 분석을 통해 대부분의 입력 피처와 출력 물성 간 상관계수가 $|r| < 0.5$임을 확인하였고, 이는 AI 기반 회귀모델 학습 시 낮은 예측 신뢰도로 이어질 수 있음을 나타낸다[1].

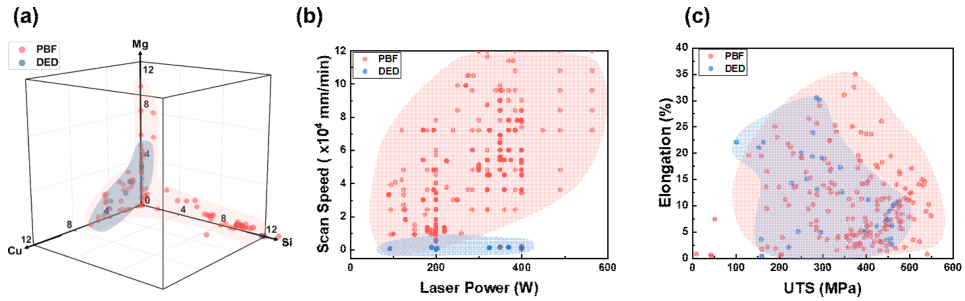


Fig. 1. 문헌 데이터의 (a)조성, (b)공정 조건, (c)기계적 특성 분포도

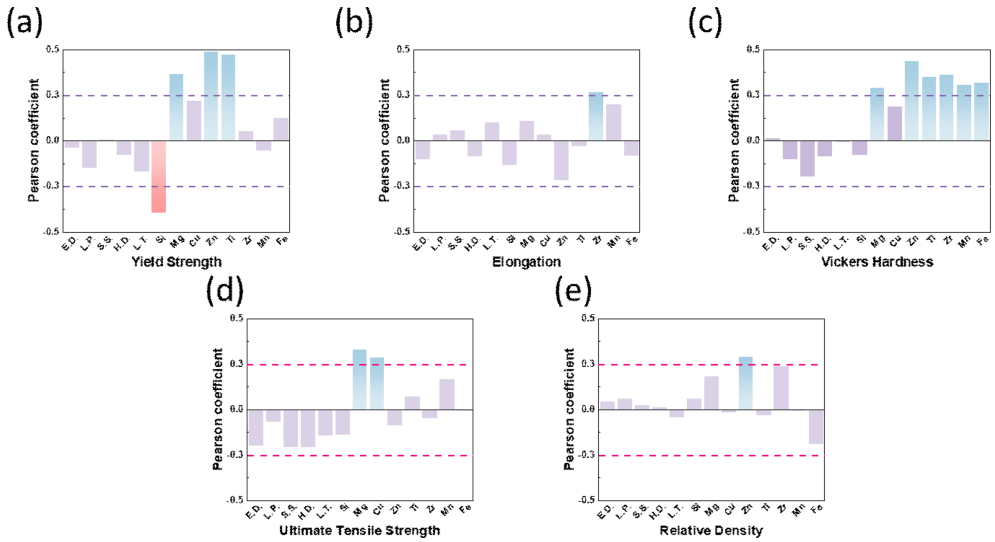


Fig. 2. 문헌 데이터의 공정 조건과 물성의 피어슨 상관 계수

In-house 데이터를 구축하기 위해, Al6061 기반 분말을 중심으로 Al-12Si, Al-12Cu, Al-7Mg 분말을 활용하여 조합 실험을 설계하였다. 다중 분말 공급 기반 직접 에너지 증착 적층 제조 공정(DED)을 활용하여 공정조건을 일정하게 통일한 상태에서 다양한 조성의 30종 이상 시편을 제작하였다. 각 조성별 시편은 광방전 분석기(OES), X선 회절 분석기(XRD), 주사전자현미경(SEM), 에너지 분산형 X선 분광기(EDS)를 활용하여 미세구조, 상, 조성을 분석하였고, 미소-비커스 경도기로 기계적 특성을 평가하였다. 이를 통해 조성-미세조직-물성 간의 상관관계를 체계적으로 분석하였다.

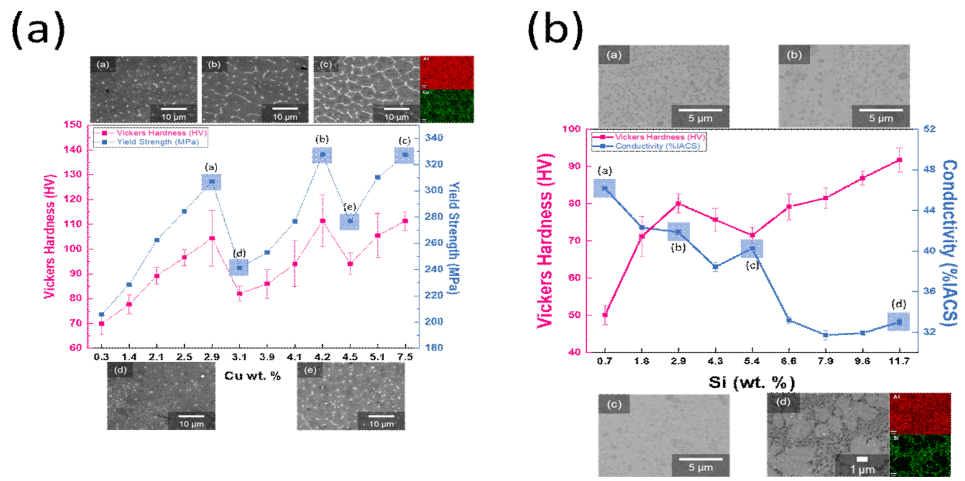


Fig. 3. (a)Cu, (b)Si 함량에 따른 경도, 항복 강도, 전기전도도 그래프>

그림 3에서 구리(Cu) 함량이 증가할수록 경도 및 항복강도는 증가하는 경향을 보였으며, 이는 Al2Cu 등의 강화상 형성과 고용강화 효과에 기인한다[2]. Cu 함량이 일정 수준 이상으로 증가할 경우 Al2Cu 석출상이 네트워크 형태로 형성되면서 오히려 경도가 감소하는 현상도 관찰되었는데, 이는 내부 응력 집중 및 미세결함 유발로 해석된다. 반면 실리콘(Si) 함량은 경도에 긍정적인 영향을 주지만, 전기전도도 측면에서는 음의 영향을 보여 상반(trade-off) 관계를 나타냈다. 특히 Si 함량이 4.5 wt.% 이하일 때 α-Si 정출이 억제되고[3], Al 기지 내 균일한 고용 상태를 유지하면서 전도도 및 경도의 균형점을 확보할 수 있었다.

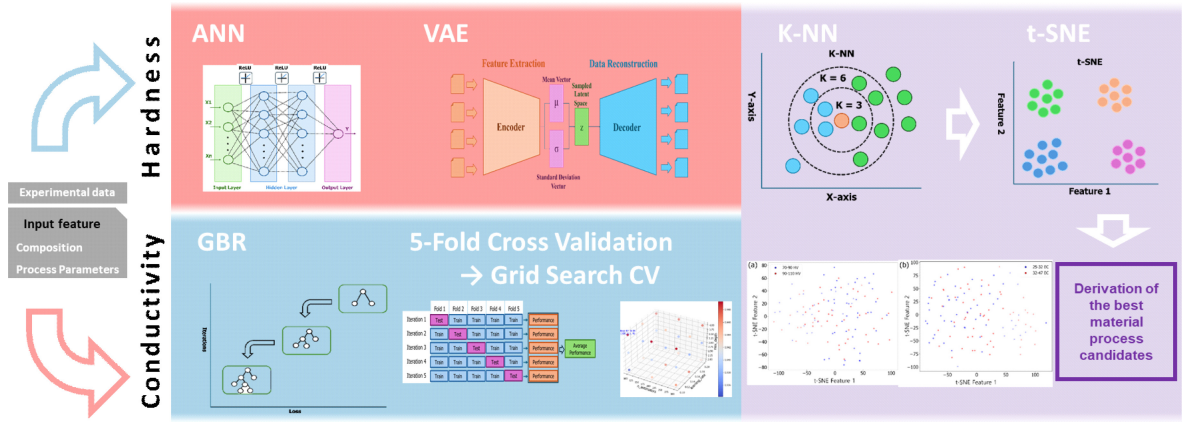


Fig. 4. 인공지능 학습 모델

이러한 In-house 데이터셋을 기반으로, 다양한 기계학습 기법을 활용한 적층제조용 알루미늄 합금 예측 모델을 그림. 4에 나타내었다. 경도 예측에는 인공신경망(ANN)을 활용하였으며, 이에 변분 오토인코더(VAE)를 결합하여 학습 데이터의 잠재 공간(latent space) 분포를 보정하고 예측의 신뢰도를 향상시켰다. 전기전도도 예측에는 그래디언트 부스팅 회귀 모델(GBR)을 적용하고, 하이퍼파라미터 최적화를 위해 5-Fold Cross Validation과 GridSearchCV 기법을 함께 사용하였다. 이러한 회귀 모델을 통해 확보된 조성-공정-물성 간의 고차원 예측 결과를 바탕으로, t-SNE(t-distributed Stochastic Neighbor Embedding) 기반 차원 축소와 K-NN(K-nearest neighbor) 기반 탐색 기법을 활용한 역설계를 수행하였다[4]. 표. 1에 나와있는 최종적으로 추천된 조성은 실제 DED 공정을 통해 시편으로 적층 제작되었으며, 현재 후속 실험(경도, 전기전도도, 미세조직 분석 등)을 준비 중이다. 향후 이 추천 조성에 대해 실험적 검증을 수행하여 AI 모델의 예측 정합성을 평가할 예정이다.

Table 1. 인공지능 모델 추천 합금 조성, 예측 물성

Al (wt. %)	Si (wt. %)	Mg (wt. %)	Cu (wt. %)	Zn (wt. %)	Scan speed	Laser power	UTS (MPa)	Thermal conductivity (W/mK)
92.09	3.61	0.96	1.32	2.03	500	450	373.1	146.0
91.85	3.68	0.98	1.35	2.14	600	800	385.1	146.0
91.84	3.68	0.99	1.36	2.13	600	800	381.8	146.5
91.78	3.7	1	1.37	2.15	650	800	381.7	146.0
91.83	3.69	1	1.36	2.13	500	500	383.4	146.2
92.8	3.38	0.84	1.22	1.76	1000	700	355.3	146.6
91.88	3.68	0.98	1.35	2.1	1000	750	362.6	146.8
92.37	3.52	0.9	1.29	1.92	1000	750	367.4	147.2
92.04	3.62	0.97	1.33	2.05	800	800	383.5	146.0
92.11	3.6	0.94	1.33	2.02	900	750	384.0	146.1
92.37	3.52	0.9	1.29	1.92	1000	750	367.4	146.1
92.1	3.62	0.95	1.33	2.01	800	800	356.7	145.8
91.88	3.67	0.99	1.35	2.11	800	800	376.4	146.1
92.41	3.51	0.9	1.28	1.9	850	800	362.5	147.0
91.98	3.64	0.97	1.34	2.06	850	800	376.7	147.2

3. 결론 본 연구는 문헌 기반 데이터의 편향성과 공정조건의 비일관성이라는 문제점을 정량적으로 분석하고, DED 기반 In-house 실험 데이터를 통해 이를 극복하고자 하였다. 조성-공정-물성 간의 상관관계를 AI가 학습 가능한 형태로 구축하고, 예측-역설계-실험 검증으로 이어지는 통합형 프레임워크를 실현하였다. 최종적으로는 AI 기반 추천 조성의 실제 적층 실험과 기계적 특성 평가까지 연계함으로써, 소재 개발 전주기에서 AI-실험 융합 방식의 유효성을 실증하였다. 향후 이와 같은 문헌-AI-실험 연계 방식은 고속 합금 설계 및 기능성 소재 탐색 등 다양한 재료공학 응용 분야에서 확장 가능할 것으로 기대된다.

References: 1) Park S, Yeo J, Han S, Choi H. Analysis of the Effects of Process Variables and Alloy Composition on the Relative Density and Mechanical Properties of 3D Printed Aluminum Alloys. J Powder Mater. 2023;30(3):223-232. 2) Park S, Song Y, Yeo J, Han S, Choi H. Exploration of Aluminum Alloy using Multi-feeder 3D Additive Manufacturing-based Combinatorial Experiment. J Powder Mater. 2023;30(3):255-261. 3) Jeon S, Park S, Song Y, Park J, Park H, Lee B, Choi H. Combinatorial Experiment for Al-6061 and Al-12Si Alloy Based on Directed Energy Deposition (DED) Process. J Powder Mater. 2023;30(6):463-469. 4) An S, Han J, Jeon S, Kim D, Seol JB, Choi H. Development of Aluminum Alloys for Additive Manufacturing Using Machine Learning. J Powder Mater. 2025;32(3):202-211.

[학생 2-4]

Active Learning Aided Discover of Zn-Al-Mg Coating for the Improvement of Hydrogen Embrittlement: Seung-Hyeon Kim, Young-Kook Lee*(연세대학교)

Keywords: medium-Mn, active learning, optimization, Zn-Al-Mg coating, Hydrogen embrittlement

The press hardening process, including methods like hot stamping, is highly efficient for producing advanced high-strength steels (AHSSs) with excellent formability and low spring back [1-4]. To prevent oxidation and surface decarburization during high-temperature processing, coated steels are preferred over uncoated ones. While Al-Si alloy coatings provide outstanding barrier protection [5], they offer only limited sacrificial corrosion protection [6]. Consequently, Zn-based coatings have been developed to provide superior corrosion resistance through cathodic protection mechanisms [7-9]. However, hydrogen embrittlement (HE) presents a significant challenge in coated high-strength steels. Hydrogen can be absorbed into the steel matrix during high-temperature processing and subsequently cause brittle fracture both during deformation and as delayed failure at room temperature. The coating composition and microstructure play crucial roles in both hydrogen uptake during processing and hydrogen out-diffusion during service, with different coating systems showing varying effects on hydrogen behavior. This study employs active learning methodology to optimize Zn-(<9)Al-(<3)Mg coatings for minimizing hydrogen uptake during austenitizing while maintaining coating integrity. The composition limits were established to avoid excessive aluminum content that can lead to brittle intermetallic formation degrading coating formability, and excessive magnesium content that may form brittle intermetallic phases (Mg_2Zn_{11} and $MgZn_2$), which severely compromise the coating's mechanical integrity, ductility, and adhesion strength. The optimization framework encompassed a search space of Al (0-9 wt%), Mg (0-3 wt%), dipping time (30-180 s), and dipping temperature (melting point + 20-80°C), generating 38,192 unlabeled data points. Initial data selection utilized Fuzzy Cluster Mean (FCM) algorithm to identify representative center-based and border-based samples. Experimental data from hydrogen uptake measurements via thermal desorption analysis (TDA) and ductility loss evaluation through slow strain rate tensile testing (SSRT) were iteratively incorporated into Gaussian Process (GP) models to guide successive experimental generations. Results demonstrate progressive identification of coating compositions with superior hydrogen embrittlement resistance through iterative active learning cycles. This work establishes a data-driven strategy for Zn-based coating optimization in medium-Mn steels, effectively reducing hydrogen absorption while maintaining coating integrity and corrosion protection capabilities.

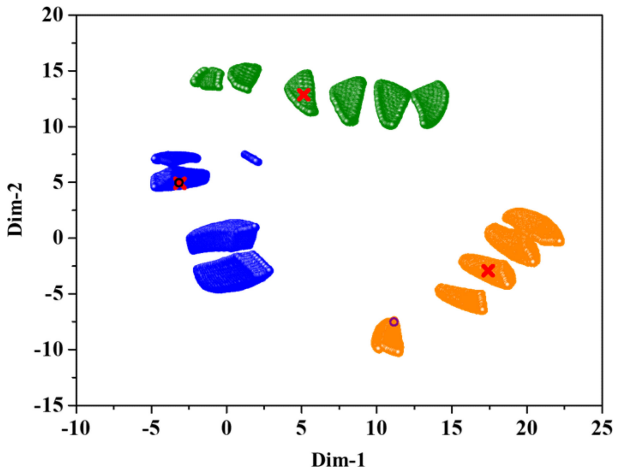


Fig. 1. Fuzzy cluster mean result

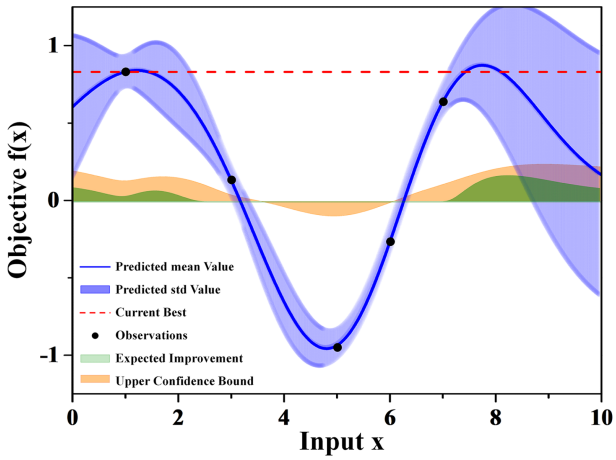


Fig. 2. Example of Upper confidence bound

References: [1] A.-R. Park, J.-H. Nam, M. Kim, I.-S. Jang, Y.-K. Lee, Evaluations of tensile properties as a function of austenitizing temperature and springback by V-bending testing in medium-Mn steels, Materials Science and Engineering: A 787 (2020) 139534. [2] Y. Nakagawa, K.-i. Mori, T. Maeno, Springback-free mechanism in hot stamping of ultra-high-strength steel parts and deformation behaviour and quenchability for thin sheet, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 95(1) (2018) 459-467. [3] A. Turetta, S. Bruschi, A. Ghiotti, Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations, Journal of Materials Processing Technology 177(1-3) (2006) 396-400. [4] C.W. Lee, W.S. Choi, L. Cho, Y.R. Cho, B.C. De Cooman, Liquid-metal-induced embrittlement related microcrack propagation on Zn-coated press hardening steel, ISIJ International 55(1) (2015) 264-271. [5] M. Windmann, A. Röttger, W. Theisen, Formation of intermetallic phases in Al-coated hot-stamped 22MnB5 sheets in terms of coating thickness and Si content, Surface and Coatings Technology 246 (2014) 17-25. [6] C. Allely, L. Dosdat, O. Clauzeau, K. Ogle, P. Volovitch, Anticorrosion mechanisms of aluminized steel for hot stamping, Surface and Coatings Technology 238 (2014) 188-196. [7] R. Autengruber, G. Luckeneder, A.W. Hassel, Corrosion of press-hardened galvanized steel, Corrosion Science 63 (2012) 12-19. [8] J. Kondratiuk, P. Kuhn, E. Labrenz, C. Bischoff, Zinc coatings for hot sheet metal forming: Comparison of phase evolution and microstructure during heat treatment, Surface and Coatings Technology 205(17-18) (2011) 4141-4153. [9] D.W. Fan, B.C. De Cooman, State-of-the-knowledge on coating systems for hot stamped parts, Steel research international 83(5) (2012) 412-433.

[학생 2-5]

VAE 기반 역설계 프레임워크를 이용한 고강도 고엔트로피 합금 설계: 남충희*, 김민규(한남대학교 전기전자공학과)

Keywords: 고엔트로피 합금(HEA), 역설계, 머신러닝, VAE

2004년 고엔트로피 합금(HEA)의 발견 이후 높은 강도와 내마모성등 우수한 물성을 나타내어 광범위한 관심과 연구의 대상이 되어 왔다[1-3]. 고엔트로피 합금(HEA)은 이론적으로 10^{100}가지에 달해[4], 전통적 시행착오식 탐색이 사실상 불가능하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 기계 학습을 접목한 데이터 주도적 접근이 각광받고 있으며, 이는 최소한의 실험 및 시뮬레이션 결과를 활용해 조성-특성 관계를 학습하여 물성을 예측하고 잠재적으로 우수한 HEA 후보를 신속히 선정하는 데 핵심 역할을 하고 있다[5]. 또한 생성 모델을 활용한 역설계는 학습된 잠재 공간을 기반으로 저차원에서 연속 최적화를 수행함으로써 사실상 무한한 연속 조성 공간까지 탐색할 수 있으며, 그 결과 기존 데이터에 존재하지 않는 완전히 새로운 합금 조합을 제안할 수 있다[6]. 본 연구에서는 최대 인장 강도(Ultimate Tensile Strength: UTS) 향상을 목표로 하는 생성 모델 활용 HEA 역설계 프레임워크를 제안한다. 문헌에서 수집한 501개의 HEA 데이터를 기반으로 먼저 통계 분석을 수행해 데이터 특성을 파악하였다. 이후 XGBoost, 랜덤 포레스트(RF), 두 가지 모델의 하이퍼파라미터를 베이지안 최적화(Bayesian optimization)으로 조정한 뒤 딥 뉴럴 네트워크(DNN)을 포함한 세 가지 모델의 성능을 비교하여 최적 예측 모델로 XGB를 선정하였다. 교차 검증 기준으로 최적화된 XGB 모델은 테스트 데이터에 대하여 R^2 = 0.803, RMSE = 125.9 MPa를 달성하며 다른 모델 대비 가장 우수한 예측 정확도를 보였다. 그림 1(a)에서 테스트 데이터에 대한 패리티 플롯을 확인할 수 있다. 다음 단계에서는 PyTorch 기반 VAE를 학습하고 잠재 공간에서 최대 인장 강도(UTS)가 높은 물질의 확률 분포에서 1,000개의 Z를 랜덤으로 샘플링하여 디코더에 입력시켜 데이터를 생성하고, 최적화된 XGB 모델을 통해 평가하였다. 마지막으로 SHAP 해석과 네트워크 플롯을 통해 각 특성 인자의 기여도와 상호작용을 정량화해 모델 기반 설계가 제안한 조성의 물리적 타당성을 확인하였다. 그림 1(b)는 VAE로 생성된 1,000개의 데이터 조성에 대한 레이더 플롯이다. VAE-기반 역설계를 통해 생성한 1,000개 조성은 Ni-Co-Fe-Mn-Cr가 주축을 이루고 Cu가 소량 첨가되는 패턴을 보였다. 이는 Ni 또는 Fe 기반 HEA가 높은 인장 강도를 가지고[7-8], Cu가 강도와 연성을 동시 개선한다는 기존 보고와 일치한다[9]. 최적화된 XGB 모델로 예측한 생성 조성의 강도는 800-1,600 Mpa 구간에 집중돼 VAE가 고강도 영역을 성공적으로 학습했음을 확인하였다. 그림 1(c)는 생성된 1,000개의 데이터에 대한 최대 인장 강도 예측값이다. 그림 1(d)는 학습 데이터셋과 VAE를 통해 생성된 데이

터들의 공간 분포가 차원 축소 기법인 t-SNE를 이용하여 시각화한 것이다. 생성 샘플이 1,400 MPa 이상 고강도 특성의 학습 데이터 분포와 겹쳐 분포하였다. 그러므로 제안한 프레임워크는 고성능 HEA 후보를 효과적으로 설계할 수 있는 잠재력이 있음을 확인하였다.

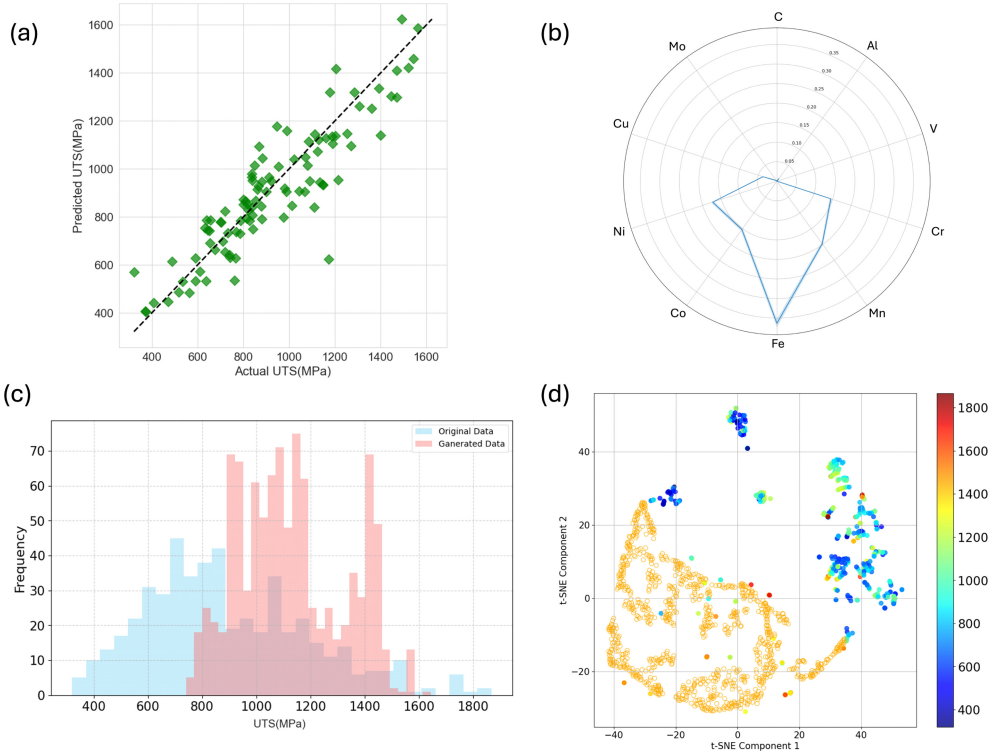


Fig. 1. (a) Parity plot of the predictions by the XGB model on the test set (b) Radar plot of the compositions of 1,000 data points generated by the VAE (c) Histogram of the true strength values of the 501 training samples and the strength predictions for the 1,000 VAE-generated samples (d) t-SNE visualization showing the distribution of the training dataset and the VAE-generated data in a reduced-dimensional space.

References: 1) J. Yeh, S. Chen, S. Lin, J. Gan, T. Chin, T. Shun, C. Tsau, and S. Chang, Adv. Eng. Mater. 6, 299 (2004). 2) W. Huo, X. Liu, S. Tan, F. Fang, Z. Xie, J. Shang, J. Jiang, Appl. Surf. Sci. 439, 222 (2018). 3) R. B. Nair, H. S. Arora, S. Mukherjee, S. Singh, H. Singh, H. S. Grewal, Ultrason. Sonochem. 41, 252 (2018). 4) B. Cantor, Prog. Mater. Sci. 120, 100754 (2021). 5) S. Liu, B. Bocklund, J. Diffenderfer, S. Chaganti, B. Kailkhura, S. K. McCall, B. Gallagher, A. Perron, and J. T. McKeown, npj Comput. Mater. 10, 172 (2024). 6) S. Kim, L. Zhang, S.-H. Kim, and Y. S. Choi, Met. Mater. Int. 30, 1817 (2024). 7) H. Jung, S. Lee, T. Kang, A. Zargaran, P. P. Choi, and S. S. Sohn, J. Mater. Sci. Technol. 181, 71 (2024). 8) J. Man, B. Wu, G. Duan, L. Zhang, G. Wan, Y. Liu, and C. Esling, Mater. Sci. Eng. A 858, 144137 (2022). 9) Y. Yuan, J. J. Wang, J. Wei, W. Y. Chen, H. L. Yan, and N. Jia, J. Alloys Compd. 970, 172543 (2024).

[학생 2-6]

배관 제조공정이 316L 스테인리스강 고압수소배관의 기계적 물성과 내수소취성에 미치는 영향: 고재훈(영남대학교 신소재공학부), 홍성모((주) 세창스틸), 강지현*(영남대학교 신소재공학부)

Keywords: 316L stainless steel, High-pressure hydrogen pipeline, Hydrogen embrittlement, Crystallographic texture, Manufacturing process

전 세계적으로 탄소중립 정책이 강화됨에 따라 화석연료을 대체할 청정에너지 수단으로서 수소 에너지에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다. 우리나라 역시 수소 인프라를 활발히 구축하고 있으며, 특히 고압 수소 배관이 핵심 설비로 알려져 있다. 배관 소재로는 316L 오스테나이트계 스테인리스강이 활용되는데, 이는 FCC 결정구조를 갖는 소재가 BCC나 BCT 기반의 소재보다 수소의 용해도가 높고 확산도가 낮아 내수소취성이 우수하기 때문이다[1]. 고압수소배관은 소재 용해 후 단조, 핫피어싱, 냉간 인발 혹은 필거를 거쳐 제조되며, 공정을 거치며 소성변형이 누적되어 강도는 증가하나 연신률은 급감한다. 기존 연구에 따르면 누적 변형량이 증가할수록 수소의 확산도와 투과도가 증가하여 내수소취성이 감소하며[2], 특정한 방향의 집합조직이 발달하게 되면 재료 내부에서 수소 확산이 촉진되어 수소취성에 대한 민감도가 증가할 수 있다[3]. 따라서 냉간 인발 혹은 필거 후, 후열처리 공정을 거치게 된다. 본 연구에서는 상용 316L 스테인리스강을 용해하여 각 공정별로 시편을 제작하여 미세조직을 분석하고 인장시험을 진행하였다. 내수소

취성 평가를 위해 전기화학적으로 수소를 장입하여 Slow-strain-rate test (SSRT)를 수행하였다.

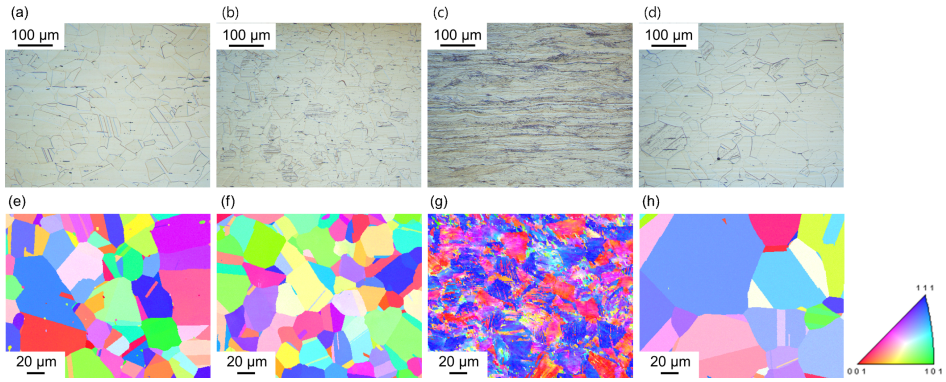
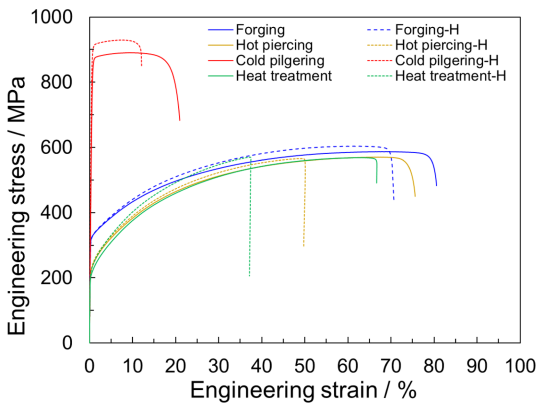


Fig. 1. 각 공정별 시편의 광학현미경 미세조직 이미지 (a ~ d) 및 IPF map 이미지 (e ~ f)
(a, e: Forging, b, f: Hot piercing, c, g: Cold pilgering, d, h: Heat treatment)

미세조직 분석 결과, 모든 시편은 오스테나이트 단일상으로 구성되어 있었다. 봉상 형태로 단조된 강재는 표면부에만 변형이 잔류하여 변형 쌍정이 나타났으며 내부에는 변형이 크게 축적되지 않아 변형 쌍정은 나타나지 않았다. 핫피어싱 후에도 내부에 변형이 미미하여 변형 쌍정이 나타나지 않았고 ODF 및 IPF 분석 결과에서도 뚜렷한 집합조직이 나타나지 않았다. 이후 냉간 필거링 공정을 거치면 길게 변형된 결정립과 내부에 변형 쌍정이 생성되며, <111>//RD 방향의 집합조직이 두드러지게 발달하였다(그림 1). 이는 시편 내부에 큰 변형이 축적되었음을 의미한다. 후열처리 공정을 거치면 미세조직은 재결정되었으나 IPF에서 아직도 <111>//RD 방향의 집합조직이 잔존하는 것을 확인할 수 있었다. 인장시험 결과, 단조에서 냉간 필거링까지 공정을 거치면서 소재에는 소성변형이 누적되어 강도는 증가하고 연신율은 감소하였으며, 이후 후열처리를 통해 재결정이 발생하여 강도와 연신률이 냉간가공 이전의 수준으로 복구되었다(그림 2). 수소취성 민감도를 평가한 결과, 단조, 핫피어싱, 냉간 필거링을 거치면서 상대 연신율 감소분(Relative elongation loss, REL)이 14%에서 32%, 44%로 꾸준히 증가하였다. 하지만 후열처리 후에는 재결정 미세조직을 가짐에도 불구하고 REL 값이 48%로 냉간 필거링 후 시편과 유사한 값을 나타냈다. 이와 유사한 경향은 Lee et al.의 연구에서 관찰되었는데, <111>//RD 및 <110>//ND 방향의 집합조직이 발달된 단일 압연 시편에서 무작위 집합조직을 갖는 시편에 비해 수소의 유효확산계수가 약 1.7배 정도 높게 나타나 집합조직이 발달한 시편의 수소취성 민감도가 높았다고 보고하였다 [3]. 따라서 본 연구에서도 후열처리 후의 높은 REL은 <111>//RD 방향의 집합조직이 잔존함에 따라 수소의 확산을 촉진하고 변형 중 결함 및 응력이 집중된 부분으로 확산되어 균열의 발생 및 전파를 촉진하여 수소취성 민감도를 증가시키는 것으로 판단한다.



	Yield strength / MPa	Tensile strength / MPa	Elongation / %	REL / %
Forging	310 ± 10	583 ± 4	78 ± 3	14 ± 8
Hot piercing	221 ± 3	574 ± 4	76 ± 1	32 ± 1
Cold pilgering	793 ± 50	883 ± 8	22 ± 1	44 ± 1
Heat treatment	207 ± 2	571 ± 3	72 ± 5	48 ± 6

Fig. 2. 각 공정별 시편의 수소 장입 전(-)과 후(H)의 인장 곡선 및 수소 미장입 시편의 기계적 물성값

본 연구에서는 시편에 누적된 변형량이 증가할수록 수소취성 민감도가 높아졌으며 후열처리를 통해 시편에 누적된 변형이 완화되었음에도 불구하고 집합조직이 잔존하는 경우 수소취성 민감도가 여전히 높은 수준임을 확인하였다. 따라서 시편의 내수소취성을 확보하기 위해서는 단순히 시편의 변형 정도만을 제어하는 것이 아닌 집합조직을 고려한 공정 설계가 중요할 것으로 판단한다.
References: [1] T. P. Perng, T. T. Wang, and Y. T. Chen, Acta Metall. 34, 1771 (1986). [2] X. Sun, J. Xu, and Y. M. Li, Acta Metall. 37, 2171 (1989). [3] J. S. Park, H. S. Lee, J. S. Kim, and S. Lee, Int. J. Hydrogen Energy 47, 10876 (2022).

[학생 2-7]
적층 제조 및 압연으로 제작된 SUS 316L의 수소취성에 미치는 미세조직의 영향: 이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교)*, 이선(한

국생산기술연구원, 부산대학교), 최지환(한국생산기술연구원), 이정훈†(경북대학교), 김태욱†(경북대학교), 하정홍†(한국생산기술연구원)
Keywords: 수소취성, 스테인리스강, in-situ 수소 장입, 저속 변형 시험

수소는 친환경 에너지원으로 각광받고 있으며, 이를 저장 및 운송하기 위한 구조재료의 안정성 확보는 필수적이다. 특히, 수소 환경에서 발생하는 수소취성은 대부분의 금속 재료의 기계적 성능을 저하시킬 수 있어, 이에 대한 저항성 확보가 중요하다. 대표적인 austenitic stainless steel인 SUS 316L은 우수한 내식성과 안정된 결정구조를 기반으로 수소취성에 대한 민감도가 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있으며, 현재 수소 저장용 탱크, 고압 배관, 밸브 등 다양한 수소 인프라 구성요소에 널리 사용되고 있다. 특히, 적층 제조 기술을 적용할 경우 기존의 방식으로 제작이 어려운 복잡한 형상의 구현이 가능하다는 장점뿐만 아니라, 수소취성 저항성이 기존 방식 대비 우수하다는 특성이 밝혀진 바 있다[1]. 또한, 적층 제조 방식에 따른 수소취성 저항성의 변화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[2]. 하지만 기존의 연구들은 주로 기계적 물성 시험 이전에 수소를 장입하는 ex-situ 수소 장입을 수행하였기 때문에 변형 중 지속적인 수소 공급이 불가능하여 실제 사용 환경을 충분히 모사하지 못하는 한계가 있다. 반면, in-situ 수소 장입 방식은 변형이 진행되는 동안에도 외부로부터 지속적으로 수소가 공급되므로 실제 수소 환경에 더 유사한 조건을 모사할 수 있다. 실제로, ex-situ 수소 장입 방식과 in-situ 수소 장입 방식을 비교한 선행 연구들에서는 in-situ 수소 장입 조건에서 수소취성의 영향이 더욱 크게 나타나는 것으로 보고된 바 있다[3]. 이에 본 연구에서는 압연, Directed Energy Deposition (DED), Powder Bed Fusion (PBF) 공정을 통해 제작된 SUS 316L 시편을 대상으로, 전기화학적 in-situ 수소 장입 조건에서의 기계적 특성과 미세조직을 비교함으로써 제조 방식에 따른 수소취성 저항성 차이를 규명하고자 하였다. 이를 위해 각 제조 방식으로 제작된 시편에 대해 slow strain rate test (SSRT)를 수행하였으며, 시험 조건은 uncharged와 전기화학적 in-situ 수소 장입으로 구분하였다. 수소는 3% NaCl + 0.3% NH4SCN 수용액을 기반으로 한 전해질을 사용해 주입하였고, 시험 중 전류 밀도는 100.81 A/m^{2}로 유지하였다. SSRT는 변형속도 1.0 × 10^{-4} s^{-1} 조건에서 수행하였으며, 연신율과 단면적 감소율을 기반으로 수소취성 지수 (Hydrogen embrittlement index, HEI)를 산출하고 기계적 거동을 정량적으로 평가하였다. 동시에 시편의 초기 미세조직과 SSRT 이후 파단 특성은 SEM 및 EBSD를 통해 관찰하였으며, KAM, IQ, Phase map 등을 활용하여 전위 밀도, 상변태, 쌍정 등 수소취성과 관련된 미세조직 인자들을 분석하였다. 시험 결과, 압연으로 제작된 as-received (AR) 시편은 수소 장입 시 가장 큰 연신율 감소 및 높은 HEI 값을 보여 수소취성에 가장 취약한 거동을 나타냈다. 반면 PBF 시편은 수소 환경에서도 높은 연신율과 낮은 HEI 값을 유지하며 우수한 수소취성 저항성을 보였고, DED 시편은 이들 사이의 중간 수준의 거동을 나타냈다. 파단면 분석 결과, 모든 uncharged 시편은 연성 파괴 양상의 dimple 구조를 보였다. in-situ SSRT 후 AR 시편에서는 전형적인 취성 파괴가 뚜렷하게 나타났고, DED 시편에서는 부분적인 취성 파괴가 관찰되었으며, PBF 시편은 수소 환경에서도 연성 파괴 특성을 유지하였다. 또한 SSRT 이후 시편 표면 관찰 결과, AR과 DED 시편에서는 수소 유입에 의한 균열이 명확히 관찰된 반면, PBF 시편에서는 균열이 거의 발생하지 않았다. SSRT 전 초기 시편의 EBSD 분석 결과, AR 시편은 등축립과 annealing twin이 포함된 결정 조직을 가지며, DED 및 PBF 시편은 이방성 조직을 보였다. SSRT 후, AR 시편은 in-situ 수소 장입 조건에서 α'-martensite 상변태가 확인되었다. 반면, DED 시편에서는 상변태는 발생하지 않았지만 전위 밀도가 증가하였다. PBF 시편은 가장 높은 평균 KAM 값을 보이며 높은 전위 밀도를 유지함과 동시에 austenite 상을 유지하였다. 이는 수소 trap site의 증가로 수소 확산 경로를 제한하여 수소취성 저항성을 높인 것으로 해석된다. 본 연구에서는 SUS 316L의 제조 방식에 따른 미세조직적 특성이 수소환경 내 인장 거동 및 취성 저항성에 끼치는 영향을 분석하였다. 압연 방식 대비 적층제조 방식은 높은 전위 밀도와 안정된 상을 동시에 유지할 수 있는 미세조직을 형성하여 수소에 대한 저항성을 향상시킴을 확인하였다. 이는 적층제조 기반의 미세조직 제어가 수소 환경에서 요구되는 고신뢰성 금속 구조재 개발에 있어 핵심 기술이 될 수 있음을 보여주며, 향후 공정 최적화 및 응용 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.
References: 1) L. Claeys et al., Int. J. Hydrogen Energy, 48, 36142-36157 (2023). 2) K.M. Bertsch et al., Corros. Sci., 192, 109790 (2021). 3) S.-H. Shin et al., J. Mater. Res. Technol., 36, 9158-9167 (2025).

[학생 3-1]

Optimization of H_2-HBI based EAF Process for Decarbonization: 조영래, 김민호, 유지은, 손일*(연세대학교 신소재공학과)
Keywords: Carbon-neutral steel production, Electric Arc Furnace, Hot briquetted iron

1. Introduction The interest in carbon-neutral steel production has increased, and hydrogen-based direct reduced iron (H_2-DRI) is emerging as a key feedstock for electric arc furnace (EAF) operations. When H_2-DRI is compacted into dense hot briquetted iron (H_2-HBI), it offers additional advantages such as higher density, which improves charging efficiency and enhances transportability. While both DRI and HBI contain residual gangue oxides that form autogenous slag, the distinct physical properties of H_2-HBI, such as higher density and lower porosity, can lead to different melting progressions and behaviors of the slag and metal phases. Therefore, this study investigates the melting characteristics, impurity removal capabilities, and process implications of H_2-HBI in EAF steelmaking. By understanding these aspects, we aim to advance the viability of H_2-assisted EAF processes as a lower-emission alternative. [1,2]2. Results and discussions H_2-HBI samples with varying metallization degrees(80%, 85%, 90%) were produced under different reduction times and compacted into H_2-HBI pellets under a 10 ton pressure for 5 minutes. Micropore analysis confirmed that the fabricated samples showed no significant differences compared to commercial H_2-HBI. Melting behavior was observed by using the High-Temperature Confocal Laser Scanning Microscope (HT-CLSM) under UHP He atmosphere (200 sccm) within the temperature range of 1273K to 1873K (heating rate of 5K/min). When melting H_2-HBI(MD:90) alone, fayalite-based liquid slag was first observed around 1373K, due to the melting of FeO reoxidation layer at the surface of H_2-HBI pellets. Around 1673 K, gangue components dissolved into the fayalite slag, causing the slag melt and flow and flowing out from the surface of the H_2-HBI pellets, as observed in the CLSM images. Most of the liquid slag drained from the pellets near 1703K, due to the shrinking from the sintering metal iron(metal Fe

shrinked at 1703K). Complete melting of H_2-HBI occurred close to the melting point of pure iron (δ-ferrite, bcc) at approximately 1711K. [3-6]

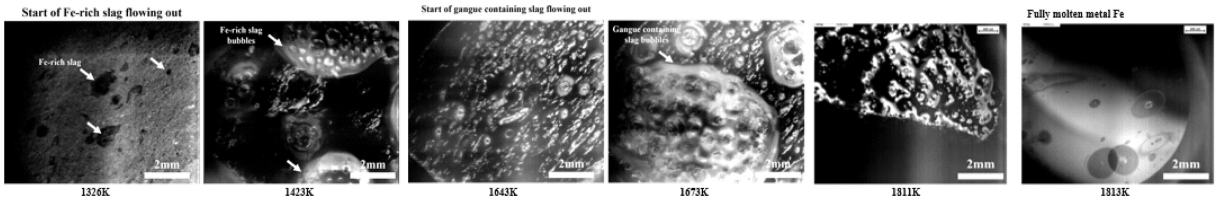


Fig. 1. CLSM images of the melting behavior of the H_2-HBI from 1273K to 1873K

The autogenous slag from H_2-HBI, due to its high SiO_2 content, has initially low basicity, which increase slag viscosity and lower the refinability (such as phosphorus). Thus, lime and dolomite were added to increase the basicity. Additionally, the FeO activity() is determined by the HBI metallization, significantly affects slag fluidity, and iron yield. FeO activity is proportional to the FeO wt%. And The slag compositions, with C/S and as variables, were calculated using FactSage 8.3 and then applied in the subsequent experiments. In the EAF, a slag with high fluidity is advantageous for covering the surface of molten steel, which reduces radiative heat loss and prevents reoxidation of molten steel. Slag fluidity was evaluated by placing a slag pellet on a metal Fe plate and observing its melting and spreading behavior at a horizontal tube furnace for 30 minutes. Fluidity increased with higher basicity and reached a maximum at an value of 0.40 (FeO wt%: 20). However, when FeO content exceeded this level, fluidity began to decrease. This is because, at lower FeO wt%, Fe^{2+} ions help break down the silicate network and lower viscosity, but above approximately 20 wt% FeO, excess Fe^{2+} ions reduce the effectiveness of Ca^{2+} and Mg^{2+} as network breakers, resulting in increased viscosity. Phosphorus capacity was evaluated using a vertical tube furnace at 1873 K for 18 hours under a deoxidized argon atmosphere. The results showed trends similar to those observed for fluidity: phosphorus capacity increased with slag basicity and FeO content, reaching a maximum at approximately 20 wt% FeO. When FeO content exceeded this value, Fe^{2+} ions increasingly compete with Ca^{2+} at the reaction interface of the calcium silicate (C_2S) phase, reducing the availability of Ca^{2+} for stabilizing phosphate; which reduced the availability of Ca^{2+} ions and, consequently, lowered the efficiency of phosphorus removal. Furthermore, as the FeO fraction in the slag increases, the absolute amount of CaO decreases, diluting its concentration and thereby accelerating this trend. [7-9]

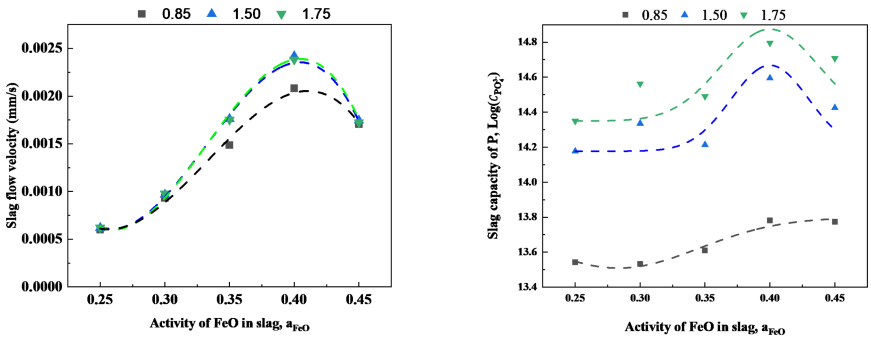


Fig. 2. Slag flow velocity (mm/s) , Phosphorus capacity($C_{PO_4^{3-}}$)

3. Conclusion In this study, the melting progression of H_2-HBI was observed using a HT-CLSM. Furthermore, slag refining behavior was evaluated by analyzing phosphorus capacity and slag fluidity as functions of C/S and . The results showed that both properties improved with increasing C/S. Regarding , slag fluidity and phosphorus capacity increased up to approximately 20 wt% FeO, attributed to the enhanced availability of free oxygen ions. However, beyond this level, both properties declined. This is due to the excessive Fe^{2+} ions competing with Ca^{2+} at the reaction interfaces of calcium silicates, which impairs phosphate removal. Moreover, elevated FeO concentrations diluted the absolute CaO content, further reducing dephosphorization efficiency and slag mobility. Future work will focus on practical considerations such as refractory wear, detailed techno-economic analysis, and the development of clear industrial guidelines for the large-scale adoption of H_2-HBI. In particular, techno-economic analysis will quantify the trade-off between flux addition costs (required to increase slag basicity) and the corresponding gains in impurity refining capacity. Additionally, by evaluating the relationship between the metallization degree of H_2-HBI, operational costs, and iron recovery, it will be possible to identify the economic optimum for the process. This comprehensive approach will offer valuable insights into balancing material properties and operating expenses, ultimately enabling cost-effective and high-performance steel production while supporting the broader transition to carbon-neutral steelmaking.

References: 5. Z. Fan and S. J. Friedmann, Joule 5, 829 (2021). 6. A. Hasanbeigi, M. Arens, and L. Price, Renew. Sustain. Energy Rev. 33, 645 (2014). 7. J. Huss, A. Vickerfält, and N. Kojola, Steel Res. Int. 94, 2300064 (2023). 8. Jung, S.S., Sohn, I., Metall. Mater. Trans. B 43, 1530(2012). 9. Freuhan, J. The Making, Shaping and Treating of Steel 11th Edition—Steelmaking and Refining Volume; The AISE Steel Foundation: Pittsburgh, PA, USA, (1998). 10. O. Kubaschewski, IRON – Binary Phase Diagrams, Springer-Verlag, Berlin (1982). 11. G.-F. Ye, J. Yang, R.-H. Zhang, W.-K. Yang, and H. Sun, Int. J. Miner. Metall. Mater. 28, 66 (2021). 12. P. B. Drain, B. J. Monaghan, R. J. Longbottom, M. W. Chapman, G. Zhang, and S. J. Chew, ISIJ Int. 58, 1965 (2018). 13. J. H. Heo and JH. Park, Metall. Mater. Trans. B 49, 3381 (2018).

[학생 3-2]

디지털 영상 상관 기법을 통한 고망간강의 극저온 인장 거동 분석: 이선(한국생산기술연구원, 부산대학교)*, 이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교), 최지환(한국생산기술연구원), 이정훈†(경북대학교), 이태경†(부산대학교)†, 하정홍†(한국생산기술연구원)

Keywords: 상변태, 변형 쌍정, Serration, DIC 분석, 극저온

우주항공 탐사체, 친환경 에너지 저장 및 운송 용기 등의 첨단산업에서는 극저온(20 K) 환경에서도 인성과 강도를 동시에 확보할 수 있는 금속재료가 필수적으로 요구된다. 일반적으로 극저온 조건에서는 금속의 연성-취성 천이가 발생하여 균열 전파 속도가 증가하고, 예기치 않은 파단이 발생할 가능성이 높다. 이러한 문제로 인해 기존의 구조용 금속들은 극저온 환경에서 사용에 한계가 있다. 따라서, 극한 온도에서도 안정적으로 작동할 수 있는 고인성·고강도 금속소재의 개발은 다양한 산업 분야에서 핵심 과제로 떠오르고 있다. 특히, 변형 메커니즘 제어를 통해 저온 특성을 향상시킬 수 있는 면심입방구조(Face-centered cubic, FCC) 기반 소재가 주목받고 있으며, 그중에서도 고망간강은 변태유도소성(Transformation induced plasticity, TRIP) 및 쌍정유도소성(Twinning induced plasticity, TWIP) 변형 메커니즘이 활성화되는 대표적인 소재이다. 이러한 특성은 극저온 조건에서의 가공경화 및 균열 저항성을 동시에 향상시킬 수 있어, 고망간강은 극한 환경용 구조재료로서 높은 잠재력을 가진다. 이러한 고망간강은 극저온 인장시험 중 불연속적 소성 거동인 세레이션(Serration) 현상을 나타내며, 변형속도에 민감하게 반응한다는 것으로 알려져 있다. 이러한 불연속 소성 거동은 변형 집중, 국부적 균열 발생 가능성과 밀접하게 연관되어 있어, 극저온 환경에서의 재료설계 및 파괴예측에 핵심적인 요소로 평가된다. 이에, 본 연구에서는 고망간강을 사용하여 다양한 변형속도 조건(5x10-2s-1~1x10-4s-1)으로 극저온(15 K) 환경에서 인장시험을 수행함과 동시에 디지털 영상 상관 기법(Digital image correlation, DIC)을 적용하여, 불연속 변형 거동 발생 시점의 국부 변형률 분포 및 변형 집중 영역을 실시간으로 시각화하고 수치적으로 평가하였다. 이를 통해 세레이션의 변형속도 의존적 발생 양상과 이에 수반되는 국부 변형 집중 특성의 상관관계를 규명하고자 하였다. 실험 결과, 변형속도가 느려질수록 세레이션의 발현이 뚜렷해졌으며, 이는 DIC를 통해 세레이션이 발생하는 순간 국부 영역에 급격한 변형률 집중이 동반됨을 확인하였다. 또한, 실험에서 설정한 가장 느린 변형속도 조건보다 더 느린 속도(5x10-5s-1)에서 추가 수행한 실험에서는 세레이션의 발생이 거의 관찰되지 않았으며, 이는 세레이션 거동에 특정 임계 속도가 존재할 가능성을 시사한다. 아울러 EBSD 분석을 통해, 극저온 환경에서 변형 속도가 느려짐에 따라 슬립 및 쌍정이 더욱 활발히 활성화되어 전체적인 연신율이 향상되는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 변형속도에 따라 발생하는 미세조직의 차이가 국부적인 세레이션 거동의 발생 및 전개 양상에 영향을 미친다는 사실을 시사한다. 특히, DIC를 통해 확보한 국부 변형률 분포는 세레이션과 함께 나타나는 변형 집중 현상을 시각적으로 명확히 드러내며, 기존 기계적 시험만으로는 확인하기 어려웠던 극저온 소성 거동의 특성을 보다 정밀하게 이해할 수 있는 기반을 제공한다. 따라서, 본 연구는 세레이션의 속도 의존성과 국부 변형 특성 간의 연관성을 실험적으로 확인하였으며, 극한 환경에서의 재료 거동 해석에 유용한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References: 1) Sohn, Seok Su, et al. "Effects of Mn and Al contents on cryogenic-temperature tensile and Charpy impact properties in four austenitic high-Mn steels." Acta Materialia 100 (2015): 39-52. 2) Martin, Stefan, et al. "Deformation mechanisms in austenitic TRIP/TWIP steel as a function of temperature." Metallurgical and Materials Transactions A 47.1 (2016): 49-58. 3) Zhemchuzhnikova, Daria, et al. "Interrelation between the Portevin Le-Chatelier effect and necking in AlMg alloys." International Journal of Plasticity 110 (2018): 95-109.

[학생 3-3]

Ti-Nb-Al 합금의 기계적 밀링을 통한 열팽창 및 기계적 특성 연구: 김수민(국민대학교 신소재공학과), 한주연(국민대학교 신소재공학과), 손석수(고려대학교 신소재공학과), 이기안(인하대학교 신소재공학과), 서동우(포항공과대학교 신소재공학과), 최현주*(국민대학교 신소재공학과)

Keywords: Negative thermal expansion, Ti-Nb-Al alloy, Grain refinement, α″ martensite transformation, Spark Plasma Sintering

열팽창 계수의 불일치는 항공 우주, 정밀 기기, 반도체 공정 등 고기능 산업 전반에서 성능 저하를 유발하는 주요 원인 중 하나이다 [1]. 특히 세라믹과 금속 간 접합 구조에서는 열팽창계수의 차이로 인해 계면에서 잔류응력 및 박리, 균열 등이 발생하기 쉬워, 이를 최소화하기 위한 노력이 지속되어 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로, 금속 재료의 열팽창계수를 인위적으로 낮추거나 제어할 수 있는 음의 열팽창(Negative Thermal Expansion, NTE) 특성을 갖는 금속소재의 개발이 주목받고 있다. 그중에서도 Ti-Nb계 합금은 격자 수준에서의 열팽창계수 비등방성과 마르텐사이트 상변태를 기반으로, 조성 변화 없이 열기계적 가공만으로 거시적 열팽창 제어가 가능한 소재로 주목받고 있다 [1]. Ti-Nb계 합금에서는 β상으로부터 α″(orthorhombic martensite)상으로의 상변태가 발생하며, 이 과정에서 격자 수축이 유도되어 NTE 특성이 나타나는 것으로 보고되어 있다 [2]. 본 연구에서는 이러한 상변태 기반의 NTE 특성이 결정립 크기에 따라 어떻게 변화하는지를 규명하고자 하였으며, 결정립 미세화에 따른 기계적·열적 물성의 상관관계를 실험적으로 고찰하였다. 특히 결정립이 미세화되면 결정립계에서 전위의 slip이 억제되고, crack tip plastic zone이 강화되어 인성이 향상되며, α″ 상변태 시 발생하는 결정립 간 변형 불일치가 완화됨으로써 시편 전체의 수축 효과가 극대화될 수 있을 것으

로 기대된다. 반면, 결정립이 지나치게 미세화되면 결정립계에 의한 상변태 지연이 발생할 수 있어 이에 대한 고찰도 함께 수행하였다. 본 연구에서는 두 가지 시편군을 비교하였다.

(1) as-atomized + SPS (방전 플라즈마 소결, Spark Plasma Sintering) 시편

(2) ball-milled + SPS 시편

Ti-Nb-Al 분말의 결정립 미세화를 위해 고에너지 볼밀링 공정을 사용하였다. 이후 모든 시편은 SPS을 통해 소결온도 1300°C, 40 MPa, 유지시간 10분, 승온속도 100°C/min 조건으로 진공 분위기에서 소결하였다. 추가적으로, 마르텐사이트 상을 안정적으로 확보하기 위해 900 °C에서 열처리 후 수냉을 실시하였다. 시편의 미세조직 및 상 분석을 위해 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)과 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM), X선 회절 분석법(X-ray diffraction, XRD)을 활용하였고, 압축시험, 비커스 경도, 열팽창계수 (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) 측정을 통해 기계적 및 열적 특성을 평가하였다.

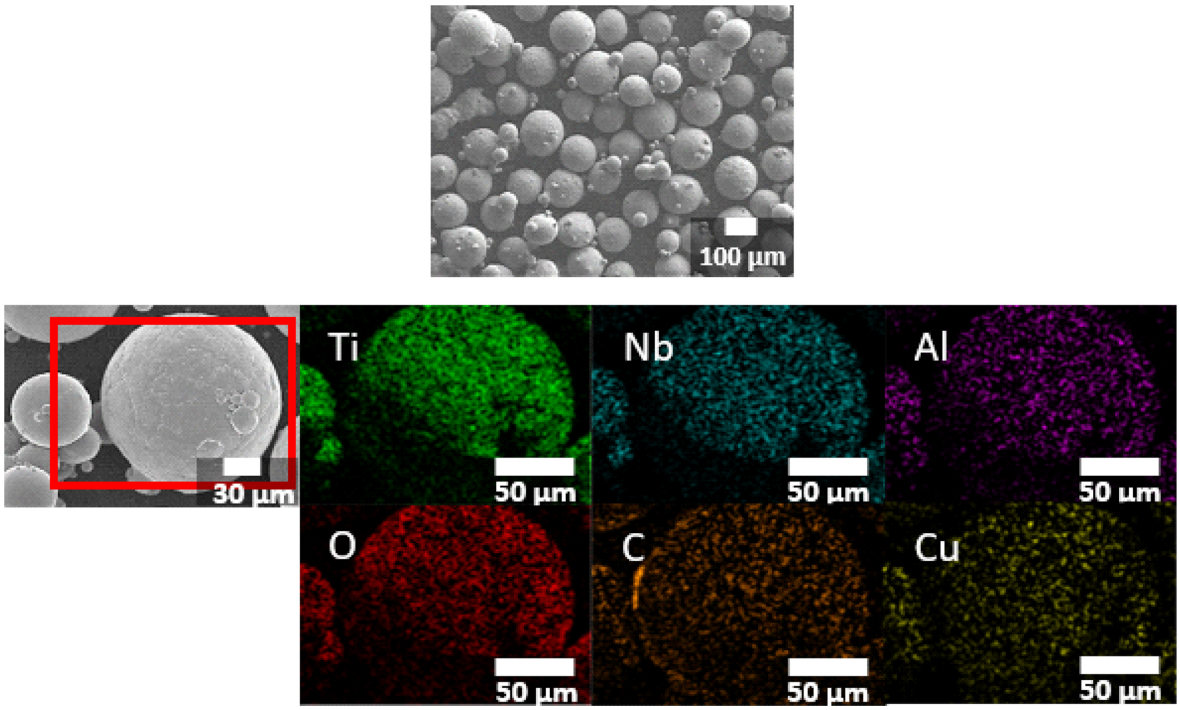


Fig. 1. (a) Atomized Ti-Nb-Al powder의 SEM-EDS 이미지

그림 1은 SEM 및 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 원소 매핑 분석 결과이다. Atomized Ti-Nb-Al 분말은 구형 형상을 나타내며, EDS 분석 결과 Ti, Nb, Al이 균일하게 분포하는 것으로 확인되었다. 반면, 고에너지 볼밀링을 거친 Ti-Nb-Al 분말은 불규칙한 형상을 보였다. 이와 같은 형태는 분말 입자에 소성변형이 축적되었음을 의미하며, 고에너지가 효과적으로 전달되었음을 알 수 있다.

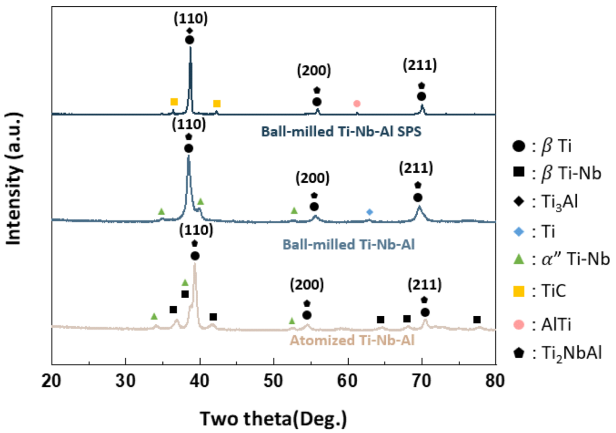


Fig. 2. Atomized Ti-Nb-Al, ball-milled Ti-Nb-Al, ball-milled Ti-Nb-Al SPS의 XRD 결과

그림 2는 Atomized Ti-Nb-Al, Ball-milled Ti-Nb-Al, 그리고 SPS 공정을 거친 Ball-milled Ti-Nb-Al 시편의 XRD 분석 결과를 나타낸다. Atomized Ti-Nb-Al 분말에서는 β-Ti-Nb와 함께 α″-Ti-Nb 마르텐사이트 상이 공존함을 확인할 수 있었으며, 이는 아토마이징 공정 중 급속 응고 과정에서 β상으로부터 α″상이 형성된 것으로 해석된다. 고에너지 볼밀링을 수행한 분말에서도 α″ 상은 여전히 존재하며, 전반적인 peak의 broadening 현상을 통해 결정립이 미세화되었음을 확인할 수 있다. 반면, SPS 공정을 통해 소결한 시편에서는 α″상이 소멸하고 β-Ti 상과 Ti_2NbAl 등이 관찰되었다. 이는 고온·고압 환경에서 Nb의 확산이 촉진되어 조성이 균질화되며, Ti-rich 영역이 억제된 결과로 α″상의 형성 가능성이 현저히 낮아졌기 때문이다[3]. 즉, SPS 공정 중 α″상은 열역학적으로 불안정한 상으로 간주되어 β 상으로의 역변태가 우세하게 진행된 것으로 판단된다. SPS 공정 이후 저온 열처리와 급냉을 통해 α″ 마르텐사이트 상을 유도함으로써 음의 열팽창 특성을 갖는 Ti-Nb-Al 계 소재의 가능성을 모색하였다. 특히, 고에너지 볼밀링에 의한 결정립 미세화는 α″ 상변태 시 발생하는 결정립 간 변형 불일치를 완화하여 전체적인 수축 효과를 극대화할 수 있는 기반을 제공한다. 이러한 소재는 항공우주, 적외선 광학, 전자 패키징 등과 같이 온도 변화에 민감한 분야에서의 응용 가능성을 보여줄 수 있으며, 금속 기반 NTE 소재로서의 새로운 방향을 제시한다.

References: 1) J.A. Monroe et al., “Tailored thermal expansion alloys”, Acta materialia 102 (2016). 2) Dominic Gehring et al.,“In-situ investigation of anisotropic crystalline and bulk negative thermal expansion on titanium alloys”, Acta Materialia 210 (2021). 3) Rajamallu Karre et al., “Comparative study on Ti-Nb binary alloys fabricated through spark plasma sintering and conventional P/M routes for biomedical application,” Materials Science and Engineering: C Volume 94, 228–235 (2019).

[학생 3-4]

Wire Arc Additive Manufacturing 공정으로 제조된 Al-Mg alloy의 미세조직 및 기계적 물성:

박령주(인하대학교 신소재공학과), 전민수(인하대학교 신소재공학과), 황원구(인하대학교 신소재공학과), 오민선(한국생산기술연구원), 감동혁(한국생산기술연구원), 이기안*(인하대학교 신소재공학과)

Keywords: Al-5356, Wire Arc Additive Manufacturing, Microstructure, Tensile Property

본 연구에서 활용한 Al-5356은 높은 Mg 함량으로 인해 우수한 내부식성과 강도, 가공성, 용접성을 가진 소재로, 수송·해양·구조용 등 다양한 분야에 활용되고 있다[1,2]. 특히 해양, 우주 산업과 같은 고도화된 산업에서는 최근 적층 제조(Additive Manufacturing, AM) 기술을 통한 복잡 형상의 구현, 경량화, 소재 활용 최적화 등 다양한 장점을 바탕으로 활발히 도입되고 있다[3,4]. 그중에서도 와이어 아크 적층제조(Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM)는 아크 열원으로 금속 와이어를 용융·적층하는 공정으로, 용접용 소재로서 높은 생산성과 경제성, 그리고 대형 부품 제조의 용이성 덕분에 주목받고 있다[5]. 특히 Al-5356은 용접성이 뛰어난 소재로 WAAM 공정으로 제조하였을 때 뛰어난 적층성을 가질 것으로 생각된다. 그러나 WAAM 공정은 비교적 느린 냉각 속도와 큰 열영향범위(HAZ)로 인해 미세조직의 방향성, 층간 불균일성, 결함 발생 등의 문제가 내재될 수 있으므로 이에 대한 정밀한 평가가 필요하다[6]. 이를 규명하고자 본 연구는 고용 강화형 Al-Mg계 합금인 Al-5356을 WAAM 공정으로 적층하고, 이로부터 얻어진 시편의 미세조직 및 기계적 특성을 조사하였다. WAAM은 직경 1.2 mm의 외부 결함이 없는 Al-5356 와이어를 사용하여 수행하였고, 약 3 mm 두께의 층을 총 31개 적층하여 속이 빈 기둥 형상의 시험편(100 × 6.51 × 85 mm)을 제작하였다. 화학 조성 분석은 ICP-OES와 EPMA로 수행하였으며, EPMA 및 XRD 분석을 통해 α-Al 기지 내 β-Mg_2Al_3 상 및 Al_2(Fe, Mn) 계 석출상이 존재함을 확인하였다. 미세조직 분석은 OM, SEM, EBSD, TEM-EDS 등을 통해 결정립 구조, 결정 방향성, 석출상 분포 및 전위 구조를 종합적으로 분석하였다. 특히 EBSD를 통해 층간 조직 변화를 관찰한 결과, 분말 기반 AM 공정에서 흔히 관찰되는 일방향 응고 조직이나 Interlayer 미세화 조직은 나타나지 않았으며, 최대 pole density는 3.266~3.826 수준으로 비교적 낮은 방향성을 보였다. SEM 분석에서는 grain boundary 주변에 평균 1.27 μm 크기의 석출물이 균일하게 분포하였고, 그 fraction은 약 1.84%로 나타났다. EPMA 및 TEM-EDS 분석 결과, β-Mg_2Al_3뿐 아니라 Al_2(Fe, Mn) 계 석출상도 다수 존재하며, TEM 관찰에서는 약 1 μm 크기의 막대형 rod precipitates로 관찰되었다. 또한, grain boundary를 따라 Mg, Ti의 농도 차가 관찰되어 합금 원소들의 국부적 농축 현상도 확인되었다. 내부 결함 평가는 X-ray CT를 통해 수행되었으며, 평균 기공 크기는 5.22 μm, 평균 기공도는 0.02%로 매우 낮은 수준으로 측정되었다. 기공은 대부분 층간 경계에 미세하게 분포하고 있어 전반적으로 치밀한 적층 구조가 형성되었음을 확인하였다. 기계적 특성은 SD(적층 방향과 수평) 및 TD(적층과 수직) 방향에서 Vickers 경도를 측정하여 이방성을 평가하였으며, 수평 및 수직 방향의 인장 시험을 통해 항복 강도, 인장 강도, 연신율을 분석하였다. 수평 방향에서는 항복 강도 155.09 MPa, 인장 강도 292.47 MPa, 연신율 40.77%, 수직 방향에서는 항복 강도 153.33 MPa, 인장 강도 299.29 MPa, 연신율 35.47%로 나타나, 모든 방향에서 우수한 연성과 강도를 확보하였고, 물성의 이방성도 크지 않았다. 소폭의 연신율 차이는 수직 시편의 층간 미세 기공 존재와 관련이 있을 것으로 해석되었다. 인장 시험 후 파단면들은 모두 전형적인 연성 파괴 특성을 보였으며, 수직 시편에서는 층간 기공을 시발점으로 한 균열 전파 양상이 일부 관찰되었다. 이와 함께 항복강도 형성 메커니즘을 규명하기 위해 고용 강화, 석출 강화, 전위 강화의 기여도를 이론적으로 분리하여 유추한 결과, 고용 강화가 가장 주요한 기여 인자로 작용함을 확인하였으며, 예측된 항복 강도와 실측값 간의 양호한 일치를 통해 분석의 정합성을 확보하였다. 상기 연구 결과들을 통해 WAAM 공정이 Al-5356과 같은 고Mg계 Al 합금에도 적용 할 수 있고, 정밀한 공정 제어를 통해 균일한 미세조직과 우수한 기계적 특성 확보가 가능함을 실험적으로 입증하였으며, 이러한 결과들은 향후 WAAM 기반 알루미늄 적층 제조 기술의 산업적 활용 가능성에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

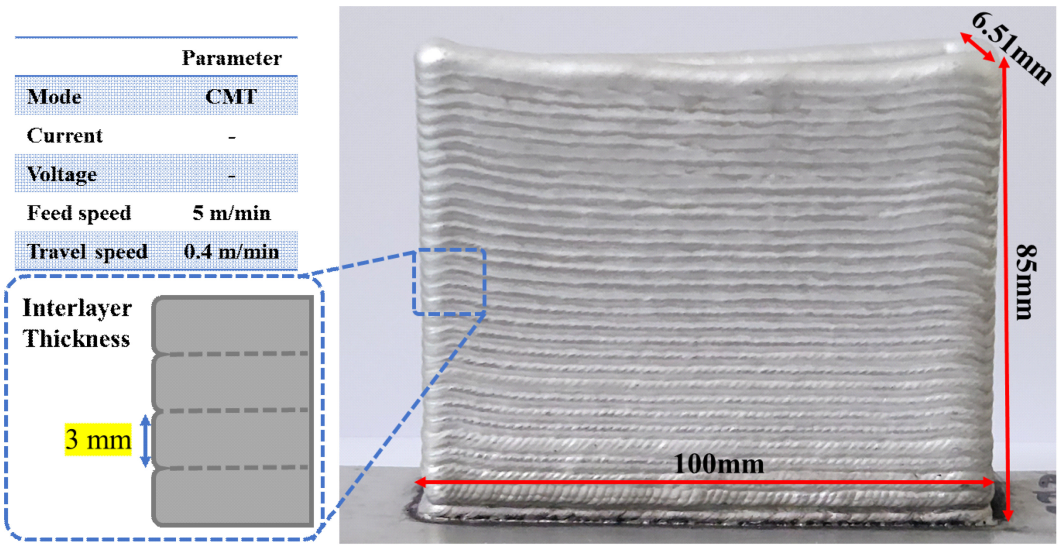


Fig. 1. Fabricated Al-5356 sample manufactured by wire arc additive manufacturing

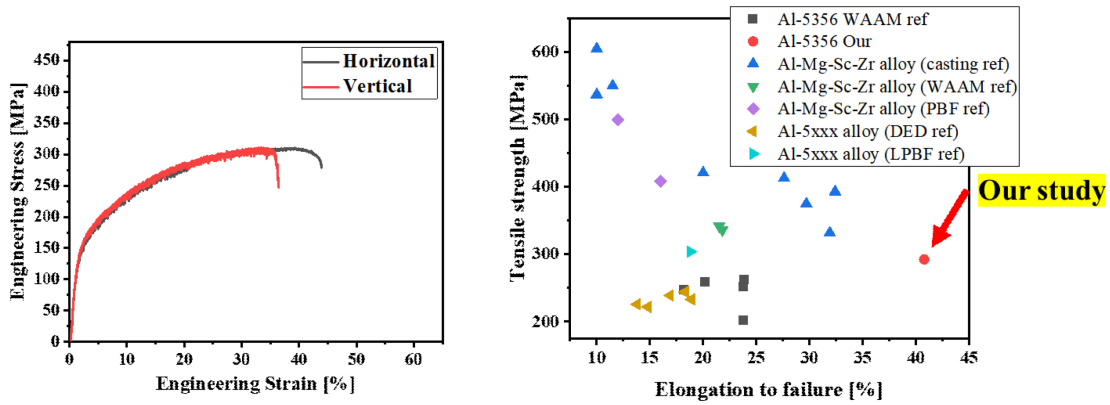


Fig. 2. (a) Tensile properties of WAAM 5356 with horizontal and vertical directions, (b) comparison of tensile properties with other reports.

References: 1) T. Pereira, J. V Kennedy, J. Potgieter, Procedia. Manuf. 11–18 (2019). 2) Yu.A. Filatov, V.I. Yelagin, V.V. Zakharov, Mater. Sci. Eng. A280 (2000) 97–101. 3) T. DebRoy, H.L. Wei, J.S. Zuback, T. Mukherjee, J.W. Elmer, J.O. Milewski, A.M. Beese, A. Wilson-Heid, A. De, W. Zhang, Prog. Mater. Sci. 92 (2018) 112–224. 4) D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, C. Emmelmann, Acta Mater. 117 (2016) 371–392. 5) S. Dixit, S. Liu, J. Manuf. Mater. Process. 6 (2022) 156. 6) C.E. Roberts, D. Bourell, T. Watt, J. Cohen, Phys. Procedia. 83 (2016) 909–917.

[학생 3-5]

석출 제어를 통한 CoCrNi계 중엔트로피 합금의 국부 부식 저항성 향상 연구: 강승연1*, 류채우(홍익대학교 신소재공학과)

Keywords: 고엔트로피 합금, L12 석출물, 부식 저항성, 공식 부식, 해양 환경

고엔트로피 합금(High Entropy Alloys, HEAs)은 다수의 주성분을 유사한 원자 비로 혼합하여 높은 조성 엔트로피(high configurational entropy)를 기반의 단상 고용체 형성을 유도하며, 격자 왜곡 효과(lattice distortion effect), 확산 저해 효과(sluggish diffusion effect), 그리고 다성분 원소 조합에서 비선형적 상호작용으로 탁월한 물성을 발현하는 칵테일 효과(cocktail effect)와 같은 고유한 특징들이 복합적으로 작용하여 우수한 기계적 물성과 내식성을 동시에 구현할 수 있는 차세대 구조재료로 주목받고 있다. 특히 FCC 기지상에서 정합계면을 이루는 $L1_2$ 석출상을 형성하는 석출 강화형 고엔트로피 합금은 열처리를 통해 강도와 연성을 동시에 확보할 수 있어 구조재료로의 활용 가능성이 크다. 그러나 석출상의 존재는 기계적 특성 향상과 별개로 합금 내부의 화학적 불균일성을 초래하여 전기화학적 특성에는 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히, 해양 환경 등 염화물 이온을 포함한 부식 환경에서는 석출상과 기지상 간의 국부적인 전위차(electrochemical potential gradient)가 형성될 가능성이 있다. 따라서, 기계적 성능의 향상과 동시에 부식 저항성 확보라는 두 가지 목표를 동시에 달성하기 위해 석출상의 크기, 형태 및 분포와 같은 미세구조 특성 정밀 제어가 요구된다. 본 연구에서는 $L1_2$ 석출상을 형성하는 $(CoCrNi)_{94}Al_3Ti_3$ (at.%) 중엔트로피 합금을 선정하여 석출 강화 및 내식성 제어를 목표로 하

는 체계적인 열처리-구조-물성 상관성 분석을 수행하였다. 해당 합금을 $L1_2$ 석출 상이 형성되는 온도인 900°C에서의 열처리(3분, 20분, 1시간, 4시간, 48시간)를 진행하여 석출상의 크기 및 분포를 정밀하게 제어하고, 이들이 전기화학적 부식 거동 및 부동태 피막 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. Synchrotron X-ray diffraction 분석 결과, 모든 열처리 조건에서 $L1_2$ 상의 superlattice diffraction peak이 관측되었으며, SEM(Scanning Electron Microscope), TEM(Transmission Electron Microscope) 분석을 통해, 약 20-100 nm 크기의 석출상이 열처리 시간 증가에 따라 점차 조대화되고 응집되는 것으로 확인되었다. 석출 상이 전기화학적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 3.5 wt.% NaCl 수용액에서 동전위(potentiodynamic) 및 정전위(potentiostatic) 분극, EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy) 실험을 수행하였다. 동전위 분극 실험 결과, 모든 시편에서 유사한 공식 전위(pitting potential, Epit)와 낮은 부식 전류밀도(corrosion current density, icorr)를 나타내었으며, 정전위 분극 실험에서도 안정적인 부동태 피막이 형성되는 것을 확인하였다. 이는 석출상 크기 및 분포 변화에도 불구하고 고르게 유지된 부동태화 능력을 시사한다. 부동태 피막의 조성은 XPS 분석을 통해 정밀하게 분석하였으며, 열처리가 상대적으로 짧은 시편의 경우 초기 석출물의 용해로 인해 Cr이 국소적으로 농축되며 Cr_2O_3 중심의 조밀하고 균질한 피막이 형성되는 반면, 석출상이 조대화된 조건에서는 기지와의 전기화학적 이질성에 기인한 피막 균일성 저하와 공식 발생 가능성 증가가 관찰되었다. Cr^{3+} 산화물이 피막의 주성분으로 확인되었으며, $L1_2$ 석출상의 용해에 따라 Al 및 Ti 산화물의 상대적 함량은 감소하는 경향을 보였다. 본 연구는 석출물의 정밀 제어가 기계적 특성과 부식 저항성 간의 균형 확보에 핵심적으로 작용함을 실험적으로 규명하였으며, 이는 부식 환경에서의 고성능 합금 설계를 위한 설계 지침으로 활용될 수 있다.

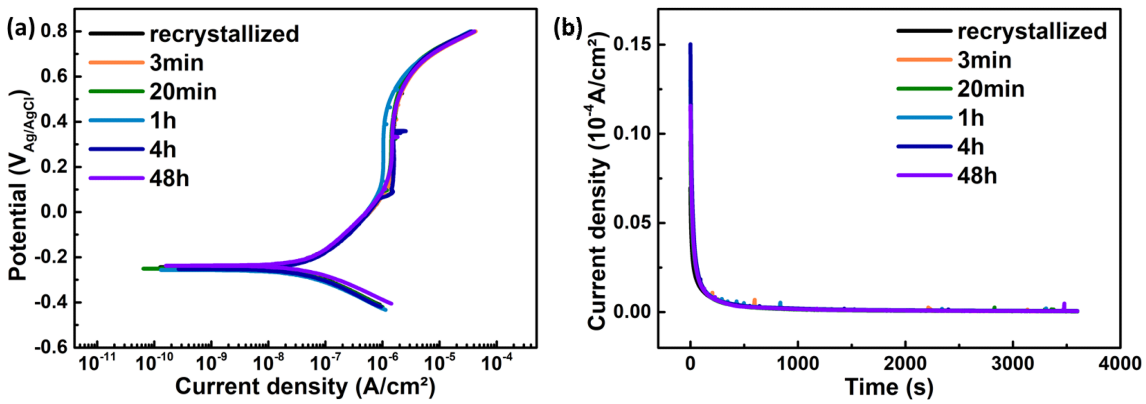


Fig. 1. $(CoCrNi)_{94}Al_3Ti_3$ (at.%) 합금의 열처리 시간에 따른 (a) 동전위 (b) 정전위 분극 거동의 변화

References: 1) T. Li et al., Corrosion science, 245, 112679, (2025). 2) J. Zhang et al., Corrosion science, 235, 112211, (2024). 3) W. Yu et al., Journal of materials research and technology, 24, (2023). 4) H. Cheng et al., Corrosion science, 226, 111670, (2024). 5) T. Li et al., Journal of materials science & technology, 208, 53-66, (2025). 6) Y. Fu et al., Journal of materials science & technology, 80, 217-233, (2021). 7) J. Zhang et al., High entropy alloys & materials, 1, 195-259, (2023). 8) J. Fang et al., Journal of phase equilibria and diffusion, 42, 781-793, (2021). 9) L. Wei et al., Corrosion science, 215, 111043, (2023). 10) W. Chai et al., Intermetallics, 116, 106654, (2020). 11) A. Bahmani et al., Corrosion science, 230, 111892, (2024). 12) Y. Wang et al., Materials characterization, 179, 111374, (2021). 13) X. Fu et al., Materials today communications, 25, 101429, (2020).

[학생 3-6]

Invar 합금의 어닐링 온도에 따른 물성 변화 분석: 장준호*, 류채우(홍익대학교 신소재공학과)

Keywords: Invar 합금, 열팽창계수(CTE), 기계적 물성, 잔류응력

Invar 합금은 Fe-36wt.%Ni 조성에서 낮은 열팽창계수 (coefficient of thermal expansion, CTE)로 인해 파인 메탈 마스크(Fine Metal Mask, FMM), 항공우주 부품 등 고정밀 분야에서 널리 활용되고 있다. 그러나 높은 연성과 낮은 경도로 인해 가공성에 한계를 가지며, 특히 얇은 판재로 적용 시 Waviness 현상 등의 문제가 발생한다. 기존 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 Mn, V 등의 미량 원소를 첨가하여 석출 강화를 유도하는 방법이 제안되었으나, 석출물은 기지상과 상이한 열팽창 특성을 지니므로 전체 합금의 낮은 CTE 특성을 저해하는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 첨가 원소 없이 Fe-Ni 이원계 조성을 유지하며, 냉간 압연 및 열처리를 통해 기계적 물성과 열팽창 특성의 동시 제어 가능성을 탐구하였다. Fe-36wt.%Ni 합금은 진공 아크 용해(Arc melting) 공정을 통해 제조되었으며, 제조된 합금은 1250°C에서 1시간 동안 고온 균질화 열처리를 실시하였다. 이후 총 78%의 냉간 압연을 통해 시편을 가공하였으며, 가공된 시편은 500°C-900°C에서 온도에서 각각 열처리를 진행하였다. 인장 시험을 통해 항복강도, 인장 강도, 연신율 등의 기계적 물성을 측정하였으며, Electron backscatter diffraction (EBSD) 및 Scanning electron microscopy (SEM)을 이용하여 미세 구조 변화를 분석하여, 이로부터 재결정화 온도 및 경계 조건을 추정하였다. 또한 딜라토미터(Dilatometer)를 활용하여 각 열처리 조건에 따른 열팽창계수를 측정하였다. 700°C 열처리 조건에서 이전 온도 대비 기계적 특성이 급격히 감소하는 양상을 통해 재결정화가 진행되었음을 확인할 수 있었으며, Kernel average misorientation (KAM), Grain orientation spread (GOS) 등의 EBSD 기반 분석을 통해 미세조직에서도 뚜렷한 변화가 발생했음을 관찰하였다. 또한, X-ray diffraction (XRD) 데이터를 기반으로 Williamson-hall plot을 이용하여 Micro-strain을 계산한 결과, 600°C 열처리 시편에서 측정된

값(0.06) 대비 700ºC 시편에서는 0.01로 약 85% 감소하여 내부 응력이 효과적으로 해소되었음을 간접적으로 확인할 수 있었다. 이후 800ºC 및 900ºC 시편에서는 모두 0.01 근처 수준의 유사한 값을 나타내어, 재결정화가 완료된 이후에는 해당 값이 비교적 일정하게 유지됨을 확인하였다. 내부 응력이 해소된 시편인 800ºC 열처리 시편의 CTE는 상용 Invar 합금과 유사하였으며, As-rolled 시편은 더 낮은 값을 나타내어 내부 응력이 CTE 저하에 기여함을 확인하였다. XRD 데이터를 이용해 격자 상수를 추출한 결과, As-rolled 시편과 모든 열처리 시편에서 a = 3.595 ~ 3.596 Å의 유사한 값을 나타내었으며, 이를 통해 열처리 이후에도 상온에서는 여전히 Invar 효과에 따른 격자 팽창 억제 현상이 지속됨은 입증하였다. 본 연구는 냉간 압연과 후속 열처리를 활용하여 Invar 합금의 기계적 물성과 열팽창 특성을 동시에 제어할 수 있는 공정 기반 전략을 제시하며, 첨가 원소 없이도 고기능화가 가능한 열가공 조건을 도출할 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 궁극적으로, Invar 합금의 낮은 CTE 특성을 유지하면서도 잔류응력을 최소화하고, 우수한 성형성과 강도를 확보할 수 있는 최적 열처리-가공 조합을 규명함으로써, 고정밀 산업 응용 분야에서의 소재 신뢰성과 대량 생산 가능성을 동시에 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

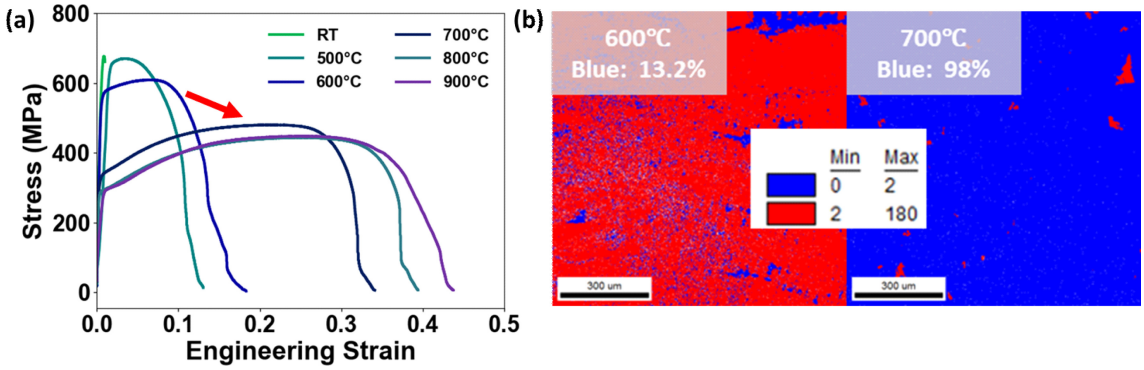


Fig. 1. Fe64Ni36 (wt.%) 합금의 (a)열처리 온도에 따른 Stress-strain curves, (b)600°C 및 700°C에서 10분간 열처리한 시편의 EBSD-GOS map (Red: 변형된 영역, Blue: 재결정화된 영역)

References: 1) Y. Tanji and Y. Shirakawa, Journal of the Japan Institute of Metals. 34, 228 (1970). 2) Y. Chao, Dongchao, W. Shu, L. Jun, and J. Liu, SID Symposium Digest of Technical Papers. 55, 161 (2024). 3) E. Sahoo and V.R.R. Medicherla, Materials Today: Proceedings. 43, 2242 (2021). 4) E.S. Gorkunov, A.I. Uvarov, V.M. Somova, V. A. Kazantsev, E. I. Anufrieva, and T. P. Tsar'kova, Russian Journal of Nondestructive Testing. 41(12), 802 (2005). 5) H.Y. Song, G.D. Wang, and H.T. Liu, Journal of Alloys and Compounds. 888, 161519 (2021). 6) L. Hitzler, M.Z. Shahul Hameed, A. Kah, M. Merkel, and E. Werner, Progress in Additive Manufacturing. 7(3), 463 (2022). 7) A.C. Yun, S.C. Yun, T.K. Ha, J.H. Song, and K.A. Lee, Transactions of Materials Processing. 24(1), 44 (2015). 8) S. Nishiyama, Y. Honda, D. Sato, and H. Tanabe, Tetsu-to-Hagane. 81(11), 1097 (1995). 9) Y. Yao, Q. Zhao, C. Zhang, J. He, Y. Wu, and G. Meng, Journal of Materials Research and Technology. 19, 3046 (2022). 10) M. Kul, B. Akgul, and Y.Z. Karabay, Materials Chemistry and Physics. 295, 127215 (2023). 11) H. Liu, Z. Sun, G. Wang, X. Sun, J. Li, and F. Xue, Materials Science and Engineering: A. 654, 107 (2016). 12) H. Liu, Y. Yu, L. Feng, Y. Wang, Z. Sun, and J. Zhang, Journal of Alloys and Compounds. 994, 174770 (2024). 13) S.J. Park, S.H. Jo, J.G. Kim, J. Kim, R. Lee, and Y.S. Oh, Metals. 12(1), 110 (2022).

알루미늄
Room 3층 301, 10월 29일

[알루미늄1-1 | 09:00]
수익성 개선을 위한 압출 및 롤본딩 공법 적용 알루미늄 배터리케이스 개발: 이재형, 김병수(현대자동차)
Keywords: 금속, 알루미늄, 압출, 롤본딩, 배터리케이스, 전기차
기존 내연기관 자동차로 인한 CO_2, SO_2, NO_x 등의 유해가스가 각종 대기오염과 지구 온난화에 끼치는 영향을 막기 위해 내연기관을 대체할 수 있는 전기자동차 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 세계 주요 국가들이 기후변화에 대응하여 연비 및 온실 가스 규제를 점차 강화하고 있는 추세이며 강화된 규제를 준수하기 위해 전기자동차 개발은 필수적이다. 전기차 성능 향상을 위해 당면한 과제들 중 가장 중요한 부분을 차지하는 것이 배터리 시스템에 대한 부분이다. 그 중에서도 열관리 시스템에 관한 연구가 필수적인데, 전기차 배터리의 경우 적절한 온도 범위에서 운전되지 않으면 국부적인 온도상승이 발생하여 배터리 성능을 저하시키는 등의 악영향을 초래할 수 있다. 따라서 배터리 열관리 시스템이 중요하고 이에 대한 다양한 냉각 시스템이 개발되고 있다. 현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 냉각 방식은 접합물질(용가재)이 포함된 클래드 소재를 냉각수 유로 형태로 프레스 성형한 뒤 고온에서 접합시키는 브레이징(Brazing) 타입의 배터리 냉각시스템이다. 브레이징 타입 배터리 냉각플레이트의 경우 대면적 접합이 가능하고 접합성이 우수한 장점들이 있지만 플럭스 과도포로 인한 석출물 발생, 열변형에 의한 평탄도 불량, Mg 석출로 인한 고강도 소재 사용 불가 등 단점들도 동시에 존재한다. 이러한 브레이징 타입 배터리 냉각플레이트의 단점들을 극복하기 위해 다양한 타입의 냉각플레이트 기술 개발이 이루어지고 있는 상황이며 본 논문에서는 압출 공법 및 롤본딩 공법을 이용한 두가지 냉각플레이트를 개발하고자 한다. 압출 공법 특성상 평탄도 품질이 우수하며, 이를 통해 평탄도 보완을 위해 과도하게 도포되던 갭필러를 감소시켜 원가절감이 가능하다. 또한 배터리 고밀도화를 위해 종, 횡멤버 수를 축소시켜 배터리 개수를 늘리는 연구가 진행중인데 이를 위해서는 기존의 종, 횡 멤버가 담당하던 역할을 냉각플레이트의 고강도화를 통해 보완하는 작업이 필수이다. 압출재를 사용하면 기존의 브레이징에 사용되는 클래드재 대비 강도가 월등히 높아지기 때문에 종, 횡멤버 수를 축소시켜 배터리 고밀도화를 가능하게 할 수 있다. 또한 기존 고강도 SMC소재를 사용하던 하부커버를 PP소재로 변경함에 따라 원가절감도 가능할것으로 예상된다. 롤본딩 공법에 의한 냉각 플레이트는 두 알루미늄 판재 중 한면에 흑연을 유로 형상으로 프린팅 한 후 두 판재를 압연기에 넣고 롤본딩을 하여 접합시킨다. 그 후 팽관 장비를 통해 압연된 판재 사이에 공기 압력을 주입하면 접합되지 않은 흑연 프린팅 된 유로가 팽관 압력에 의해 부풀게 되고 냉각 플레이트가 제작완료 된다. 롤본딩 공법은 냉장고, 에어컨 등 가전제품의 냉각 플레이트에서 주로 사용되는 공법이며 일부 자동차 부품 업체에서도 전기차 냉각 플레이트용으로 적용하여 양산 중에 있다. 롤본딩 공법의 특징은 흑연 프린팅에 의해 유로가 생성되기 때문에 유로 설계가 자유롭고 기존 브레이징 공법 대비 10%이상 원가절감이 가능하다. 또한 공정 간소화를 통해 공정 싸이클 타임이 기존1~2시간에서 10분 이하로 감소가 가능하다. 본 논문에서는 압출 공법 및 롤본딩 공법을 사용하여 원가절감 효과를 달성할 수 있는 두가지 종류의 배터리 냉각 플레이트를 개발하고자 한다.

[알루미늄1-2 | 09:15]
고속 X-선 radiography를 통한 Al-Cu 및 Al-Cu-Fe 합금에서의 열균열 (hot tear) 형성 실시간 관찰: 한인성*(경북대학교)
Keywords: 알루미늄-구리 합금, 열균열, 금속간화합물, 실시간 X-ray 영상 분석, 알루미늄 재활용, 불순물
열균열 (hot tear) 은 합금 응고의 마지막 단계에서 고립된 액상의 수축으로 인해 발생하며, 주조 공정으로 제조된 금속 재료의 기계적 성질에 심각한 영향을 줄 수 있는 결함이다. 열균열 예측을 위한 기존 모델들은 존재하지만, 실제 재활용 합금에 흔히 포함된 금속간 화합물 등 미세조직 요소의 영향을 충분히 반영하지 못하고 있다. 본 연구에서는 Al-5Cu 합금과, 불순물로 Fe를 포함한 Al-5Cu-1Fe 합금의 응고 과정 중 열균열의 형성과 성장 거동을 고속 X-ray 방사선 영상 기술을 통해 실시간으로 관찰하였다. 이를 기반으로 영상 기반의 열균열 검출 및 추적 알고리즘을 개발하여, 균열의 생성 및 병합 과정을 정량적으로 분석하였다. 그 결과, Fe를 포함한 금속간 화합물의 존재는 수지상 사이의 액체 유동을 방해하여, 상대적으로 낮은 고상 분율에서 열균열을 유발하며, 이 경우 열균열의 공간적 분포는 전반적으로 균일하고 형성 빈도 또한 증가하는 경향을 보였다. 아울러, 응고 수축에 따른 액체 유동 속도 및 국소적인 압력 강하를 정량화하였으며, 다수의 미세 균열이 연속적으로 병합되며 더 큰 균열로 성장하는 과정을 시각적으로 규명하였다.

[알루미늄1-3 | 09:30]
스퍼터링을 활용한 탄소 고용 6061 알루미늄 합금 박막의 고강도 구현: 이시온, 김호장, 최선근, 오인종(한국과학기술원), 박재홍(현대자동차), 심기동*(한국과학기술원)
Keywords: 탄소 고용 알루미늄 합금, 미소 인장시험, 열처리 효과, 동시 스퍼터링, 고강도 알루미늄
6061AA는 뛰어난 가공성과 내식성을 가지고 있고 중간 정도의 인장 강도를 가지고 있어 건축 구조물에 가장 지배적으로 사용되고 있는 열처리형 Al-Mg-Si-(Cu) 합금이다. 본 연구에서는 알루미늄 합금의 장점을 유지하면서 강도를 더욱 향상시키기 위해서 6061AA 타겟과 그라파이트 타겟의 동시 스퍼터링을 통해 6061AA-C 박막을 제작하였다. 해당 소재는 미세구조 분석을 통해 알루미늄 합금 모재에 탄소 원자가 골고루 분포되어 있는 미세구조 형태를 띄고 있는 것이 확인되었다. 자체 제작한 미소 인장시험기를 통해 인장시험을 진행한 결과, 6061AA-C 박막의 탄소 함유량이 높을수록 파괴 변형은 유지하면서 인장 강도가 증가하는 경향을 보였으며, 탄소 함유량이 매우 많을 경우에는 오히려 인장 강도와 연성이 저하되는 현상을 관찰하였다. 또한 열처리 효과를 알아보

기 위해 다양한 열처리 온도에서 해당 소재의 기계적 물성을 평가하였으며, 300도씨 이상에서 카바이드가 형성되지 않고 Al-Cu 석출물 형성을 통해 추가적인 강도 향상이 관찰되었다. 이는 스퍼터링으로 제작한 6061AA-C 박막에서 알루미늄 합금은 치환형 고용체 강화 및 석출물 강화, 탄소의 함유는 침입형 고용체 강화 및 결정립 미세화가 유발되어 서로 다른 강화 매커니즘이 적용되어 해당 결과가 나타났다고 설명할 수 있다.

[알루미늄1-4 | 09:45]

6xxx계 알루미늄 합금에서 온도에 따른 미세 조직 변화가 고온 가공성에 미치는 영향: 김하늘, 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)

Keywords: 알루미늄, 고온 가공성, 석출, 공정지도

6xxx계 알루미늄 합금은 고온에서 우수한 가공성을 가지기 때문에 열간 압출을 통한 제품이 많이 생산되고 있다. 이때 압출 공정 조건에 따라 소재의 결함이나 가공 효율 등이 결정되며, 이는 제품의 성능과 생산성에 직결되는 요소이다. 따라서 압출 공정 조건을 최적화하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구 결과 중 하나가 공정 지도를 통한 가공성의 평가이다. 공정 지도에는 공정의 효율성을 의미하는 에너지 분산 효율(η)과 안정적인 변형의 정도를 의미하는 유동 불안정성 지표(ξ)가 있다. 각 지표는 공정 조건의 변화가 소재의 변형에 미치는 영향을 통해 구할 수 있다. 특히 고온 공정에서는 온도에 따른 석출, 고용, 재결정 등의 미세 조직적 변화가 소재의 변형에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 고온에서 발생하는 미세 조직적 변화가 고온 가공성에 미치는 영향에 대해 규명하고자 하였다. 300ºC~450ºC의 온도 조건에서 1~0.001/sec의 변형률 속도 조건으로 고온 압축 실험을 진행하였으며, 이를 통해 얻은 데이터를 기반으로 공정 지도를 작성하여 공정 조건에 따른 소재의 가공성을 평가하였다. 또한 공정 지도에서 가공 효율이 낮거나 소성 불안정성이 높은 영역이 나타난 원인을 규명하기 위해 해당 온도 조건에서의 DSC 분석 및 미세 조직 관찰을 통해 알루미늄 합금 내부의 석출 및 재결정 거동을 분석하였다. 이를 통해 6xxx계 합금의 석출 및 재결정을 고려한 최적 공정 조건을 도출하고자 하였다.

[알루미늄1-5 | 10:00]

용체화 및 시효된 Al-Zn-Cu-Mg 합금의 마모 특성: 신지용, 정현우(한국재료연구원,부산대학교), 정일석, 최은애(한국재료연구원), 권세훈(부산대학교), 한승전*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Zn alloy, Al-Zn-Cu-Mg alloy, precipitation hardening, wear behavior, heat treatment

Al-xZn-0.5Cu-0.1Mg 합금에서 Cu와 Mg는 Zn 석출물에 고용되어 Al/Zn 계면에너지를 감소시켜 주조/응고 초기 Zn 석출을 가속한다. 그 결과 별도의 시효 없이도 우수한 기계적 특성 및 마모 특성을 보인다. 추가적인 특성 향상을 위해 열처리 조건에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 Zn가 9, 17 wt. % 포함된 Al-xZn, Al-xZn-0.5Cu-0.1Mg 합금을 대상으로 용체화 및 시효 처리가 합금의 기계적 특성 및 마모 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 대기 주조된 합금을 400ºC, 1시간 용체화 처리 후 160ºC에서 5-40 분 동안 시효 하였다. 그 결과 17 wt. %의 Zn를 포함하는 합금들은 용체화, 시효 처리 이후 경도가 상승하였으며, 9 wt. %의 Zn를 포함하는 합금의 경도는 비슷하거나 감소하였다. 마모 시험 결과 또한 합금의 경도 변화 양상과 같았다. 해당 열처리 과정은 높은 함량의 Zn를 포함하는 합금에서 효과적이었으며, 미세조직 및 마모면 관찰을 통해 이유를 분석하였다.

[알루미늄1-6 | 10:15]

Ni 첨가된 Al-Mg-Si 합금의 석출 거동에 미치는 시효 온도의 영향: 남수민(한국재료연구원,경북대학교), 어광준(한국재료연구원), 최명식(경북대학교), 손현우*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Mg-Si alloy, microalloying, thermal stability, aging temperature, Ni addition

Al–Mg–Si 합금은 경량 구조재로 널리 활용되지만, 고온 노출 시 석출물 조대화로 열안정성이 저하된다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 기존 합금에 미량의 Ni을 첨가하였다. Ni은 Al 기지에서 고용도가 낮지만, 일부 연구에서 석출물–기지 계면 편석 가능성이 제기되었으며 β″ 미세화와 열적 안정화에 기여할 수 있음이 시사하였다. 그러나 Ni 첨가의 구체적인 효과와 이를 극대화할 수 있는 방법은 명확히 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 낮은 고용도를 가지는 미량 원소 활용 시 시효 온도에서의 고용도가 핵심 요소라고 판단하였으며, 이에 따라 서로 다른 시효 온도에서 Ni 첨가 효과를 조사하였다. Al–0.8Mg–0.4Si 합금과 Ni 첨가 합금을 200 °C와 260 °C에서 시효 처리하고, 경도, TEM, APT 분석을 통해 Ni의 역할을 규명하였다. 200 °C에서는 Ni 첨가가 β″을 크게 미세화하여 경도 상승 효과를 보였으나, 잔류 Ni 부족으로 장기 시효 시 열안정성 향상은 제한적이었다. 반면 260 °C에서는 Ni의 고용도와 확산이 증가하면서 β″ 및 β′ 계면에 선택적으로 편석하였고, 이는 구조 안정화와 조대화 억제로 이어졌다. 특히 계면에서 Ni은 Si 혹은 Mg와 결합해 β″Cu 유사 구조를 형성하였으며, 이는 Ni이 Cu와 유사한 거동을 보일 수 있음을 시사한다. 이러한 결과는 낮은 고용도를 가지는 미량 원소의 새로운 활용 방법을 제시하는 데 기여할 것으로 기대된다.

[알루미늄2-1 | 10:40]

적층제조 기반 조합실험을 통한 복합주조 알루미늄의 계면 조성 최적화 및 접합·열전달 성능 향상: 남승진(고려대학교), 한주연, 전서연, 강태연, 한선구, 최현주*(국민대학교)

Keywords: 알루미늄, 적층제조, 복합재료

최근 전기차 배터리 하우징, 모터 하우징, 열교환기 등에서 고신뢰성과 우수한 열전도 특성이 요구됨에 따라, 가공재 알루미늄을 인서트(pre-insert) 형태로 활용하여 주조재와 일체화하는 복합 주조(compound casting) 기술이 주목받고 있다. 이 공정은 주조재의 형상 자유도와 가공재의 기계적·열적 우수성을 동시에 확보할 수 있다는 장점이 있으나, 계면에서 발생하는 산화물층, 젖음성 부족, 불완전 용접 등의 문제로 인해 계면 강도 저하 및 열전달 저항이 발생하며, 이는 실제 부품 신뢰성 확보에 큰 제약으로 작용한다. 따라서,

주조 공정 중 용융 알루미늄과 가공재 사이의 계면 반응을 제어하고, 금속적 연속성을 확보할 수 있는 계면 설계 기술이 요구된다. 본 연구에서는 적층제조 기반 조합실험(additive manufacturing-based combinatorial experiment)을 통해 알루미늄-실리콘-아연(Al–Si–Zn)계 계면 코팅 조성을 최적화하고, 이를 적용한 복합 주조 공정을 통해 계면 접합 강도 및 열전달 성능을 동시에 향상시키고자 하였다. 먼저, Al–12Si와 Zn 분말을 다중 노즐 DED(directed energy deposition) 방식으로 기판에 직접 공정하여 다양한 조성의 코팅층 라이브러리를 형성한 후, 그 위에 주조합금을 중력주조 방식으로 주입하여 젖음성 및 반응층 형성 여부를 평가하였다. 그 결과, Zn이 약 30 wt%, Si가 약 8 wt%인 조성에서 가장 우수한 계면 반응성과 접합성을 보였으며, 이후 실제 모터 하우징용 냉각 파이프 외면에 해당 조성을 플라즈마 열분사 방식으로 코팅한 후, 800톤 다이캐스팅 장비를 활용한 일체형 복합 주조를 수행하였다. 계면 분석 결과, 코팅층이 용융 주조합금과 빠르게 반응하여 기공이나 열균열 없이 연속적인 반응층을 형성하였으며, 이로 인해 접합 계면의 미세조직 연속성과 화학적 결합 강도가 크게 향상되었다. 기계적 평가에서는 푸쉬아웃 시험을 통해 비코팅 대비 약 6배 향상된 접합 강도를 확인하였으며, 적외선 열화상 분석에서도 코팅층이 열전달 경로로 효과적으로 작용하여 계면의 열 축적이 억제됨을 관찰하였다. 본 연구는 고속 조합실험과 적층제조 기반의 계면 설계 전략이 복합 주조 알루미늄 구조체의 성능 한계를 극복할 수 있음을 실증하였으며, 이는 향후 전기차 열관리 시스템 및 고신뢰성 경량 부품 설계에 실질적 기여를 할 수 있는 기술 기반을 제공한다.

[알루미늄2-2 | 10:55]

Cu 확산 지연 메커니즘을 활용한 Al-Mg-Si-Cu 합금의 열안정성 향상 기술: 손현우*, 어광준(한국재료연구원), 김용유(한국재료연구원, 대구기계부품연구원), 이재석, 남수민(한국재료연구원)

Keywords: A-Mg-Si-Cu 합금, 열안정성, 시효석출, 미량원소

Al-Mg-Si-Cu 합금은 우수한 성형성과 비강도 특성으로 인해 전기차 배터리 케이스와 같은 고온 환경 구조재로 주목받고 있으나, 상대적으로 낮은 열안정성이 장기 신뢰성을 제한하는 주요 요인으로 지적되고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 미량 합금원소 첨가를 통한 열안정성 향상 메커니즘을 규명하였다. 우선, Ag 및 Sc 복합 첨가를 통해 서로 다른 역할을 갖는 원소들의 상승효과를 규명하였다. Ag는 주로 전통적인 메커니즘인 석출상 disordering을 통해 조대화를 억제한 반면, Sc는 Cu 확산을 저지하는 Sc–Cu 쌍 형성을 통해 초기 및 과시효 단계에서의 석출속도를 지연시키는 역할을 한다. 이 두 메커니즘이 결합됨으로써, 단독 첨가보다 우수한 열적 안정성을 확보할 수 있음을 확인하였으며, 해당 합금의 매우 우수한 열안정성은 주로 Sc의 Cu 확산억제 현상에서 발현함을 확인하였다. 후속 연구에서는 Sc의 고비용 문제를 해결하기 위해 Yb, Y, La, Er과 같은 대체 원소를 검토하였다. 특히 Yb 첨가 합금을 집중적으로 분석한 결과, Sc과 같이 Yb 또한 Cu와 강한 상호작용을 통해 Cu–Yb 쌍을 형성하고, 이 쌍의 반복적 형성과 분해가 Cu 확산을 지연시켜 석출 속도를 늦추는 새로운 메커니즘을 제공함을 확인하였다. 본 연구는 기존에 개발된 L상 형성이 지배적인 Mg-rich Al-Mg-Si-Cu합금의 열안정성 향상에 가장 효과적인 메커니즘은 Cu확산억제임을 제안하지만, 해당 합금의 상용화를 위해서는 희토류 사용을 억제하기 위한 연구가 추가로 필요하다.

[알루미늄2-3 | 11:10]

Zr / Si 나노파우더 첨가를 통한 Al-7075 합금의 균열취약성 감소 및 고온등방가압 처리를 통한 물성강화: 사공만재, 이마태, 구본우, 안성열, 이정아(포항공과대학교), 조성재(공주대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 금속적층제조, 알루미늄 7075, Hot cracking

Directed Energy Deposition (DED)는 공급재료와 집속 에너지원의 동시 공급을 통해 알루미늄(Al) 합금 부품을 제조할 수 있는 유망한 적층제조(Additive Manufacturing, AM) 기술로 주목받고 있다. 그러나 Al-7075는 낮은 용접성 및 높은 열균열(hot cracking) 감수성으로 인해 균열 없는 적층을 구현하는 데 큰 어려움이 있다. 본 연구에서는 응고 과정 중 등축정(equiaxed grain)의 형성을 촉진하기 위해, Scheil 시뮬레이션을 활용하여 지르코늄(Zr)과 실리콘(Si) 나노입자의 원소 비율을 최적화하였다. 그 결과, 조성이 조정된 Al-7075 합금을 DED로 성공적으로 제작하여 균열 없는 적층 영역을 확보할 수 있었다. 비록 조정된 Al-7075 합금은 약 3–4%의 기공률을 보였으나, 적층 상태(as-built) 시편은 우수한 기계적 특성을 나타냈다. 또한, 적층 과정에서 유발된 기공을 저감하기 위해 Hot Isostatic Pressing(HIP) 처리와 최적화된 열처리 조건을 적용하였으며, 이를 통해 기계적 특성이 크게 향상되었다. 본 연구 결과는 Al-7075의 DED 공정 가능성을 확인하고, 적층제조 분야에서의 고성능 응용 가능성을 제시한다.

[알루미늄2-4 | 11:25]

7xxx 알루미늄 합금의 열처리와 석출 거동에 따른 강도-부식 상관성: 정혜지, 신선호, 성효경*(국민대학교)

Keywords: 7xxx 알루미늄 합금, 열처리, 석출 거동, 기계적 특성, 부식 저항성, 성능 균형

7xxx계 알루미늄 합금은 높은 비강도와 우수한 가공성을 바탕으로 항공우주 및 수송 분야의 핵심 구조재로 널리 활용되고 있다. 그러나 강도 향상을 위한 석출 강화와 부식 저항성 확보 사이의 균형은 여전히 해결되지 않은 중요한 과제이다. 특히 열처리 조건에 따른 석출 거동의 미세한 차이가 기계적 성능과 내식성의 트레이드오프를 크게 좌우하기 때문에, 합금 조성 및 공정 조건의 상관성을 정밀하게 규명하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 7075, 7050, 7068 합금을 대상으로 공통 용체화 처리(470 °C, 2 h) 후 140 °C에서 서로 다른 시효 조건(12–48 h)을 적용하여, 열처리 조건에 따른 석출 거동과 강도–부식 성능 간의 상관성을 체계적으로 분석하였다. 미세조직 관찰 결과, η′/η 석출상의 분포, 입계 석출의 연속성, 그리고 PFZ (Precipitate-Free Zone)의 폭이 조건에 따라 뚜렷하게 변화하였으며, 이러한 차이는 합금별 기계적 강도와 부식 저항성에 직접적으로 반영되었다. 특히, 미세한 η′ 석출물의 고밀도 분포는 강도를 크게 높였으나 동시에 부식 감수성을 증가시켰고, 반대로 조대한 석출물과 넓은 PFZ는 부식 저항성을 개선하는 대신 강도 저하를 초래하였다. 본 연구는 합금 조성과 열처리 조건이 결합하여 강도–부식 성능 균형을 좌우하는 핵심 기구를 제시하며, 7xxx계 합금의 열처리 설계와 구조재 응용에서 성능 최적화를 위한 구체적 지침을 제공한다.

[알루미늄2-5 | 11:40]

개질화 원소 첨가 및 주조 온도에 따른 Al-7Si/Cu 바이메탈의 계면 반응층의 영향: 임하윤(한국재료연구원,부산대학교), 김병주(중소조선연구원), 천현석(한국재료연구원,부산대학교), 김수현*(한국재료연구원), 이욱진(부산대학교)

Keywords: Al/Cu 바이메탈, 복합 주조, 개량화 원소, Sr, 금속간화합물

Al/Cu 바이메탈은 단일 구리 대비 무게 및 비용을 크게 감소하면서 전기 및 열전도성을 동일하게 유지할 수 있어 열교환 시스템, 외장 케이블, 그리고 경량 부품과 같은 다양한 산업 분야에서 사용된다. 이러한 Al/Cu 바이메탈은 고체 상태의 구리에 알루미늄 용탕을 주입하여 접합과 동시에 주조를 완료하는 복합 주조 공정을 통해 제조되며, 공정 단순화로 인한 제조 시간 단축과 비용 절감의 장점이 있어 주목받고 있다. Al/Cu 바이메탈의 응고 과정에서 계면에 10 ~ 30 μm의 두께를 가지는 금속간화합물 반응층과 수 mm의 두께를 가지는 멀티페이즈 반응층이 형성된다. 기존의 연구들은 주로 취성적인 금속간화합물 반응층의 제어를 통해 바이메탈의 기계적 특성을 향상시키기 위한 연구들이 보고되었다. 본 연구에서는 금속간화합물 반응층보다 상대적으로 두껍게 형성되는 멀티페이즈 반응층 내 공정 상들의 형상을 제어하고자 하였다. 이를 위해 Al-Si-Cu 합금의 주 개량화 원소로 잘 알려진 Sr을 첨가하여 공정상을 개량화하고, Al-Si-Sr/Cu 바이메탈의 주조 온도 및 Sr 함량 변화가 계면 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 효과를 연구하였다.

[알루미늄2-6 | 11:55]

6XXX계 스크랩 알루미늄 압출재의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 Fe 함량의 영향: 김형준(한국재료연구원,부산대학교), 이윤수, 손현우, 이재석(한국재료연구원), 윤연희(한국재료연구원,한양대학교), 안지영(한국재료연구원,경북대학교), 김규낙(한국재료연구원), 이제인*(부산대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄 합금, 압출, PCG(Peripheral Coarse Grain), EBSD(Electron Backscatter Diffraction), 집합조직, 압축

6XXX계 알루미늄 합금 압출재는 비강도, 성형성, 내식성이 우수하여 자동차 및 항공기 구조재에 널리 사용된다. 최근 국내외에서 발효된 각종 탄소규제에 따라 제조과정에서 탄소를 과도하게 배출하는 순알루미늄 대신 재활용 스크랩 알루미늄을 사용한 합금제조가 필수적이다. 하지만 정련 기술의 한계로 스크랩 알루미늄에서 Fe 제거가 어렵기 때문에, 스크랩으로 제조한 알루미늄 합금에는 필연적으로 Fe가 잔류하게 된다. 따라서 본 연구에서는 잔류Fe가 6XXX계 알루미늄 압출재의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. Fe 함량을 0.2, 0.4, 0.6 wt.% 첨가한 Al-0.7Mg-0.9Si (wt.%) 합금을 550ºC에서 24시간 균질화 처리 후 500ºC, 520ºC에서 4:1, 16:1압출비로 열간압출 하였다. 그 결과 모든 조건에서 압출재 표면에 결정립이 조대화된 조직인 PCG(Peripheral Coarse Grain)가 생성되었다. PCG는 압출비가 클수록, 압출온도가 높을수록 시편 표면에 두껍게 생성되었다. 이는 압출비와 온도가 클수록 압출 과정에서 시편 표면의 마찰온도가 커졌기 때문인 것으로 사료된다. 520ºC에서 압출할 경우 Fe 함량이 0.2 wt.%에서 0.4 wt.%로 증가함에 따라 PCG의 두께가 25 μm에서 36 μm로 증가하였는데, 0.6 wt.%Fe 첨가 시 PCG 두께가 14 μm로 감소하였다. 이는 Fe 함량 증가에 따라 조대한 AlFeSi 입자의 분율이 증가하여 PSN(Particle Stimulated Nucleation) 효과로 PCG의 생성이 가속화되지만, 과도한 Fe 첨가는 오히려 PCG성장을 억제한 것으로 판단된다. 압축시험 결과 Fe함량 차이는 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았으나, PCG가 두꺼울수록 압축시험 후 표면 거칠기가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 압축과정 중 조대한 PCG와 내부 미세 결정립과의 불균일한 변형에 기인한 것으로 분석되었다. 키워드 : 알루미늄 합금, 압출, PCG(Peripheral Coarse Grain), EBSD(Electron Backscatter Diffraction), 집합조직, 압축

[알루미늄3-1 | 14:00]

알루미늄합금에서의 GP zone의 electron microscopy diffraction pattern에 대한 연구: 설재복*, 성효경, 최현주(국민대학교)

Keywords: 알루미늄, TEM

TEM zone axis를 [011] 및 [112] 모두 사용하여 알루미늄합금에서의 GP zone의 electron microscopy diffraction pattern 분석한 결과, 다른 FCC합금에서 얻은 short-range ordered 구조의 TEM diffraction patten과 같다.

[알루미늄3-2 | 14:15]

D0-stable Y원소의 $L1_2$상 안정화 및 $L1_2$-Al_3(Zr,Er,Y)상이 고온 노출된 Al–Zn–Mg 합금의 석출물에 미치는 영향: 김용유(대구기계부품연구원 소재부품연구본부,한국재료연구원 경량재료연구본부), 어광준, 손현우*(한국재료연구원 경량재료연구본부)

Keywords: 미량합금원소, 석출물, $L1_2$상, 투과전자현미경

Al–Zn–Mg 합금은 열처리 시 형성되는 준안정 η'상에 의해 석출강화되어 높은 비강도를 갖기 때문에, 내충격성이 요구되는 구조재로 활용되고 있다. 또한, 준안정 $L1_2$-결정구조 상은 η와 같은 열처리용 알루미늄 합금의 주요 석출물과 무관하게 분산 강화 및 고온 특성 향상에 기여한다고 알려져 있다. $L1_2$상은 천이 원소와 란탄계 원소의 복합첨가로 시너지 효과를 갖는 것으로 보고되었으며, 특히 Zr과 Er의 복합첨가는 core-shell 구조를 형성하여 고온 특성을 효과적으로 상승시키는 것으로 보고되었다. 여기에 Y원소를 Zr 및 Er 등과 복합첨가하면 $L1_2$상의 핵생성을 증가시키는 것으로 보고되었으나, D0-stable로 알려진 Y원소가 어떻게 $L1_2$로서 강화에 기여하는지에 대한 연구는 아직까지 보고되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 D0-stable Y원소를 경제적으로 활용 가능한 Zr 및 Er 원소와 복합첨가시 어떻게 $L1_2$상으로 활용할 수 있는지 매커니즘을 규명하고, 열안정성 $L1_2$상이 Al–Zn–Mg 합금의 고온 특성에 미치는 영향에 대해서 투과전자현미경(TEM)을 활용하여 조사하였다. 알루미늄 합금에 Y원소를 Zr과 복합첨가하면, D0-type Al_3Y상이 고온 환경에 노출되는 동안 Zr이 D0-Al_3Y상의 내부로 침투하여 $D0_{22}$에서 $L1_2$로 상변화가 진행된다. Zr-Er-Y 복합첨가는 고온에서 과시효 되는 동안 $L1_2$/η-$MgZn_2$계 나노 석출물의 분포 밀도를 증가시키고 조대화를 방지하여 Al–Zn–Mg 합금의 강도를 향상시켰다. 특히, Zr-Er-Y 복합첨가는 분산 강화에 기여하는 $L1_2$상의 분포 밀도를 효과적으로 증가시키고, 풍부한 $L1_2$상이 주요 석

출물인 η-$MgZn_2$계 석출물에 대해 추가적인 핵생성을 제공하여 고온 특성을 더욱 향상시켰다. Zr-Er-Y 복합첨가가 $L1_2$상의 핵생성을 효과적으로 증가시키는 이유는, 확산 속도가 빨라서 $L1_2$상의 core 역할을 하는 Y과 $L1_2$ 형성 안정화 원소인 Er 사이의 강한 상호작용으로 드러났다.

[알루미늄3-3 | 14:30]

재료 연구를 위한 미세조직 이미지 자동 분석 프로그램 개발: TIMs_Image: 김세종*, 조영희, 김도현(한국재료연구원)

Keywords: 미세조직, 인공지능, 정량적분석,

최근 재료 연구 분야에서는 실험 데이터가 가지는 중요성이 크게 부각되고 있다. 그중에서도 미세조직 이미지는 재료의 성질을 직접적으로 보여주는 핵심적인 데이터이지만, 이를 분석하는 과정에는 여러 가지 어려움이 따른다. 예를 들어, 실험 과정에서 발생하는 작은 오류들은 완전히 피하기 어렵고, 이미지 분석 자체가 많은 시간과 노력을 요구한다. 또한 분석 기준이 일정하지 않아 연구자에 따라 다른 결과가 도출되기도 하며, 신뢰성 있는 결론을 얻기 위해서는 다양한 위치에서 반복적으로 촬영된 많은 이미지를 일일이 분석해야 하는 부담이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 인공지능(AI)을 실험 데이터 분석에 활용하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 재료 분석에 적합한 인공지능 모델을 구축하는 일은 결코 간단하지 않다. 학습 데이터를 준비하는 데만 상당한 시간이 소요되며, 올바른 정답을 달기 위해서는 전문적인 지식이 필요하기 때문에 레이블링 비용이 높다. 게다가 공정 조건이나 재료 조성의 변화로 전혀 다른 형태의 미세조직이 생성되면, 기존 모델을 그대로 활용하기 어렵고 재학습이 불가피하다. 이러한 배경에서 본 연구팀은 TIMs Image라는 미세조직 분석 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 이미지 프로세싱과 인공지능 기술을 결합하여, 분석의 효율성과 신뢰성을 동시에 높이는 것을 목표로 한다. 주요 기능은 다음과 같다. 첫째, 불균일한 광원이나 초점 불량과 같은 흔한 결함을 자동으로 보정한다. 둘째, 보정된 이미지를 바탕으로 상(phase)을 자동으로 구분하고 정량적으로 분석한다. 셋째, 자동 구분된 결과를 활용해 약지도 학습 방식을 적용함으로써, 적은 레이블링 데이터로도 인공지능 모델을 학습할 수 있다. 마지막으로, 다양한 미세조직 이미지를 연속적으로 분석하고 그 결과를 보고서 형태로 자동 생성하여 연구자가 쉽게 활용할 수 있도록 한다. TIMs Image는 반복적이고 주관적인 요소가 많았던 기존 미세조직 분석 과정을 크게 단순화하고 자동화한다. 이를 통해 연구자는 더 적은 시간과 노력으로도 일관성 있고 신뢰성 높은 데이터를 확보할 수 있으며, 이는 재료 연구 전반의 생산성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다. 본 발표에서는 TIMs Image의 주요 기능과 실제 적용 사례를 중심으로 그 가능성과 활용 방안을 소개하고자 한다.

[알루미늄3-4 | 14:45]

Al-Si-Mg 합금의 Pitting 부식 거동에 대한 냉각 속도의 영향: 이상익(한국재료연구원,한양대학교), Saif Haider Kayani(한국재료연구원), 이윤호(한국재료연구원,한양대학교), 김영서, 김정한(동아대학교), 장재일*(한양대학교), 조영희*(한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄, 부식, 냉각속도

전 세계적으로 탄소중립 사회를 실천하면서 자동차 산업은 탄소 배출량을 줄이기 위해 화석연료를 사용하는 내연기관 차량에서 전력기반 자동차로 관심이 증가하고 있고, 차체 경량화와 비용 절감등을 위해 알루미늄 합금의 사용이 증가하는 추세이다. 한편, 전기차에 적용되는 알루미늄 부품 (e.g., 배터리, 모터, 인버터)의 경우, 전해질 환경과 전기화학적 요인으로 인한 부식 문제가 심각하게 대두되고 있다. 전기차 구동 모터하우징은 경량화 및 우수한 주조성을 이유로 Al-Si-Mg합금이 널리 적용되고 있다. 그러나 실제 부품은 복잡 형상으로 인해 부위별 두께 차이가 존재하며, 이는 응고시 냉각속도의 차이를 유발하여 미세조직적 및 부식적 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 Al-Si-Mg 합금의 냉각속도 차이가 응고조직 및 부식거동에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고자 하였다. 응고조직 분석을 통해 냉각속도 차이에 따른 2차 수지상간격 (secondary dendrite arm spacing, SDAS) 크기 및 금속간화합물(intermetallic compound, IMC)의 크기, 분포, 분율을 비교하였다. 더불어 분극시험 및 침지시험을 통해 부식특성을 평가하였고, 미세조직적 특성과의 상관관계를 해석하고자 하였다. 실험결과, 냉각속도 차이에 의한 분극시험의 전반적인 전위-전류 거동에는 큰 차이가 나타나지 않았으나, 침지시험 및 미시적 부식 거동 분석에서는 냉각속도가 빠를수록 부식속도가 지연되는 것을 알 수 있었다. 이는 공정 Si 및 Fe계 금속간화합물이 부식 개시 및 전파에 중요한 역할을 하며, 냉각속도가 빠를수록 이들 상의 크기와 분포가 미세하고 균일하게 형성되어 국부적인 부식 발생이 억제되는 것으로 해석된다. KPFM(Kelvin probe force microscopy) 분석을 통해 부식의 기점이 되는 주요 생성상을 확인하였고, 특히, SECM(scanning electrochemical microscopy) 분석을 통해 부식 과정 중의 미시적 전기화학적 반응을 실시간으로 측정, 국부적인 매커니즘을 규명하고자 한다.

[알루미늄3-5 | 15:00]

쌍롤주조 5xxx계 알루미늄 합금의 편석 저감과 기계적 특성: 장재철(서울대학교,한국생산기술연구원), 이강래, 송람, 최경환, 김봉환(한국생산기술연구원), 정인호*(서울대학교)

Keywords: Al-Mg, 5xxx계, 알루미늄, 연속주조, 쌍롤주조, 합금설계

쌍롤주조법(Twin-roll Casting)은 용탕을 얇은 판재로 직접 주조하는 기술로, 설비 면적 대비 생산성이 높고 공정 에너지를 절감할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 5천계 합금은 비평형 응고 과정에서 심한 편석이 발생하기 때문에 지금까지는 쌍롤주조 공정에 적용하는 데 한계가 있었다. 본 연구에서는 열역학 전산모사를 통해 편석을 유발하는 주요 상을 제어하고, 이에 적합한 합금을 설계하였다. 이후 Lab-scale TRC 장치를 이용해 판재를 제조하고, 단면 분석을 통해 합금 원소 첨가에 따른 편석 거동 변화를 조사하였다. 제조된 판재는 열처리와 압연 과정을 거쳐 기계적 특성을 평가하였다. 그 결과, 편석 저감형 합금에서는 중심 지점의 베타 상이 감소하며 편석이 효과적으로 감소함을 확인할 수 있었고, 합금 원소는 고용 강화 효과와 결정립 미세화를 유도하여 우수한 기계적 특성을 나타냈다.

[알루미늄3-6 | 15:15]

A356 합금의 Fe계 금속간화합물 형성 및 상천이 거동에 미치는 용탕과열처리의 효과: 천현석(한국재료연구원,부산대학교), 김수현, 손현우(한국재료연구원), 임하윤(한국재료연구원,부산대학교), 이제인*(부산대학교), 조영희*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Si-Mg alloy, Fe intermetallic compounds, melt thermal rate, solidification

지속 가능한 제조와 자원 활용의 중요성이 증가하면서 알루미늄 합금의 재활용이 활발히 진행되고 있다. 특히, 주조용 Al-Si 합금은 자동차와 항공, 전자 산업 등 다양한 분야에서 사용되며, 응용 범위가 확대되고 있다. 그러나 재활용 과정에서 불가피하게 유입되는 Fe 불순물은 조대한 침상형 β-Al_5FeSi 금속간 화합물을 형성해 연신율을 크게 저하시키고 재활용을 제약한다. Fe계 금속간화합물, β-Al_5FeSi상의 형성 및 응고거동에 대한 보고는 있지만, 미세화 및 개량화에 대한 연구가 여전히 부족하다. 본 연구에서는 상용 알루미늄 주조용 합금 A356합금에 0.4 wt.%Fe를 첨가하였고, 용탕의 액상선 대비 약 200 ℃ 높은 800 ℃에서 용탕을 용해 및 1시간 유지 후 720 ℃ 온도에서 주조하였다. 용탕 과열 (superheating) 및 유지과정을 포함하는 용탕과열처리(melt thermal rate)를 통해 액상 상태에서 Fe상의 형성을 제어하고자 하였다. 용탕을 과열처리한 경우 개량화제 및 미세화제 첨가 없이 Fe계 금속간화합물의 미세화 및 β-Al_5FeSi상 (monoclinic)에서 α-AlFeSi (Cubic)의 상천이가 일어났음을 확인하였다. 특히, 상의 형상은 조대한 바늘모양 또는 침상에서 Chinese script 형상으로 개량화 되는 것으로 관찰되었다. 이러한 용탕과열처리에 의한 β-Al_5FeSi상의 미세화, 개량화 효과는 냉각속도가 빠를수록 높아지는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 용탕과열처리에 의한 β-Al_5FeSi상의 개량화 및 상천이 기구를 규명하기 위하여 급냉 응고 리본 (melt-spun ribbons)을 분석하였다. 투과전자현미경(TEM) 및 원자탐침촬영(atom probe tomography, APT)을 활용하여 Fe계 금속간화합물의 결정구조 및 원자구조(결합, 배위수)를 분석하여 용탕 상태에서의 Fe계 금속간화합물의 형성 및 용탕과열처리에 의한 상천이 기구를 규명하고자 한다.

[알루미늄3-7 | 15:30]

알루미늄 합금의 Fe를 포함한 상의 제거에 대한 Sn첨가 및 직류전류 인가의 영향: 배장현(한국생산기술연구원,서울대학교), 조대연, 김준현, 김석진(한국생산기술연구원), 한흥남(서울대학교), 김문조*(한국생산기술연구원)

Keywords: 알루미늄 합금 재활용, 주석, 전류인가, Fe 제거

알루미늄 합금은 경량화가 중요한 자동차 및 항공우주 산업에서 널리 활용되고 있다. 그러나 높은 강도를 확보하기 위해 다양한 합금 원소를 첨가함에 따라, 재활용 공정에서 원소 제어가 어려워지는 문제가 발생한다. 특히 탄소 배출 저감의 필요성이 강조됨에 따라 알루미늄 스크랩 재활용에 대한 관심이 증가하고 있으나, 스크랩 내 다양한 합금 원소의 존재는 재활용을 복잡하게 만든다. 그 중에서도 철(Fe)은 수지상 간 영역에서 금속간화합물을 형성하여 알루미늄 합금의 기계적 특성을 저하시킨다는 문제가 있다. 이에 따라 알루미늄 재활용 공정에서 Fe를 제거하기 위한 여러 방법이 연구되고 있으며, 대표적으로 침전제를 이용한 중력 분리와 외부장 또는 원심주조기법 등이 있다. 본 연구에서는 주석(Sn)을 침전제로 사용하고 알루미늄 용탕에 직류 전류를 인가하여 Fe를 포함하는 상의 조대화 및 침전 거동을 촉진하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 전류 인가 여부와 Sn 첨가 여부에 따른 Al-3Fe 및 Al-3Fe-2Sn 합금의 응고 거동과 금속간화합물 형성 특성을 비교하였다. 연구 결과, Sn을 첨가하지 않은 상태에서 전류를 인가할 경우 Fe상이 조대화되며 동시에 침전이 촉진되는 것이 확인되었다. 반면 Sn을 첨가한 경우 전류를 인가하지 않아도 Fe상의 조대화는 관찰되었으나, 효과적인 침전은 발생하지 않았다. Sn을 첨가한 뒤 전류를 인가했을 때 Fe상의 조대화와 침전이 동시에 촉진되었으며, 특히 300A 이상의 전류를 인가했을 때 가장 효과적인 제거 효율을 보였다. 본 연구에서는 전류 인가 시 발생하는 용탕 내부 흐름, 줄 발열 그리고 금속간화합물의 형성 및 성장 거동을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 Sn 첨가와 전류 인가가 알루미늄 합금 내 Fe상 제거에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

여대학원생 공학연구팀제 지원사업 심화과정 결과발표대회
Room 3층 301, 10월 29일

[WISET1-1 | 16:10]
Three-Dimensional Structural Evaluation of Porous Carbon Derived from Amygdaloideae Fruit Tree Pruning Waste: INSEO KO, Jong Ho Won*(Dankook University)
Keywords: supercapacitor, Amygdaloideae wood, waste wood upcycling, carbon material, hierarchical porous structure, 3D pore analysis
The development of sustainable carbon materials is essential for reducing dependence on fossil-based resources and minimizing environmental impacts. In this study, the potential of wood—with its inherent hierarchical porous structure and favorable chemical composition—as a carbon precursor was thoroughly investigated among renewable and cost-effective biomass sources. Unlike previous research that has primarily focused on conventional wood species such as bamboo and pine, this work examines the upcycling potential of pruning waste from Amygdaloideae fruit trees (apricot, plum, cherry, apple, and pear), which are cultivated worldwide and subject to routine annual pruning. Wood samples from each species were carbonized at 800 °C for 15 minutes to produce carbon structures, which were subsequently analyzed using SEM for surface morphology and micropore observation, BET analysis for quantification of specific surface area, and both XRD and Raman spectroscopy to evaluate crystallinity and chemical structure. Moreover, three-dimensional comparisons of the porous structures were performed using X ray micro-computed tomography analysis, revealing that the anatomical and chemical differences between species significantly influence pore distribution, crystallinity, and specific surface area. These findings not only confirm the upcycling potential of pruning waste from fruit trees into high value-added materials but also provide robust scientific evidence for the selection of biomass precursors tailored to specific applications, thereby making a substantial contribution to sustainable, eco-friendly carbon material development and the efficient utilization of waste wood resources.

[WISET1-2 | 16:25]
Ni Doping in $ZnMn_2O_4$ Cathodes for Improved Cycle Life of Aqueous Zn-Ion Batteries via Mn Dissolution Suppression: 박혜선, 전상은*(경북대학교)
Keywords: Zn-ion battery, $ZnMn_2O_4$, Ni doping
$ZnMn_2O_4$(ZMO)는 224 mAh g^{-1}의 높은 이론용량을 가져 낮은 용량을 갖는 수계 Zn 이온 배터리의 용량을 향상시킬 수 있는 양극재로 주목받고 있다. 그러나 충·방전 중 양극내 Mn^{3+}의 불균등화 반응으로 산화·환원 활성이온인 Mn이 용출될 수 있어 수명 안정성이 낮다. 본 연구는 ZMO에 Ni을 도핑하여 Mn의 산화수를 높임으로써 전하 중성을 유지하고, Mn^{3+}의 양을 줄여 Mn 용출을 억제하며 구조적 안정성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 $ZnMn_{2-x}Ni_xO_4$(x=0.5, 1.0, 1.5)를 양극재로 합성하였고 도핑 함량에 따른 Zn이온 배터리의 수명 향상 효과를 비교하였다. Ni 도핑은 Mn^{3+}를 Mn^{4+}로 변화시켰고, Mn^{3+}의 비율은 낮아졌다. 또한 ZMO의 정방정계 구조를 입방정계로 전환하고, unit cell volume이 확장되었다. 그 결과, Ni이 도핑된 모든 ZMNO는 ZMO보다 높은 비용량 및 향상된 수명 특성을 보였으며, 특히 $ZnMnNiO_4$는 278 mAh g^{-1}의 비 용량과 1000사이클 후 80%의 용량 유지율을 나타냈다. 이는 Ni의 도핑 농도 증가로 인한 Jahn-Teller 왜곡 감소와 unit cell volume의 확장에 따라 전극내 삽입된 Zn ion 간 반발력이 감소된 것으로 생각된다. 반면 ZMNO-1.5에서는 NiO 및 ZnO 이차상이 형성되어 ZMNO-1.0보다 낮은 수명 안정성을 나타내었다. 본 연구는 ZMO에 적정량의 Ni 도핑을 통해 Mn 용출량을 감소시키고 수명 특성을 향상시켜 ZMNO 계열이 수계 Zn 이온 배터리용 양극 소재로 활용될 수 있음을 입증하였다.

[WISET1-3 | 16:40]
High-Performance Gel Polymer Electrolytes via Ionic Liquid Incorporation for Sodium-Ion Batteries: Shin Subin, Jo Soeun, Lee Jaeyeong, Kim Jiho, Lee Seunghwan*(Kangwon Univ.)
Keywords: gel polymer electrolyte, ionic liquid, sodium ion battery
Sodium-ion batteries have emerged as promising next-generation energy storage devices due to the rising costs of lithium resources. However, conventional liquid electrolytes pose significant safety concerns, including leakage risks and dendrite formation, thereby prompting extensive research into polymer electrolytes as viable alternatives. While solid polymer electrolytes suffer from low ionic conductivity, gel polymer electrolytes (GPEs) combine the high ionic conductivity of liquid electrolytes with the superior interfacial properties and stability of polymers. In this study, ionic liquids (ILs) were incorporated into PVDF-HFP-based GPEs to enhance electrochemical performance. ILs, which are salts that remain liquid at room temperature, provide multiple benefits, including an additional ion source, enhanced amorphous character via polymer chain plasticization, and increased ion mobility due to their low viscosity. The structural changes and electrochemical properties resulting from IL incorporation into the PVDF-HFP matrix were systematically analyzed to establish optimal design strategies for high-performance gel polymer electrolytes in sodium-ion battery applications.

[WISET1-4 | 16:55]

전기차 무선충전 효율을 위한 Fe계 비정질 합금의 MS-HC 최적화: 이현경, 신하얀, 한인경, 김세린, 임혜인*(숙명여자대학교)

Keywords: 전기차 무선충전, 비정질 연자성 합금, 고포화자화, 저보자력, 멜트스피닝

전기차(EV) 보급 확산과 함께, 85 kHz 주파수와 11 kW급 전력(국제 표준 SAE J2954)에 기반한 무선충전 시스템을 만족할 수 있는 고출력·고효율 코어 소재의 필요성이 커지고 있다. 그러나 상용 Mn–Zn 페라이트는 낮은 포화자화($M_S \approx 0.4$ T)와 큰 취성으로 인해 고전력 충전 환경에서 자속 포화, 발열 손실, 파손 문제가 발생하기 쉽다. 이에 따라 높은 포화자화(M_S)와 낮은 보자력(H_C)을 동시에 달성할 수 있는 Fe계 비정질 합금이 페라이트 대체 후보로 부상하고 있다. 본 연구에서는 세 가지 3원계 합금(Fe-Si-B, Fe-P-B, Fe-P-C)의 최적 조성을 도출한 뒤, 여기에 전이금속(Mo, Zr, Nb, V, Ti)을 각각 1 at.% 첨가하여 M_S와 H_C 변화를 체계적으로 비교하였다. 시편은 melt-spinning 방법으로 리본 형태로 제조하였으며, X-ray diffraction (XRD)로 비정질 형성을 확인하였다. 또한 Differential Scanning Calorimetry (DSC)를 이용해 열적 안정성(결정화 거동)을 평가하였으며, Vibrating Sample Magnetometry (VSM)와 DC B-H tracer로 포화자화(M_S), 보자력(H_C)을 정량화하였다. 실험 결과, 세 3원계 모두에서 안정적인 비정질 형성을 확보하였고, 전이금속 1 at.% 첨가에 따라 Ms 증가와 Hc 감소 경향이 계열별로 뚜렷하게 나타났다. 보자력(Hc)의 감소는 고투자율(μ)과 저손실 특성으로 직결되어, 무선충전 코어 소재 설계에 핵심적인 인자로 작용함을 보여준다. 이러한 결과는 무선충전 환경에서 요구되는 고포화자화(M_S), 저보자력(Hc), 고투자율(μ), 저손실 특성을 충족할 수 있는 대체 코어 설계 지침을 제시한다. 나아가, 본 연구는 향후 공공·상업 주차 인프라 및 고출력 EV 무선충전 기술 상용화에 기여할 수 있는 핵심 소재 기반을 마련한다.

[WISET1-5 | 17:10]

High-Entropy Catalyst FeCoNiCuSn Synthesized under Various Solvent Conditions for Electrochemical Ammonia Oxidation: Jeon Minseo, Chanmin Jo, Gyoung Hwa Jeong(Korea Institute of Energy Technology (KENTECH)), Uk Sim*(Korea Institute of Energy Technology (KENTECH), NEEL Sciences)

Keywords: ammonia electro-oxidation reaction, electrocatalysis, high entropy catalysts, assisted water electrolysis, electrochemistry

Achieving carbon neutrality requires reducing CO_2 emissions, and hydrogen has emerged as a key alternative energy source. Water electrolysis is a promising method for producing green hydrogen, but its efficiency is limited by the slow reaction kinetics and high overpotential of the oxygen evolution reaction (OER). Moreover, OER can degrade the proton exchange membrane under alkaline conditions, diminishing long-term stability. As an alternative, the electrochemical ammonia oxidation reaction (AOR) presents promising prospects because it requires a much lower theoretical potential (0.77 V) compared to OER (1.23 V), thus significantly reducing the overall energy consumption of water electrolysis by up to 95%. In addition, ammonia is a high-density hydrogen carrier and can be directly utilized in fuel cells. However, the dehydrogenation process in ammonia generates overpotential beyond the theoretical voltage and catalyst poisoning, highlighting the need for further research to address these challenges. In this study, we demonstrate a sustainable strategy for ammonia oxidation using high-entropy catalysts FeCoNiCuSn (FCNCS), which feature multi-elemental mixing and exhibit lattice distortion, sluggish diffusion and synergistic effects that enhance structural stability and catalytic performance. Our catalysts were synthesized using various solvents (EtOH, DI water, Ethylene Glycol) for different compounds such as alloys and oxides. The final synthesized catalysts were characterized in detail using scanning electron microscopy (SEM), powder X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and transmission electron microscopy (TEM). In electrochemical test, all three FeCoNiCuSn catalysts demonstrated excellent performance in ammonia oxidation, with the FCNCS(EG) showing a 1.43 V vs RHE potential at 100 mA cm^{-2}.

[WISET1-6 | 17:25]

결함 에너지 제어형 Cu-Ga-Si 합금의 물성 통합 맵 구축: 조가은, 김현영, 장성문, 강민지, 박혜진*(세종대학교)

Keywords: 적층결함에너지, 고용강화, 동변형, CIE Lab* 색 공간

Cu 기반 컬러 합금은 용질 원소의 첨가를 통해 전자 구조를 조절함으로써 특정 파장의 빛을 선택적으로 반사하거나 흡수하며, 이로 인해 다양한 색상 구현이 가능하다. 동시에 이러한 합금은 기계적 물성 역시 용질 원소의 영향에 따라 크게 달라질 수 있으므로, 단일 조성 내에서 색상과 물성을 함께 제어할 수 있는 합금 설계 전략이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 목적을 달성하기 위한 합금 설계 요소로 Ga를 선택하였다. Ga은 Cu의 적층결함에너지(SFE)를 감소시켜 쌍정 및 결함 구조 형성을 촉진하고, 이에 따라 연성이 향상될 수 있으며, 높은 고용한도는 단상 영역을 넓혀 색상 조절의 정밀도를 높이는 데 기여한다. 그러나 기존 연구는 Ga 함량을 5 at.% 이하로 제한하여 색상 변화 및 물성 향상에 한계가 있었다. 본 연구는 고농도 Ga 첨가 시 나타나는 광학 및 기계적 특성 변화를 정량적으로 분석하고자 하였다. Ga 함량 증가에 따라 항복강도와 연신율이 동시에 향상되었으며, 특히 dual-phase 구조를 갖는 Ga17 합금에서는 stacking fault tetrahedron(SFT)이 형성되어 연성 증가의 기구로 작용하였다. 열처리를 통해 동일 조성에서 단상 과포화 고용체를 형성한 결과, 석출상 제거에도 불구하고 고용강화 효과로 인해 강도는 유지되고 연신율은 약 23% 증가하였다. 또한 제2상과 α-Cu 기지 간 동변형 현상이 관찰되었으며, 이는 응력 분산을 통해 연성 확보에 기여하는 것으로 해석된다. 광학 특성 또한 상 제어에 따라 큰 차이를 보였다. ζ′-Cu_3Ga 석출상이 존재하는 시편에서는 반사율과 b*값이 저하되었으나, 단상 시편에서는 $b^* \approx 28$ 수준으로 회복되었고 색차(ΔE)는 최대 17 이상으로 육안 식별이 가능하였다. 이는 석출상이 광산란 중심으로 작용함을 의미하며, 상 제어를 통해 반사율 및 색상 범위를 확대할 수 있음을 보여준다. 본 연구는 단일 조성 내에서 SFE 제어 및 상 구조 조절을 통해 기계적 강도, 연성, 색상 범위를 동시에 향상시킬 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 이는 도금 공정 없이도

내구성과 심미성을 동시에 확보할 수 있는 Cu 기반 컬러 합금 설계를 위한 효과적인 전략을 제시하며, 향후 다양한 응용 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[WISET1-7 | 17:40]

Interface Engineering of $Li_{1.5}Ti_{0.5}Al_{1.5}(PO_4)_3$ Sheet and Current Collector for Anode-less Lithium Battery: Choi Seul Ki, Yeon Hee Kim, Yoo Kyung Lee, Yu Na Lee, Minho Yang*(Dankook Univ.)

Keywords: LATP, Solid-State Electrolyte, Current Collector, Interface, Anode-less

As electric vehicles (EVs) and energy storage systems (ESS) advance, the demand for next-generation batteries that simultaneously offer high energy density and high safety is increasing. Conventional lithium-ion batteries (LIBs) struggle to meet these demands due to inherent limitations, including the use of flammable liquid electrolytes that compromise safety and a restricted energy density, necessitating a shift to next-generation battery technologies. This study focuses on the fabrication of solid electrolyte thin film sheets, a core component of all-solid-state batteries (ASSBs), and the surface modification of current collectors to enable anode-free batteries. Specifically, thin film sheets based on $Li_{1.5}Ti_{0.5}Al_{1.5}(PO_4)_3$ solid electrolytes, known for their high ionic conductivity and chemical stability. Additionally, battery performance is enhanced by coating the current collector surface with Ag nanoparticles that possess lithiophilic properties to compensate for the drawbacks of lithium metal anodes. Furthermore, the study aims to improve battery performance and lifespan by reducing resistance and suppressing side reactions at the solid electrolyte/electrode interface. This research is expected to contribute to the development of next-generation batteries with high energy density and enhanced safety.

[WISET1-8 | 17:55]

Development of Thermal Runaway Blocking Strategy through Reinterpretation of Degradation Mechanisms in Ni-rich Layered Cathodes: Heo Junyoung, Hyeonjoong Jung, Seongmin Kwak, Ahin Song, Jeongsik Yun*(인천대학교/Incheon Nat'I Univ.)

Keywords: Li-ion batteries, Ni-rich NCM, Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, Thermal Runaway Suppression, Cation Mixing, Doping, Degradation

$LiNi_{0.9}0Co_{0.05}Mn_{0.05}O_2$ (NCM) is a representative Ni-rich layered oxide that has attracted significant attention as a promising cathode material for electric vehicles (EVs) and energy storage systems (ESS) due to its high energy density and excellent rate capability. However, the high Ni content induces structural instability and oxygen release, which trigger exothermic reactions under high-temperature and abusive conditions, ultimately leading to thermal runaway. In this study, we reinterpret the major degradation mechanisms of Ni-rich layered oxides, specifically cation mixing and irreversible structural transition to the rock-salt phase, and propose a doping-based shut-down strategy to fundamentally block the onset of thermal runaway. The doping process was conducted through substitution at Li and transition-metal sites during synthesis, and the structural and chemical characteristics were analyzed using XRD and SEM. The electrochemical properties were evaluated by charge–discharge tests, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), and open-circuit voltage (OCV) measurements. Notably, the doped samples exhibited higher charge–discharge capacity and improved capacity retention at room temperature compared with the pristine material. Future work will include high-temperature OCV evaluation under 100% SOC conditions, along with high-temperature electrochemical tests and multi-faceted characterization techniques such as in-situ XRD, XPS, TEM, and EDS, to further elucidate the effects of doping strategies on thermal runaway suppression. This approach provides new design guidelines for enhancing the high-temperature stability and safety of Ni-rich layered cathodes, thereby contributing to the mitigation of EV fire hazards and the development of high-energy and intrinsically safe lithium-ion batteries.

폐자원 활용 친환경 마그네슘 제련 및 소재부품 응용 기술 심포지엄

Room 3층 302/3, 10월 29일

[폐자원1-1 | 09:00] 초청강연

페로니켈 슬래그의 미분쇄조건에 따른 특성평가: 양회석*, 한창순, 김주환, 이명용, 오한별(전남테크노파크)

Keywords: 페로니켈 슬래그, 입도사이즈, 슬래그 미분 회수율, 페로니켈분철 회수

페로니켈 슬래그에서 추출되는 마그네슘의 회수율 향상을 위해 페로니켈 슬래그의 미분쇄조건별 특성평가를 실시하였다. S사에서 생산되는 수재 페로니켈 슬래그 원료를 활용하여 미분쇄조건에 따른 회수율을 측정하였으며 입도사이즈, SEM 분석 등을 통해 마그네슘 습식 추출 공정 최적화를 위한 기초자료로 활용하였다. 또한, 페로니켈 슬래그의 재활용률 향상을 위해 페로니켈분철을 습식방식으로 회수하는 공정연구를 수행하였다.

[폐자원1-2 | 09:15] 초청강연

페로니켈 슬래그를 이용한 염화 마그네슘 및 물유리 제조방법: 권오학*((주)PGT)

Keywords: 습식 제련, 페로니켈 슬래그, 염화마그네슘, 물유리

페로니켈 슬래그는 니켈 원광석으로 부터 스테인레스의 주원료인 페로니켈을 회수한후 남는 산업폐기물로 국내 연간 200만톤 이상 발생한다. 페로니켈에는 마그네슘 산화물 및 규소 산화물 등 유가금속이 다량 함유되어 있으나 대부분 매립되거나 골재로 사용된다. 본 연구에서는 염산을 사용하여 페로니켈 슬래그로 부터 마그네슘을 염화마그네슘으로 추출하고, 수산화마그네슘등 알칼리 성분을 이용, 불순물을 제거하여 고순도의 염화마그네슘 수용액을 얻었다. 고순도 염화마그네슘 수용액은 탈수(dehydration)과정을 거쳐 염화마그네슘 2수화물($MgCl_2 \cdot 2H_2O$)로 제조하였다. 페로니켈 슬래그에서 마그네슘을 추출한 후 남는 규소산화물에 NaOH 수용액을 첨가하여 침강실리카 제조시 원료로 사용되는 물유리(waterglass, Sodium silicate, $Na_2O \cdot nSiO_2$) 얻었다.

[폐자원1-3 | 09:30] 초청강연

페로니켈 슬래그를 활용한 무수염화마그네슘 제조를 위한 디하이드레이션 시스템 및 마그네슘 전해제련을 위한 20kA 급 전기분해조 개발: 유형조*, 이내호*((주)다인경금속)

Keywords: 페로니켈슬래그, 염화마그네슘추출,용융염전기분해,불순물제어,청정화

철강 부산물로 배출되는 폐자원인 Fe-Ni 슬래그를 활용하여, 함수 염화마그네슘을 습식 추출하고, 건조시켜 2수 염화마그네슘을 제조할 수 있다. 그러나 무수 염화마그네슘을 제조하려면, Hot Air를 이용한 건조방법으로는 불가능하기 때문에 고온의 HCl gas를 활용하여 건조시키는 Dehydration 시스템을 개발 완료하였고, 본 Dehydration 시스템을 이용해서 만들어진 무수염화마그네슘을 원료로 순마그네슘을 제련할 수 있는 20kA급 전기분해조 시스템을 개발하였다.

[폐자원1-4 | 09:45] 초청강연

마그네슘 정련을 통한 불순물제어 및 청정화기술 개발 Part 2: 문병기*, 김하식, 서종식, 문영훈, 박은진(한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 정련, 철

규소열환원법으로 제조되는 마그네슘의 대표적인 불순물이 규소 및 칼슘인 것과는 달리, 염화마그네슘의 전기분해를 통해 제조되는 마그네슘 내에는 전해액과 전극 사이의 반응에서 유래하는 철 성분의 오염도가 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 철 성분의 혼입은 소재의 내식성을 악화시킬 수 있는 주요 인자이므로, 정련을 통해 그 함량을 최소화하는 것이 바람직하다. 일반적으로 마그네슘합금 내의 철 성분의 제거를 위해서는 망간의 첨가를 통해 마그네슘 용탕 내의 철 용해도를 감소시키거나 Al-Mn-Fe 반응상의 형성을 유도하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 순 마그네슘 용탕에 대한 망간 및 알루미늄의 첨가는 첨가량에 비해 철 성분의 감소량이 크지 않아 효과적이지 않은 것으로 이전의 연구를 통해 확인되었다. 따라서 지난해 연구에서는 소량의 첨가만으로도 철 성분의 저감을 기대할 수 있는 타이타늄을 첨가함으로써 마그네슘 용탕 내의 철 함량 변화를 고찰하였으며, 본 연구에서는 타이타늄의 첨가과정에서의 공정변수에 의한 철 함량의 변화를 고찰하였다.

[폐자원1-5 | 10:00] 초청강연

마그네슘 전해제련공정 부반응 억제방안 및 공정 안정화 기초 평가: 이종현*, 이동희, Hayk Nersisyan(충남대학교/Chungnam Nat. Univ.), 유형조, 이내호((주)다인경금속)

Keywords: 마그네슘, 전해제련

무수 염화마그네슘을 원료로 하는 마그네슘 전해제련은 열 환원법 대비 친환경적이고 생산성이 높지만, 수분과의 반응으로 생성되는 염기성 염화수산화마그네슘 (MgOHCl)이 구조재(Fe–Cr–Ni)의 부식, 셀 전위 상승, 전류 효율 저하를 야기한다. 본 연구는 전해질 내 미량의 탄소 첨가가 이러한 부반응과 전해 특성에 어떠한 영향을 미치는지 평가하였다. 이를 위해 NaCl–$CaCl_2$–$MgCl_2$ 용융염에서 1023 K로 운전하며 탄소 0, 300, 600 ppm 을 투입하였고, 순환 전압–전류법과 정전류 전위법으로 전기화학 거동을, X선 광전자 분광법으로 부산물 분석을 실시하였으며, 회수된 마그네슘 그레뉼의 이미지 분석을 통해 전해 특성을 확인하였다. 그 결과, 탄소의 적정 첨가 범위에서 셀 전위 저감과 전류 효율을 개선할 수 있었으며, 상용 전해 셀의 운전 최적화에 활용 가능성을 확인하였다.

[페자원2-1 | 10:25] 조청강연

MgO로부터 용융염전해제련에 의한 CuMg 합금 제조: 구광모, 박선영, 이세영, 김가민, 김현우*(케이에스엠테크놀로지)

Keywords: 용융염전해제련, CuMg 합금, Pilot scale

Mg(마그네슘)은 구조용 금속 중 가장 가벼운 금속으로, 수송 및 전자 분야 등에서 널리 활용되고 있으며, 부품 경량화를 위한 Mg 합금의 수요는 2023년 약 19억 7,140만 달러 규모로, 연평균 성장률(CAGR) 13.2%의 성장이 전망되고 있다. 그러나 제련 기술 및 원료 확보가 미비한 상황에서 중국 의존도가 99.8%에 달해 공급 안정성 및 가격 변동성 대응에 한계가 있으며, 이에 따라 국내 발생 폐내화물을 시작 원료로 활용하여 금속 Mg까지 생산 가능한 기술 개발이 시급한 실정이다. 이를 위해 폐내화물로부터 고순도 MgO를 제조하는 기술, 액체금속 음극 기반의 MgO 용융염 전해제련 기술, 그리고 진공증류를 통한 고순도 Mg 금속 제조 기술로 구성된 3단계 공정이 개발 중이며, 본 연구는 이 중 용융염 전해제련을 통한 CuMg 합금 제조 공정에 해당한다. 기존 연구는 최대 300 g/batch 수준의 lab-scale 실험에 국한되어 있었으며, pilot-scale 수준의 확장이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 1 kg/batch 규모의 실험 장비를 구성하고, Cu 음극과 Graphite 양극을 적용한 Ar 분위기 내에서 1173 K의 MgF_2–LiF 2원계 용융염을 이용해 4.5 V의 전압을 인가하여 전해를 수행하였다. 그 결과 전류 효율 84.79%로 Mg 함량이 16.0 wt%인 CuMg 합금을 제조하였다.

[페자원2-2 | 10:40] 조청강연

마그카본 폐내화물로부터 고순도 산화마그네슘 제조 기술 개발: 이태혁, 강희남, 이진영(한국지질자원연구원 자원활용연구본부), 강정신*(서울대학교 에너지자원공학과)

Keywords: 마그카본, 폐내화물, 산화마그네슘, 습식제련

마그네슘(Mg) 금속은 열환원법 또는 전해법에 의해 생산되나, 세계 Mg 금속의 약 90 %는 열환원법인 Pidgeon법에 의해 제조되고 있다. 하지만 열환원법의 높은 환경부하 및 에너지 소모로 인해 최근 전해법을 이용한 Mg 금속 생산이 주목받고 있다. 상용 전해법은 무수 염화마그네슘(MgCl2)을 원료로 사용하나 무수 MgCl2 제조공정이 에너지 집약적이며, 전해 시 염소(Cl2) 가스가 발생하는 단점이 있어, 이를 해결하기 위해 최근 산화마그네슘(MgO)을 원료로 사용하는 신전해법이 개발 중이다. 본 연구에서는 국내에서 대량 발생하고 있는 MgO 함유 폐자원인 마그카본(MgO-C) 폐내화물로부터 Mg 신제련법의 원료로 사용되는 고순도 MgO 제조를 위한 공정을 개발하였다. 마그카본 폐내화물의 침출, 정제 및 농축, 침전 및 하소를 통해 순도 99 % 이상의 고순도 MgO를 제조하였다. MgO 함유 폐자원의 재자원화 기술 개발을 통한 고순도 MgO 제조는 친환경 Mg 금속 제조뿐 아니라 환경부하 감소 및 국내 Mg 공급망 안정화에 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

[페자원2-3 | 10:55] 조청강연

부유형 Al 음극 사용 친환경 MgO 용융염전해법을 이용한 Mg – Al 합금 제조: 심충용, 강정신*(서울대학교)

Keywords: magnesium oxide, lightweight cathode, magnesium – aluminum alloy, molten salt, electrolysis

기존 Mg – Al 합금 제조는 고순도 금속을 이용한 합금화 처리가 필요하며 특히, 원료로 사용되는 Mg 제조 시 환경부하 및 에너지소모가 크다. 본 연구에서는 floating Al 음극을 이용한 MgO 용융염 전해법을 통해 Mg – Al 합금을 직접 제조하는 신제련법을 개발하였다. 용융염전해 실험은 불활성 분위기의 1053 – 1133 K에서 33 mol% MgF_2 – 47 mol% LiF – CaF_2 용융염에 Al 음극 및 C 양극을 사용하여 실시하였다. 온도 및 합금 내 Mg 함량에 따른 전류효율을 조사하였으며 1053 K에서 합금 내 Mg 함량이 14.2 mass%일 때 Al (Mg) 및 Al_3Mg_2 상의 합금이 생성되었고, 91.6 %의 높은 전류효율을 나타냈다. 이와 같은 결과로부터 floating Al 음극을 이용한 용융염 전해를 활용 시 MgO로부터 Mg – Al 합금이 직접 제조 가능함을 알 수 있다.

[페자원2-4 | 11:10] 조청강연

고순도 마그네슘 잉곳 제조를 위한 연속 진공증류 공정 연구: 소윤지, 김호병, 최상훈*(고등기술연구원)

Keywords: Magnesium, Continuous Vacuum Distillation, High-purity, Magnesium Ingot, Magnesium recycling

마그네슘(Mg)은 낮은 밀도와 우수한 비강도, 전자기 차폐 성능을 지닌 대표적인 경량 금속으로, 전자기기, 자동차 및 항공우주, 의료용 임플란트 등 첨단 산업을 중심으로 고순도 마그네슘의 수요가 증가하고 있다. 그러나 ppm 수준의 미량 불순물만으로도 부식 저항성이 약화되어 소재 성능에 직접적인 영향을 미친다. 현재 산업용 마그네슘의 순도는 약 99.9% 수준에 머물고 있으며, 첨단산업에서 요구되는 성능 및 신뢰성을 달성하기 위해서는 99.99% 이상의 고순도 마그네슘 확보가 필수적이다. 기존 마그네슘의 정제 기술 중 진공증류 공정은 불순물 제거에 효과적이지만, 크라운 형태로 응축되어 산화를 촉진시키고 가공 공정이 추가적으로 필요해 회수율 및 경제성이 저하되는 한계가 있다. 본 연구에서는 기존 진공증류 공정의 문제를 극복하기 위해 연속 진공증류 방식을 적용하여 별도의 후 가공 공정 없이 고순도 마그네슘 잉곳(Ingot)을 제조할 수 있는 공정을 설계하였다. 이를 위해 pure Mg 원료를 사용하여 증발-응축-응고로 이어지는 각 단계의 상 변화 온도를 확인하였으며, 마그네슘과 불순물 간의 열역학적 거동을 분석하여 불순물과의 분리 가능성을 평가하였다. 또한, 증발온도, 응축온도, 유지시간을 변수로 설정하여 연속 진공증류 실험을 수행하였고, 실험 조건에 따른 마그네슘 잉곳의 회수율을 평가하였다. 최종적으로 회수된 마그네슘 잉곳은 ICP 분석을 통해 순도를 검증하였다.

[페자원2-5 | 11:25] 조청강연

용융염 전해 불활성전극 연구 현황 및 전산 시뮬레이션을 활용한 조성 스크리닝: 손하영, 김인수, 박정도, 김지웅*(숭실대학교)

Keywords: 마그네슘, 용융염, 전해질, 불활성전극, 제일원리

최근 탄소 중립 달성에 대한 기술적 요구가 증가하면서 용융염 전해 공정에서 기존 탄소전극을 대체할 수 있는 불활성전극 개발

의 중요성이 커지고 있다. 특히 금속 기반의 불활성전극 중에서는 Cu–Ni–Fe 합금이 뛰어난 전기전도도와 우수한 부식 저항성을 나타내며, 전극 표면에 $NiFe_2O_4$ 산화층을 형성하여 보호막 역할을 수행하는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 전극 표면에 형성된 산화층의 균열과 전극 내부에서 발생하는 금속 불화물 형성으로 인해 장기적인 전극 안정성 확보가 어렵다. 이를 해결하기 위한 합금 조성 최적화가 필수적이다. 본 연구에서는 용융염 전해를 위한 다양한 불활성전극 소재의 최신 연구 동향을 검토하고, 제일원리 시뮬레이션을 활용하여 불활성전극 소재의 최적 조성을 효율적으로 선정할 수 있는 방법을 제안한다. 특히 열역학적 안정성, 기계적 물성 및 전기적 특성을 기준으로 도핑 원소 후보군을 평가하였으며, 이를 통해 고온 전해 환경에서도 우수한 내구성과 성능을 보일 수 있는 최적의 도핑 원소를 선정하였다.

[페자원3-1 | 14:00] 초청강연

고주조성·고내식/고인성·고내식 마그네슘 합금 개발: 배준호*, 김재연, 유홍수, 이상은, 유봉선(한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 주조, 압출, 고내식

최근 친환경 모빌리티, 미래형 퍼스널 모빌리티 및 반도체 검사장비 등의 첨단 산업 분야에서 부품의 경량화를 위해 마그네슘 소재 적용에 대한 수요가 증가하고 있으며 이에 따라 기존의 상용 마그네슘 합금보다 더욱 내식성이 우수하고 주조 및 압출 공정에 최적화된 고특성 마그네슘 합금 개발의 필요성이 증가하고 있다 이에. 본 연구에서는 주조용 합금의 경우 열역학 데이터 기반 시뮬레이션을 통해 첨가 합금 원소에 따른 응고거동 분석과 실질적으로 유동 및 내식성에 미치는 공정상(eutectic phase) 및 이차상의 영향을 분석하여 주조성과 내식성을 동시에 향상시킬 수 있는 합금을 개발하고자 연구를 수행하였다. 특히, 산업현장에서 부품제조에 폭넓게 사용하고 있는 고압다이캐스팅(HPDC) 공정은 냉각속도가 매우 빠르기 때문에 이를 활용한 고특성 마그네슘 합금 개발을 수행하고 있다. 또한 압출용 합금에서는 압출비와 압출온도의 변화에 따라 알루미늄 원소의 함량이 다른 합금계의 석출상과 결정립 크기 및 집합조직의 변화가 물리적 특성과 부식특성에 동시적으로 미치는 영향을 분석하였다.

[페자원3-2 | 14:15] 초청강연

복합결정구조를 가지는 저밀도 고강도 Mg-Li 합금 제어 기술: 손현택*, 김용호, 유효상, 이병권, 고은찬(한국생산기술연구원)

Keywords: 마그네슘, 리튬, 복합결정구조, 미세조직, 강도

최근 탄소중립 실현을 위한 국제 환경 규제 강화 및 연비 규제 고도화에 따라 수송기기 및 IT 산업 전반에서 소재·부품 경량화 요구가 증대되고 있다. 마그네슘 합금은 낮은 밀도와 우수한 비강도, 그리고 재활용성으로 대표적인 경량 구조재로 주목받고 있으나, HCP 결정구조에 기인한 상온 성형성의 한계로 적용 확장이 제약을 받고 있다. 이를 극복하기 위해, 밀도가 0.53 g/cm^{3}인 초경량 금속 리튬을 첨가한 Mg-Li 합금이 대안으로 제시되고 있다. Li 첨가는 마그네슘의 HCP 결정구조를 BCC 구조로 전환시켜 성형성을 개선하나, 동시에 기계적 강도가 급격히 저하되는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 Mg-Li 합금의 강도 향상을 목표로 Li 함량 변화, 합금원소 첨가, 미세조직 제어를 통해 HCP와 BCC가 공존하는 복합 결정구조(dual-phase) Mg-Li 합금을 설계하였다. 특히, 미세조직 조절을 통한 결정립 미세화 및 상 분율 최적화가 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 연구 결과, 복합 결정구조를 갖는 Mg-Li 합금은 성형성과 강도의 균형을 확보할 수 있는 가능성을 확인하였으며, 향후 차세대 초경량 구조재 개발에 중요한 방향성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[페자원3-3 | 14:30] 초청강연

금형 최적화 및 고진공법 활용을 통한 박육 마그네슘 부품 고압 다이캐스팅 기술 개발: 정현호*(모베이스 다이캐스팅)

Keywords: Magnesium, Diecasting, Mold design, High vacuum process, Mechanical properties

자동차를 비롯한 경량화가 요구되는 산업 분야에서는 고강도 및 고인성 소재로 제작된 부품의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해, 기존에 상용화된 아연(Zn) 및 알루미늄(Al) 합금 부품을 상용 마그네슘 합금(AM60B, AZ91D 등) 또는 고내식 마그네슘 합금(SEN-Mg)으로 대체함으로써 부품의 경량화를 도모하고자 한다. 고객의 다양한 요구 특성을 만족시키기 위해서는 소재의 기계적 특성, 즉 연신율, 항복강도, 인장강도 등의 특성을 만족하고 주조재 내부 결함을 최소화 해야 한다. 본 연구에서는 이러한 특성 구현과 결함 제어를 위해 최적화된 금형 설계와 더불어 고진공(High Vacuum) 공법을 적용하였으며, 이를 통해 두께 1.1 mm 이하의 초박육 마그네슘 대면적 제품을 제조할 수 있는 고압 다이캐스팅 기술을 개발하였다. 아울러, 부품의 특성과 용도에 적합한 표면처리 기술을 확보함으로써 단순히 부품의 경량화에 그치지 않고, 다양한 설계 색상 및 시각적 미려함을 동시에 구현할 수 있음을 목표로 한다.

[페자원3-4 | 15:45] 초청강연

고내식 마그네슘 합금의 연속주조 빌렛 제조 기술 및 압출재 적용 제품 개발: 예대희*, 신혁기((주)샘 / SENM Co. Ltd.)

Keywords: 고내식마그네슘합금, 연속주조빌렛, 압출

본 연구는 마그네슘 합금의 대표적인 단점인 부식성을 개선한 고내식 마그네슘 합금의 빌렛 양산화를 위한 연속주조 기술을 확보하여 이를 이용한 압출재 제조, 시제품 개발을 수행하였다. 기존 연속주조 공정인 보온로에서 턴디쉬로 이송하여 연속주조 하는 시스템의 경우 턴디쉬로의 이송과정과 턴디쉬의 밀폐력 저하로 인해 산화 및 불순물의 발생하여 빌렛 내부로 혼입되어 품질 저하 문제가 발생하였다. 보온로에서 펌프로 마그네슘 합금 용탕을 트랜스퍼 라인을 통해 직접 주조 금형으로 이송하여 빌렛을 제조하는 방식으로 적용하였다. 이러한 기술 개발을 통해 내부 결함이 없으며 공정의 단순화와 소재 손실을 줄임으로써 생산성 및 경제성 개선 효과를 얻었다. 고내식 마그네슘 연속주조 빌렛을 이용하여 다양한 압출 시험을 실시하였으며, 최종 개발 대상 시제품인 반도체검사장비 BIB rack과 전기자전거 프레임 개발 진행 중에 있다. BIB rack의 경우 4종의 압출재를 제조하여 가공, 용접, 표면처리를 통

해 시제품 제작 후 수요처 평가를 계획하고 있다, 전기자전거 프레임의 경우 9종의 압출재와 각종 부품을 제작하여, 벤딩, 가공, 용접 공정으로 프레임 샘플을 제작하였으며 배터리, 휠, 체인 등의 부품 조립성 검토를 거쳐 현재 필드에서 주행테스트를 진행 중에 있으며, 향후 공인시험기관에 내구성 평가, 공인 인증 획득을 계획하고 있다.

[페자원3-5 | 15:00] 조청강연

고강도 마그네슘 합금의 용접 및 표면처리 기술 개발: 윤병현*, 추동균(충남대학교)

Keywords: Mobility, IT, Magnesium alloy, GTAW, A-TIG, Surface treatment

각종 모빌리티 및 IT 부품에 사용되고 있는 대표적인 경량 금속은 Al, Mg 으로, 플라스틱 대비 비중이 커서 플라스틱 동등 수준의 비중을 가지고 자원 순환이 용이한 초경량 금속 소재의 요구 및 수요가 증가하고 있다. 이동성과 편리성을 추구하는 운송수단의 증가 추세로 미래형 모빌리티 시장이 급성장하고 있으며 이에 따라 경량화 및 고성능화를 통한 주행거리 증가 및 배터리 수명 연장을 위해 초경량 금속인 마그네슘 합금의 적용 확대와 핵심 성능의 향상에 대한 요구가 증가하고 있다. 마그네슘 합금은 높은 발화성과 부식성 등의 문제로 상용화를 제한하는 주된 원인으로 알려져 있으나 최근 한국재료연구원에서 개발한 난연·고내식 마그네슘 합금은 발화 특성을 제어하고 화재 안정성을 확보하며 부식 저항성이 개선되어 경량화가 요구되는 분야에서 구조 부품으로 적용성 확대가 기대되고 있다. 본 연구에서는 한국재료연구원에서 개발된 고강도 마그네슘 합금인 SEN6 합금에 대하여 용접조건 최적화를 실시하고 용접부 특성을 평가하여 용접기술을 개발하고자 하였다. 각종 용접공정에 대한 시편을 제작하고 용접부 강도, 균열 감수성 등의 물성 평가를 실시하였으며, 용접부 표면처리후 부식특성을 평가하였다.

[페자원3-6 | 15:15] 조청강연

Low-cycle fatigue behavior of extruded SEN series Mg alloys: effects of alloy composition and extrusion temperature: Park Sung Hyuk*, Hyung Jun Kim(Kyungpook National University), Jun Ho Bae(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: SEN alloy, Alloy composition, Extrusion temperature, Microstructure, Low-cycle fatigue, Life prediction model.

SEN (Stainless, Environmentally friendly, and Nonflammable) magnesium alloys, developed by minor additions (<1 wt.% each) of Ca and Y to Mg–Al-based alloys, exhibit a unique combination of high ignition resistance, excellent corrosion resistance, and improved mechanical performance. With their superior chemical stability and balanced strength–ductility, these alloys are promising candidates for lightweight structural components; however, their reliability under cyclic loading requires systematic evaluation of low-cycle fatigue (LCF) performance. In this study, extruded SEN alloys with Al contents of 1, 3, 6, 9, and 11 wt.% were fabricated under identical conditions and compared in terms of microstructure (grain size, texture intensity, and second-phase distribution), tensile properties, and LCF response. SEN6 displayed the most favorable balance of microstructural stability, strength, ductility, and fatigue resistance. To clarify processing effects, SEN6 was further extruded at 300, 350, 400, and 450 °C, enabling quantitative assessment of extrusion temperature on microstructural evolution, tensile behavior, and fatigue life. For the full SEN alloy series, correlations among extrusion parameters, microstructure, and LCF performance were established. In addition, an energy-based damage model employing total strain energy density as the damage parameter successfully predicted LCF life across all compositions and processing conditions, even in the presence of asymmetric hysteresis loops.

복합재료
Room 2층 201/3, 10월 29일

[복합1-1 | 16:00]
아크플라즈마 용해공정을 통해 제조된 in situ TiC 강화 타이타늄 기지 복합재료: 김태윤(부산대학교), 김재혁(한국재료연구원), 이제인*(부산대학교)
Keywords: Arc-plasma melting, titanium, titanium carbide, compressive test

최근 고온환경에서 구동되는 엔진, 가스터빈의 연료 효율 향상을 위해 경량이면서 고온 내구성이 우수한 세라믹을 접목한 금속-세라믹 복합소재에 대한 필요성이 커지고 있다. 그 중 타이타늄 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성을 지녀 항공우주 및 운송 산업에서 주목받고 있으며, 이를 기반으로 TiC, TiB, SiC 등의 입자 또는 섬유를 분산시킨 타이타늄 기지 복합재료가 활발히 개발되고 있다. 하지만, 타이타늄의 높은 산소친화도로 인해 주로 기지상과 입자상 분말을 균일하게 분산시킨 뒤 소결하는 분말야금 또는 방전 플라즈마 소결과 같은 고상공정법에 국한되어왔다. 이러한 제조방식은 복합재료 내 높은 기공률, 낮은 강화상 분율(~20 vol.%), 기지-강화재 간의 낮은 젖음성으로 인한 약한 계면 결합력과 강화상 응집과 같은 문제점이 존재한다. 본 연구에서는 아크 플라즈마 용해를 통해 고온환경에서 WC 입자와 순수 타이타늄을 반응시켜, 용탕-입자 간의 자발적인 반응을 통해 WC보다 열역학적으로 안정한 TiC를 기지 내 최대 70 vol.%까지 균일하게 분산시킨 Ti(W)-TiC 복합재료를 제조하였다. 또한, 압축 및 삼점굽힘 시험을 통해 WC분율의 증가에 따른 Ti 기지 상 및 TiC 강화상 분율 변화가 압축 및 굽힘 거동에 미치는 영향을 확인하였다. 본 연구를 통해 기계적 특성 평가 전/후 복합재료 시편의 미세조직 분석을 통해 기지 내 TiC 강화상이 기계적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

[복합1-2 | 16:15]
단계적 표면 처리 공정 최적화를 통한 C2680합금과 폴리프로필렌 이종 소재 접합 기술 개발: 양수미(한국재료연구원,부산대학교), 박상민(부산대학교), 김정한*(한밭대학교), 신다슬*(한국재료연구원)
Keywords: 금속-폴리머 이종 접합, Anchoring effect, Covalent bonding, C2680, Polypropylene

전 세계적으로 친환경차의 보급이 확대됨에 따라 승차감과 안정성을 향상시키고, 수소 저장탱크, 연료전지 등의 부품 파손을 방지하기 위한 고성능 MR댐퍼에 대한 수요가 증가하고 있다. 그러나 MR댐퍼 내 전력공급 커넥터 부품에서 금속 단자와 폴리머 간 물성 차이로 인해 기밀 유지 문제가 발생하며, 이는 부품의 상용화 및 내구 성능 확보에 병목 기술로 작용하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 금속과 폴리머를 접합하는 이종 접합 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 황동 기판(brass, C2680)에 단계적 표면 처리를 수행한 후 폴리머를 사출하여 기계적·화학적으로 접합하는 연구를 진행하였다. 접합 전 황동에 산 및 알칼리 전처리를 수행하여 표면 불순물을 제거하였다. 이어서 에칭을 통해 마이크로 기공 및 polygonal 구조를 확보하였으며, 산화 과정을 거쳐 1차 산화막을 형성하였다. 이후 KOH 용액에서 농도와 전압 조건을 달리하여 양극 산화를 수행하였고, 그 결과 마이크로-나노 다공성 구조, 2차 산화막 및 OH^- (hydroxide ion)을 형성하였다. 마지막으로 기판을 트리아진 유도체 혼합제에서 전기 분해하여 코팅층을 형성함으로써, 폴리프로필렌과의 공유결합을 유도하여 접합하였다. 각 표면 처리 단계 및 KOH의 농도와 전압 조건에 따른 황동 표면 특성을 분석하였다. 단계별 황동의 미세조직 변화 및 마이크로-나노 다공성 구조의 형성에 대하여 주사전자현미경(SEM)과 원자힘현미경(AFM)을 이용해 비교 분석하였다. 마이크로 기공 내부에 약 100 nm의 미세 기공이 형성된 것을 확인하였으며, 이는 폴리머와 기계적으로 결합하여 앵커링 효과(anchoring effect)에 의해 접합 강도를 높였다. 또한 X-선 광전자 분광법(XPS), 접촉각 분석을 통해 표면의 화학적 상태를 확인하였다. 양극 산화 후 표면에 CuO, Cu_2O의 산화물이 형성되었으며, 이는 트리아진 유도체, 폴리프로필렌과 화학 결합을 이루었다. 또한, 폴리프로필렌 파단면에서 Cu 피크가 검출되어 화학적 결합된 후 파괴가 일어난 것으로 관찰된다. 결과적으로 황동과 폴리프로필렌 계면에서 기계적·화학적 접합이 동시에 이루어져 15.6 MPa의 접합 강도가 나타났다.

[복합1-3 | 16:30]
Strain localization and damage evolution of B_4C-reinforced Al metal matrix composite at high temperature; In-situ OM-DIC: Lee Min-Su, Chan-Wool Ahn(한국생산기술연구원), Tea-Sung Jun(인천대학교), Donghyun Lee, Junghwan Kim, Seungchan Cho(한국재료연구원), Chang-Soo Park*(한국생산기술연구원)
Keywords: Aluminium metal matrix composite, Boron caribide, High temperature, Stress transfer, Digital image correlation

Owing to the super hardness, low density and good wear resistance, excellent neutron absorption capacity, boron carbide (B_4C) reinforced aluminium metal matrix composites (Al MMCs) are considered as neutron absorber materials for spent nuclear fuel (SNF) storage. In particular, the dry cask storage at off-site repositories has been attracted a great attention in the industrial field due to the limitation of initial on-site wet storage capacity. Currently, the temperature of the nuclear fuel cladding is limited up to ~400°C in the dry storage system. Stress transfer between reinforcing fibre/particles and metal matrix is the primary mechanism for the failure of the heterogeneous composite materials. The B_4C/Al interface acts as a heterogeneou sites for stress concentration. The interfacial bonding strength is a crucial factor for the stress transfer and damage at the interfaces. Temperature has an impact on the interfacial bonding between the reinforcements and metal matrix. Nevertheless, the interfacial deformation in the B_4C/Al composite has not been explored

at high temperature. In the present study, we investigated the strain localisation and damage evolution of the B_4C reinforced Al-1100 MMCs in the temperature rnage of 20-300ºC. The strain in the constituent phases of B_4C/Al composite was measured by combined optical microscopy and digital image correlation (OM-DIC). The B_4C particles and Ti-B_4C/Al reaction products were characterised by electron backscatter diffraction (EBSD), electron charge coupled imaging (ECCI) and electron probe micro analyser (EPMA). The main failure mode was particle cracking at 20ºC, whilst the strong interfacial bonding was identified at 150ºC and 300ºC. The interfacial strain localisation was alleviated with increasing temperature, and more strain is accommodated by the B_4C particles. The thermal-softening of the Al-matrix was induced by dynamic recrystallisation, reducing its load-carrying capacity and leading to the matrix cracking rather than interfacial cracking. The strong interfacial bonding can be attrbitued to the enhanced diffusion bonding of the TiAl reaction layers with the B_4C particles and Al-matrix at high temperature.

[복합1-4 | 16:45]

Enhanced Electromagnetic Interference Shielding and Mechanical Properties of Ti3C2TX/CNF Composite Paper through Aqueous Counter Collision Method: XUE HAN, YunSung Woo*(Dankook University)

Keywords: MXene, CNF, Aqueous counter collision, composite, EMI shielding, flexible paper

$Ti_3C_2T_x$, a highly conductive MXene, holds great promise for electromagnetic interference (EMI) shielding but often faces challenges in maintaining structural stability under mechanical stress. Incorporating cellulose nanofiber (CNF), known for its high mechanical strength, can significantly enhance MXene's stability by forming strong hydrogen-bonded networks, thus improving overall performance even under extreme conditions. Traditionally, $Ti_3C_2T_x$ and CNF, both with hydrophilic surfaces due to hydroxyl groups, have been combined using the conventional homogenization (HMG) method. However, this approach has limitations in achieving uniform, highly dispersed composites, especially given the different surface functionalities arising from various $Ti_3C_2T_x$ synthesis methods. To address these issues, we for the first time fabricated $Ti_3C_2T_x$/CNF composites using the aqueous counter collision (ACC) method, which enables the synthesis of CNF with amphiphilic surface properties. This approach successfully resulted in composites with improved dispersion, even for $Ti_3C_2T_x$ containing fluorine and other surface groups. The enhanced dispersibility was confirmed through the stability of the suspension and detailed analysis of the film's structure and chemistry. Notably, the tensile strength of the ACC-produced composite with 75 wt% $Ti_3C_2T_x$ was more than double that of the HMG-derived sample. It also exhibited excellent EMI shielding performance, with a specific EMI effectiveness index of $10{,}029\times10^3$ $dB\cdot cm^2\cdot g^{-1}$ at 90 wt% $Ti_3C_2T_x$. Furthermore, the nanocomposite demonstrated high moisture stability, with resistance increasing by less than 5% after 96 hours of soaking, across all compositions. Overall, this ACC-assisted $Ti_3C_2T_x$/CNF composite presents a promising and innovative strategy for developing high-performance EMI shielding materials for diverse applications.

[복합1-5 | 17:00]

Design of High-Entropy Alloy Fillers and Study on the Process and Mechanism of Semi-Solid Brazing between C/C–SiC Composites and TZM Alloy : WENLONGZHOU(Harbin Institute of Technology (HIT)), Sujung Son(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Shengpeng Hu, Xiaoguo Song(Harbin Institute of Technology (HIT)), Hyoung Seop Kim(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: High-entropy alloy filler, Semi-solid brazing, C/C–SiC composites, TZM alloy, Interfacial reaction mechanism

High-entropy alloys (HEAs) offer superior strength, thermal stability, and oxidation resistance, making them promising fillers for high-temperature joining applications. However, conventional single-phase or eutectic HEA fillers suffer from high melting points and poor metallurgical compatibility with SiC, restricting their use in joining C/C–SiC composites. This work presents the design of $CoCrFeNiCu_x$ dual-phase HEA fillers, comprising Cu(s,s) and FCC phases, enabling selective melting of the Cu-rich phase at reduced temperatures while maintaining FCC phase stability. The effects of Cu content on microstructure and melting behavior were systematically studied. Semi-solid brazing of C/C–SiC composites to TZM alloy was conducted to investigate interfacial reaction layer evolution and mechanical performance under varying process parameters. A kinetic model of reaction layer growth was developed, and thermodynamic calculations coupled with finite element analysis clarified interfacial formation mechanisms and stress distributions. Results show that the designed fillers enable robust interfacial bonding and enhanced mechanical properties at lowered joining temperatures, providing a viable strategy for joining high-temperature dissimilar materials.

[복합1-6 | 17:15]

Design of a composite interlayer and mechanism for strengthening mechanical properties of joints at the brazed interface between C/C-SiC composite material and 410B stainless steel: Haitao Zhu(Harbin Institute of Technology (HIT)), Sujung Son(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Yanyu Song, Duo Liu*, Xiaoguo Song(Harbin Institute of Technology (HIT)), Hyoung Seop Kim*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: C/C-SiC composite material, Brazing, Thermal expansion mismatch, Interlayer

High-speed trains are now capable of speeds exceeding 450 kilometers per hour, which requires friction materials in the braking system to withstand extreme conditions such as high speeds, high temperatures, and heavy loads. Carbon fiber-reinforced carbon/

carbon-silicon carbide (C/C-SiC) composite materials are highly favored for their high-temperature stability and wear resistance, and are used in critical components such as the CR450 Fuxing bullet train brake discs. However, the high hardness and low ductility of C/C-SiC make forming and processing challenging. By brazing C/C-SiC composite materials (CMC) with 410B stainless steel, a composite structure of "CMC functional layer + metal support layer" is formed. This structure leverages the high-temperature, wear-resistant, and corrosion-resistant properties of C/C-SiC, providing a reliable, impact-resistant, and long-lasting solution for brake modules. To address thermal expansion mismatch stresses and brittle failure issues in C/C-SiC/410B joints, this work focuses on the design of a composite interlayer based on thermal expansion matching. Through the design of a composite interlayer, the aim is to regulate interface reactions, optimize residual stress distribution and interface structure, ultimately improving the mechanical properties of C/C-SiC/410B stainless steel brazed joints.

타이타늄
Room 3층 304, 10월 29일

[타이타늄1-1 | 09:00]
적층제조 및 기계적 합금화 기반 Ti-6Al-4V 산화물 분산강화 합금 제조 및 특성 분석: 김우혁(국립한밭대학교), 고의준, 박형기(한국생산기술연구원), 김한수(KONASOL), 김정한*(국립한밭대학교)
Keywords: Ti-6Al-4V, 산화물 분산 강화, 적층제조, 극저온 밀링
산화물 분산강화 합금은 기지 내에 미세한 산화물 입자를 분산시켜 전위의 이동을 효과적으로 억제하여 상온 및 고온 환경에서 우수한 기계적 특성을 보이는 소재로, 주로 철계 및 니켈계 합금을 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 타이타늄의 경우 산화물이 서로 뭉쳐 균일한 분산이 어려워 장시간의 공정 시간이 요구되며, 제조 과정 중 기계적 합금화 공정에서 입자가 챔버 내부 또는 밀링 강구에 고착되는 문제가 발생한다. 이러한 특성으로 인해 타이타늄 기반의 산화물 분산강화 합금은 소수의 연구를 제외하고는 거의 이루어지지 않고 있었다. 본 연구에서는 타이타늄 기반 산화물 분산강화 합금 제조 과정에서 발생하는 문제점을 극복하기 위해 분말야금 및 적층제조 공정 방식을 통하여 타이타늄 기반 산화물 분산강화 합금을 제조하였다. 먼저, 샘플 제조를 위한 분말은 전극 유도 가스 분무(EIGA) 공정을 통해 Ti-6Al-4V 합금 내에 금속 Y를 첨가한 Y-alloyed 분말을 제조하여 사용하였다. 기존 분말야금 공정 중 기계적 합금화 과정에서 발생하는 문제를 극복하기 위해 극저온 환경에서 볼밀링을 수행하여 밀링 효율성을 향상시켰으며, 밀링 중 소재 오염을 방지하기 위해 밀링 강구 대신 타이타늄 강구를 사용하였다. 이후 spark plasma sintering 공정을 통하여 샘플을 제작하였다. 추가적으로, 분말야금 공정이 갖는 복잡한 제조 과정 및 다양한 문제를 보완하기 위해, 설계 자유도가 높고 제조 시간이 짧은 directed energy deposition 공정을 활용하여 산화물 분산강화 샘플을 제조하였다. 제조된 소재들의 미세조직 분석 결과, 두 공정을 통해 제조된 산화물이 분산된 Ti-6Al-4V 합금은 기존의 상용 Ti-6Al-4V 합금 대비 더 미세한 결정립이 형성되었으며, 결정립 내부에는 Y을 포함한 미세 산화물이 균일하게 분산되어 있음이 관찰되었다. TEM 분석을 통해 산화물이 기지와 일부 정합성을 보이는 것을 확인하였으며, 극저온 볼밀링을 통해 제조된 소재가 더 미세하게 분산된 것을 확인하였다. 기계적 특성 분석 결과, 상용 소재 대비 향상된 인장 강도 및 항복 강도를 보였으며, 극저온 볼밀링을 통해 제조된 샘플이 가장 높은 강도를 보였다. 본 연구를 통해 타이타늄 기반 산화물 분산강화 합금의 제조 공정의 한계를 극복할 수 있는 방안을 제시하며, 극한 환경에서 요구되는 고성능 소재 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[타이타늄1-2 | 09:15]
Supersolvus HIP 열처리가 EBM 제조 Ti-48Al-2Cr-2Nb 합금의 결정립 미세화 및 고온 연성 향상에 미치는 영향: 김종훈(한국재료연구원,부산대학교), 홍재근(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 김재혁*(한국재료연구원)
Keywords: 타이타늄, EBM, 적층제조
TiAl 계 합금은 낮은 밀도와 우수한 고온 강도를 바탕으로 항공우주 분야에서 차세대 고온 구조재로 주목받고 있으나, 상온 연성이 부족하다는 한계가 존재한다. 최근 EBM 기반 적층제조 기술을 이용해 TiAl 부품을 제작하려는 시도가 증가하고 있으나, 공정 특성상 높은 기공률이 형성되어 특히 고신뢰성이 요구되는 회전체 부품 적용 시 HIP 공정이 필수적이다. 그러나 HIP은 비용이 매우 높아 부품 제조 단가 상승의 주요 요인으로 작용한다. 따라서 단순한 치밀화 효과를 넘어, 미세조직 제어와 기계적 특성 향상을 동시에 달성할 수 있는 새로운 HIP 적용 전략이 요구된다. 본 연구에서는 EBM으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 합금에 대해 supersolvus 온도 조건에서 HIP을 수행하고 그 효과를 체계적으로 분석하였다. 1350 °C와 1380 °C에서의 HIP 처리는 기존 고온 열처리에서 흔히 나타나는 결정립 조대화를 효과적으로 억제하고, 균일한 상 분포를 갖는 미세한 등축 prior-α 결정립을 형성하였다. 이러한 미세조직 안정화는 고압 환경에서 α상의 안정화, 합금 원소의 편석에 따른 화학적 불균일성, 그리고 결정립계 이동 억제에 기인하는 것으로 판단된다. Supersolvus HIP 열처리를 적용한 시험편의 800 °C에서의 인장 시험 결과, as-fabricated 상태에 비해 강도의 큰 저하 없이 연성이 크게 향상됨을 확인하였다. 이는 HIP 공정 중 기공 제거, 미세화된 lamellar 조직의 재형성, 그리고 결정립계에 형성된 β(B2)상이 복합적으로 작용하여 소성 변형 수용 능력을 높였기 때문이다. 또한, 조성 분석에서는 결정립계 부근에서 Al 고갈과 Cr 농축이 관찰되었으며, 이는 냉각 과정에서 상 분포의 안정화에 기여한 것으로 해석된다. 이와 같은 결과는 supersolvus HIP 단일 공정만으로도 기존의 다단계 열처리를 대체하면서 우수한 고온 기계적 성능을 확보할 수 있음을 보여준다. 따라서 본 연구는 TiAl 합금 부품의 제조 비용 절감과 성능 최적화를 동시에 달성할 수 있는 효율적인 공정 경로를 제시하며, 항공우주 및 에너지 분야에서의 응용 가능성을 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

[타이타늄1-3 | 09:30]
선택적 레이저 용융 공정을 이용한 γ-TiAl 합금의 층상조직 방향성 제어에 관한 연구: 박성현(한국재료연구원), 김채원(한국재료연구원, 금오공과대학교), 박지성, 김성웅*(한국재료연구원)
Keywords: γ-TiAl, SLM, 층상조직, 기계적 물성
γ-TiAl(γ-titanium aluminide) 합금은 낮은 밀도와 우수한 고온 성능으로 기존 Ni기 초합금을 대체할 수 있는 차세대 항공우주 소재로 주목받고 있다. 특히 선택적 레이저 용융(SLM) 기반 적층제조는 독특한 미세조직과 경쟁력 있는 기계적 물성을 구현할 수 있어 큰 관심을 받고 있다. 그러나 γ-TiAl 합금은 높은 취성과 균열 발생에 취약하여 공정 적용에 한계가 있으며, 이에 대한 균열 억제 연구는 활발하나 층상조직의 방향성 제어를 통한 기계적 물성 향상 연구는 미비하다. 따라서, 본 연구에서는 SLM 공정 매개

변수 조절을 통해 고온 상 집합조직을 제어하고, 후속 열처리로 층상조직을 형성하여 그 방향성과 기계적 물성 간의 상관관계를 규명하였다. 그리고 추가적으로 γ-TiAl 합금의 층상조직 방향성 및 열적 안정성이 기계적 물성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 이를 통해, 본 연구 결과는 SLM을 활용한 γ-TiAl 합금의 미세조직 제어 전략을 제시하며, 고성능 항공우주 부품 제조를 위한 적층제조 기술의 응용 확대에 기여할 것으로 기대된다.

[티이타늄1-4 | 09:45]

Material extrusion additive manufacturing (MEAM) 공정으로 제조된 Ti-15Nb-5Sn (at. %) 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 미치는 기공도의 영향: 임진환, 남태현*(경상국립대학교)

Keywords: 타이타늄, 적층가공, 생체재료, 기공도

β-Ti 합금은 낮은 탄성계수, 우수한 강도, 내식성 및 생체적합성으로 인해 생체재료로 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 βhyeong Ti 합금의 탄성계수는 해면골(0.05~0.5 GPa)에 비해 현저히 높아 임플란트로 적용 시 응력차폐 효과 (stress shielding effect)를 유발할 가능성이 있다. 또한 환부에 적합한 복잡하고 다양한 형상을 기존 절삭 가공으로 구현하기에는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 복잡한 형상 제조와 더불어 다공성 구조 확보가 가능한 금속 적층제조 공정인 Material extrusion additive manufacturing(MEAM) 공정을 이용하여 Ti-15Nb-5Sn(at.%) 합금 조형체를 제작하였다. 특히 프린팅 과정에서 infill density를 조절함으로써 기공도를 제어할 수 있으며, 기공도 증가는 탄성계수 저하와 직결되므로 이에 따른 미세구조 및 기계적 특성 변화를 검토하였다. 모든 시편에서 α, β, TiC 상이 공존하는 미세구조가 관찰되었으며, 기공도가 증가할수록 금속 분말 간 접촉점의 수가 줄어들어 확산이 충분히 이루어지지 못하고 그 결과 α 상의 분율이 증가하였다. 또한 기공도의 증가에 따라 탄성계수, 강도, 연신율이 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다. 한편 회복률은 기공도 60 %를 기준으로 상반된 거동을 나타내었는데, 60 % 이하에서는 기공도 증가에 따라 감소하였으나 60% 이상에서는 오히려 증가하였다. 이는 각각 국부 소성변형(local plastic deformation)과 국부 연화효과(local softening effect)가 지배적으로 작용했기 때문으로 해석되며, 이러한 경향은 선행연구와도 일치하였다. 기공도 제어를 통해 해면골과 유사한 탄성계수를 구현할 수 있어 MEAM 공정으로 제조된 β-Ti 합금의 생체재료 응용 가능성을 뒷받침한다.

[티이타늄2-1 | 10:00]

β 상 준안정성 제어를 통한 Ti-6Al-4V 기반 TRIP 합금 설계 가이드라인 개발: 서기완(서울대학교), 김도향(서울대학교 신소재공동연구소), 박은수*(서울대학교)

Keywords: 타이타늄, Ti-6Al-4V, Strain-induced martensite, Transformation-induced plasticity

Ti-6Al-4V 합금은 경량 고강도 소재로서 타이타늄 합금 시장의 50% 이상을 점유할 정도로 주요 소재로 활용되고 있다. 특히, 높은 비강도와 우수한 내열성 및 내식성 때문에 항공기 엔진이나 우주 발사체 소재로서 높은 산업적 잠재력을 지니고 있다. 이와 같은 특성적인 우위에도 불구하고 제한적인 가공 경화 능력과 낮은 성형성은 해당 합금 소재의 광범위한 산업적 적용을 제약한다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금을 기반으로 βhyeong상의 안정성을 체계적으로 증대시켜 상변태유기소성(TRIP) 기구를 도입하고자 하였다. 이를 위해 Bo–Md 상 안정성 도표를 기반으로 한 새로운 합금 설계 전략을 확립하였으며, 특히, 기존 β-Ti 합금의 설계에 활용되었던 nominal composition 대신 CALPHAD 열역학 계산을 통해 산출한 βhyeong상 조성을 중점적으로 검토하였다. 계산된 β 상 조성의 상 안정성을 분석하기 위해 몰리브덴 등가 ($[Mo]_{eq}$) 수치를 정량적인 지표로 활용하였으며, 이를 통해 TRIP 기작이 구현될 수 있는 합금 조성 범위를 Bo-Md 도표 상에 도출할 수 있었다. 이러한 접근은 βhyeong상의 안정성을 정밀하게 제어하고, Ti-6Al-4V 계에 특화된 Bo–Md 도표를 체계적으로 확장함으로써, β 상 준안정성을 맞춤 설계한 TRIP Ti-6Al-4V 계 합금의 설계를 가능하게 하였다. 본 연구는 Bo–Md 도표와 열역학 모델링의 통합 활용 범위를 확장함으로써, 첨단 타이타늄 합금 설계를 위한 프레임워크를 제시한다.

[티이타늄2-2 | 10:15]

고강도·고연성 구현을 위한 metastable β 타이타늄 합금 설계 및 변형 메커니즘 분석: 주재성(한국재료연구원,고려대학교), 홍재근(한국재료연구원), 손석수*(고려대학교), 김재혁*(한국재료연구원)

Keywords: 타이타늄, Metastable β, TRIP, TWIP

타이타늄은 높은 비강도와 우수한 내식성으로 인해 국방, 항공우주, 에너지 등 다양한 산업에서 핵심 구조재료로 활용되고 있다. 최근에는 상 안정성을 조절하여 다양한 미세조직을 구현하고 기계적 성능을 극대화할 수 있는 metastable β 타이타늄 합금 연구가 활발히 진행되고 있다. 전통적으로 βhyeong상 안정성 제어에는 Mo, Nb, V 등의 β-isomorphous 원소가 주로 사용되었으나, 최근에는 Fe, Mn과 같은 β-eutectoid 원소를 첨가해 결정립 미세화와 강도 향상을 추구하는 시도가 증가하고 있다. 그러나 β-eutectoid 원소는 eutectoid 반응을 통해 높은 분율의 2차상을 형성하므로, 이를 제어하기 위한 합금 조성 설계 및 공정 최적화가 필수적이다. 본 연구에서는 경제성과 미세조직 제어 효과가 뛰어난 Co를 주 합금 원소로 선정하고, Al과 Si을 함께 첨가하여 Ti-Al-Co-Si 합금계를 설계하였다. Plasma Arc Melting으로 시편을 용해한 뒤, 편석 억제 및 2차상 분율 제어를 위해 단조와 압연 공정을 최적화하였으며, 후열처리 온도를 조절하여 metastable βhyeong상의 안정성을 단계적으로 제어하였다. EBSD 분석 결과, Co 첨가와 후열처리가 결정립 미세화와 βhyeong상 안정성 조절을 동시에 달성하여 TRIP 및 TWIP 메커니즘을 활성화하는 것을 확인하였다. 이러한 변형 메커니즘의 활성화는 단순한 강도 향상에 그치지 않고, 연성 저하 없이 고강도 특성을 유지할 수 있는 기반을 제공하였다. 그 결과, 본 합금은 기존 고강도 Ti 합금에서 흔히 나타나는 강도-연성 상반 관계를 효과적으로 극복하였으며, 경제성과 기계적 성능을 모두 확보할 수 있었다. 이와 같은 연구 성과는 차세대 타이타늄 합금 설계에 새로운 접근법을 제시할 뿐만 아니라, 항공우주·국방·에너지 분야와 같이 극한 조건에서 고신뢰성이 요구되는 응용 부품 개발에도 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

[타이타늄2-3 | 10:30]

낮은 탄성계수를 가지고 높은 초탄성 회복률을 가지는생체 재료용Ti-Nb-Sn-Zr 합금: 구태균, 김수영, 남태현*(경상국립대학교)

Keywords: 타이타늄, 생체재료, 탄성계수

TiNi 합금은 우수한 형상기억효과 및 초탄성을 가지는 합금으로 생체재료분야에서 많은 활약을 보이고 있다. 그러나 TiNi 생체재료를 체내에 이식, 삽입하였을 경우 발생하는 Ni 이온의 용출이 세포독성 및 알러지 반응을 일으킬 수 있다. 또한 뼈의 탄성계수에 비해 합금의 탄성계수가 상대적으로 높으면 발생하는 응력차폐효과 또한 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 Ni-free 생체재료용 Ti 합금이 연구되었고, 연구된 합금계중 Ti-Nb 합금은 상온에서 초탄성 특성을 보이고 낮은 탄성계수를 가졌다. 그러나 Ti-Nb 합금이 상온에서 초탄성을 나타내려면 30wt.% 정도의 Nb이 첨가되어야 하고 이는 경제적으로 좋지 않다. 따라서 다른 β 안정화 원소를 첨가하여 Nb의 함량을 낮출 필요가 있다. Sn은 β Ti 합금계에서 변태온도를 낮추고, ω상 형성을 억제하여 탄성계수를 낮춘다. Zr은 변태온도를 낮추고 합금 내에 고용강화 효과로 인하여 슬립임계응력을 높여 초탄성 회복량을 높인다. 따라서 Ti-Nb 합금계에 Sn과 Zr을 첨가하여 탄성계수를 낮추고 초탄성 회복량을 늘리는 합금설계를 하였고, Ti-10Nb-7Sn 합금에 Zr의 함량을 변화시켜 회복량의 변화, 탄성계수의 변화를 조사하였다.

[타이타늄2-4 | 10:45]

Co 미량 첨가를 통한 Ti-15Zr 합금의 미세조직 제어 및 강도-연성 향상: 박지원(한국재료연구원,부산대학교), 강남현(부산대학교), 김재혁*, 홍재근*(한국재료연구원)

Keywords: Ti–15Zr alloy, cobalt microalloying, grain refinement, prismatic slip, mechanical property optimization

Ti-15Zr 합금은 우수한 생체적합성과 낮은 탄성계수로 인해 치과 및 정형외과 임플란트 소재로 널리 활용되고 있다. 그러나 Ti-6Al-4V 합금에 비해 낮은 기계적 강도를 가져 구조재료로 활용하기에는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 ECAP, HPT와 같은 SPD 공정이 연구되었으나, 공정 비용이 높고 대형 부품 제조에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 SPD 없이 미량의 합금원소를 첨가하여 강도와 연성을 동시에 개선하고자 하였다. 미량 합금원소로는 β 안정화 효과와 높은 Q-value를 가지는 코발트를 선정하였으며, 코발트 원소의 미량 첨가가 Ti-15Zr 합금의 미세구조와 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 합금은 플라즈마 아크 용해를 통해 제조한 후 950℃에서 균질화 열처리를 수행하고, 열간 및 냉간 압연을 통해 판재로 가공하였다. 이후 OM, SEM, EBSD, TEM, XRD 분석과 인장시험을 통해 미세구조와 기계적 특성을 평가하였다. 그 결과, 1 wt.% Co 첨가 시 prior β 결정립과 α-lath가 균질화, 미세화 되었으며, basal texture가 약화되면서 prismatic slip이 활성화되었다. 이로 인해 열간 압연재에서 UTS 932 Mpa과 연신율 27%, 냉간 압연재에서 UTS 1110 Mpa과 연신율 20%를 달성하여 최적의 강도와 연성의 균형을 확보할 수 있었다. 반면, 2 wt.% 합금은 α-lath가 과도하게 미세화 되었으며, 높은 전위 밀도와 국부적인 변형 집중으로 인해 조기에 연신율이 2% 수준으로 급격히 저하되었다. 이와 같은 본 연구는 소량의 Co 첨가만으로 Ti-15Zr 합금의 미세조직 제어와 변형 메커니즘 최적화를 통해 강도와 연성을 동시에 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 특히 1 wt.% Co가 최적의 조성임을 확인하였으며, 이는 SPD 공정을 대체할 수 있는 실용적 합금 설계 전략으로서 구조용 생체재료 및 차세대 임플란트 합금 개발에 기여할 것으로 기대된다.

[타이타늄3-1 | 11:00]

알칼리성 해수 전기분해 조건에서 타이타늄의 내식성 향상을 위한 TiO_2 양극산화막 연구: 박수빈(한국재료연구원,부산대학교), 이제인(부산대학교), 홍재근*, 김재혁*(한국재료연구원)

Keywords: Anodizing, titanium oxide film, corrosion resistance, electrical conductivity, seawater electrolysis.

본 연구에서는 알칼리성 해수 전기분해 환경에서 내식성과 전기전도성을 동시에 확보하기 위해 상용 순수 타이타늄의 양극산화 거동을 체계적으로 조사하였다. 타이타늄 시편을 인산 전해질에서 10~100 V 범위의 전압으로 양극산화하였으며, 이때 형성된 산화막의 두께, 내식성, 전도도를 종합적으로 평가하였다. 그 결과, 50 V와 같은 중간 전압 조건에서 조밀하고 균일한 TiO_2 막이 형성되어 이온 이동을 효과적으로 차단하고, 1 M KOH + 0.5 M NaCl 용액에서 부식 전류 밀도를 크게 줄이는 것으로 확인되었다. XPS 분석에서는 수산화 억제, 염화물 침투 차단, 인산기 도입이 관찰되었으며, 이는 산화막의 화학적 안정성 향상에 기여하였다. 반면, 더 높은 전압에서는 산화막 두께가 증가했음에도 불구하고 구조적 결함 발생과 전도성 저하가 동반되었다. 따라서 50 V 조건에서 형성된 산화막이 내식성과 전기적 기능 사이에서 최적의 균형을 달성하였으며, 이는 해수 전기분해용 타이타늄 부품의 양극산화 조건을 설계하는 데 유용한 기초 자료로 활용될 수 있다.

[타이타늄3-2 | 11:15]

Ti-Nb-Zr-X-O 합금에서의 Gum metal 특성 평가: 이혜미, 김재일*(동아대학교)

Keywords: Gum metal, β형 Ti-based 합금, Cycle Test

Saito et al. (2003)에 의해 처음 제안된 Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-0.12O(at%)의 β-Ti 합금인 Gum metal은 독성이 없는 IVa 및 Va족 원소와 산소로 구성되어 있으며 비선형적 탄성거동, 고강도, 초탄성, 저탄성계수의 물성을 지닌 특수한 합금이다. 일반적인 금속재료에서 보기 힘든 독특한 특징으로 인해 생체재료 및 항공우주산업에서의 잠재적 응용 가능성으로 인해 주목받고 있다. Gum metal의 기계적 물성 향상을 위해 조성 변화 및 제6원소 첨가 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 기존 합금 구성을 대체하는 경우의 특성 재현성에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다. Ta는 고융점 원소로서 대용량 용해 및 응고 시 편석이 발생기 우려가 되고, 높은 밀도로 인해 미세구조와 상 안정성 제어의 장애요인으로 작용할 가능성이 있다. 또한 가격 상승의 주된 원인으로 산업현장에서의 적용 측면에서 어려움이 있다. 본 연구에서는 기존의 Gum metal에서 Ta을 대체하여 경제성과 조성 균일성을 개선하면서 Ti-Nb-Zr기 합금에서의 Gum metal 특성을 평가하고자 하였다. 또한 298 K와 123 K에서의 기계적 거동의 차이를 조사하여 초저온 영역에서의 응용 가능성을 검토하

였다. 진공 아크 용해로를 통하여 Ti-Nb-Zr-X 합금과 Ti-Nb-Zr-X-O 합금을 용해하였고, 최종 압연율 96%까지 냉간압연 후 방전가공을 통해 시편을 커팅하였다. Ar 분위기에서 진공 봉입 후 열처리 진행 후 ?칭하였고, 합금의 강도 및 초탄성을 조사하기 위하여 Tensile Test (Fracture Test, Cycle Test) 수행하였다. EBSD를 통해 집합조직을 분석하였다. 123 K에서 Ti-Nb-Zr-X 합금은 As-rolled 및 Solid Solution 시편 모두 1% 이내에서 파단된 반면, Ti-Nb-Zr-X-O 합금은 123 K와 298 K에서 5% 이상의 변태변형률을 보였다. Ti-Nb-Zr-X-O 합금은 298 K과 123 K에서 유사한 기계적 거동을 나타내어 저온 환경에서의 안정성을 확인하였고, 낮은 열팽창계수를 가져 수소저장용기 합금 등으로의 잠재적 활용 가능성을 보였다. Ti-Nb-Zr-X-O 합금 Solid Solution 시편을 3% 변형률 Cycle Test에서 1st Cycle 시에는 비선형탄성거동을 보였으나, 10th Cycle 시에는 선형탄성거동 및 완벽한 탄성회복을 보였다.

[타이타늄3-3 | 11:30]

순환 열처리 공정을 통한 주조용 γ-TiAl 합금의 미세조직 제어 및 고온 변형거동 연구: 김채원(한국재료연구원,국립금오공과대학교), 박성현, 박지성(한국재료연구원), 최인철(국립금오공과대학교), 김성웅*(한국재료연구원)

Keywords: TiAl, 순환 열처리, 결정립 미세화, 기계적 물성

γ-TiAl 합금은 우수한 고온 비강도, 내산화성 및 크리프 저항성을 지닌 경량 내열재료로서 자동차 및 항공우주 분야에서 주목받고 있다. 그러나 주조 공정으로 제조된 γ-TiAl 합금은 응고 과정에서 형성되는 조대한 주조 조직과 강한 이방성으로 인해 상온 연성과 가공성이 매우 낮아 산업적 응용에 제약이 따른다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 미세조직 제어가 필수적이며, 일반적으로 열간 압출, 단조 등의 가공 공정과 후속 열처리를 통해 개선이 이루어진다. 하지만 정밀 형상 부품 제작에 사용되는 주조용 합금은 가공 공정을 적용하기 어려우므로, 열처리만으로 효과적인 미세조직 제어가 가능한 최적화 공정 개발이 필요하다. 본 연구에서는 열간 가공 공정 없이 주조 γ-TiAl 합금의 미세조직 제어 및 기계적 물성 향상을 달성하기 위해 매시브 변태(Massive Transformation, MT)를 이용한 순환 열처리 공정을 도입하였다. 순환 열처리 과정에서 형성되는 준안정상은 높은 내부 결함 밀도를 가지며, 이는 이후 열처리에서 핵생성 위치로 작용하여 결정립 미세화를 유도한다. 이를 통해 완전층상(Fully lamellar) 조직의 결정립 크기와 형상을 효과적으로 제어할 수 있었으며, 인장 시험을 통해 미세조직과 기계적 물성 간의 상관관계를 규명하였다. 그 결과, 본 공정을 통해 개발된 γ-TiAl 합금은 균일하고 미세한 결정립을 형성하여 기존 상용 γ-TiAl 합금 대비 우수한 기계적 물성을 나타내었다. 본 연구는 미세조직 제어 메커니즘을 규명하고, 주조 γ-TiAl 합금의 열처리 기반 물성 향상 전략을 제시하였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 γ-TiAl 합금의 열처리 공정 최적화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[타이타늄3-4 | 11:45]

구성방정식과 기계학습 기반 하이브리드 모델을 활용한 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 열간 변형거동 예측: 이성호(부산대학교), 이초롱, 노윤경(㈜ 동아특수금속), 박성혁(경북대학교), 조장웅, 이종수(포항공과대학교), 이태경*(부산대학교)

Keywords: 타이타늄, 열간 가공, 구성방정식, 머신러닝, 동적재료모델

우수한 물성 조합을 지닌 준 β 계 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 타이타늄 합금의 산업적 적용을 위해서는 열간 가공 공정 최적화가 필수적이다. 최근에는 이를 위해 재료의 열간 거동을 다양한 모델링 기법으로 예측하려는 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 기존의 구성방정식 기반 접근법은 변형률에 따른 정적 재료 매개변수 사용으로 인해 예측 성능에 한계가 있으며, 순수 데이터 기반의 머신러닝은 물리적 해석력과 일반화 성능 확보에 어려움이 있다. 본 연구는 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 최적 열간 가공 조건을 도출하기 위해 1073–1323K 및 10^{-3}–$10s^{-1}$ 조건에서 고온 변형거동을 체계적으로 탐구하여 구성방정식과 기계학습을 결합한 정밀 예측 모델을 새롭게 개발하였다. 이는 Arrhenius 식과 하이퍼파라미터가 최적화된 인공신경망을 결합하여 변형 온도, 변형률 속도, 변형률에 따른 재료 상수들을 동적으로 예측하였다. 가장 예측이 어려운 조건(1073K, $10s^{-1}$)에서 기존 구성방정식 모델 대비 예측 오차를 44.2% 감소시켰을 뿐만 아니라, 내삽 및 외삽 조건 모두에서 예측 정확도와 일반화 성능을 크게 향상시켰다. 이후 예측 모델의 적용 가능성을 검증하기 위해 불완전한 변형 공정 지도를 하이브리드 모델링 기법을 통해 보완하고, 미세조직 비교 분석을 통한 검증을 수행함으로써, 본 연구에서 개발한 하이브리드 모델의 신뢰성을 입증하였다.

[타이타늄3-5 | 12:00]

ISM 공정 기반 100% 스크랩 Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 특성: 상용 VAR 합금과의 비교: 황정우(한국재료연구원,국립창원대학교), 양준하, 김재호(한국재료연구원), 정영웅(국립창원대학교), 염종택*(한국재료연구원)

Keywords: 재활용 타이타늄, Ti-6Al-4V, Induction Skull Melting(ISM), Vacuum Arc Remelting(VAR), 미세조직, 기계적 특성

타이타늄 합금은 우수한 기계적 성능과 부식 저항성을 지니며 항공·우주, 의료, 자동차 및 산업 분야에 널리 활용되는 금속 소재이다. 그중 가장 대표적인 합금은 α+β 미세조직을 갖는 Ti-6Al-4V(Gr.5)로, α/β 변태 거동을 활용하여 열처리 및 가공 조건에 따라 다양한 미세조직과 그에 따른 기계적 특성을 구현할 수 있다. 일반적으로 상용 Ti-6Al-4V는 타이타늄 스펀지와 합금 원소를 원료로 하여 진공 아크재용해(Vacuum Arc Remelting, VAR) 공정을 통해 제조된다. 반면 본 연구에서 제조한 재활용재 Gr.5는 스크랩을 100% 활용하고, 유도스컬용해(Induction Skull Melting, ISM) 공정을 통해 제조되었다. 그러나 Ti-6Al-4V 합금에 대한 ISM 기반 연구는 국내외에서 보고 사례가 많지 않아, 이에 대한 체계적인 비교 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서는 100% 스크랩 기반 ISM 공정으로 제조한 Gr.5와 상용 VAR-Gr.5를 대상으로, 열간 가공 및 열처리를 통해 미세조직을 구현하고 기계적 특성을 비교하였다. 미세조직 분석은 OM, SEM, EBSD 및 XRD를 활용하여 α/β 분율 및 prior β 결정립 크기를 정량화하였다. 기계적 특성은 ASTM E8/E8M 규격에 따른 인장 시험과 ASTM E23 규격에 따른 충격 시험을 수행하였으며, 시험편의 파단면 균열 경로를 관찰하여 미세조직 변화가 균열 전파 거동에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 연구는 ISM-Gr.5와 상용 VAR-Gr.5 간의 미세조직–성능 상관을 체계적으로 비교하여, 재활용 원료 기반 합금의 기계적 신뢰성과 상용재 대체 가능성을 평가할 수 있는 기초 데이터를 제공할 것으로 기대된다.

제21회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노 구조 재료 분석 국제 심포지엄
Room 3층 304, 10월 29일

[NeXS1-1 | 14:00] 초청강연

Understanding the Deformation Behavior of Stainless Steels in Hydrogen-Charged or Low-Temperature Environments: In Situ Neutron Diffraction Study : Stefanus Harjo, Tatsuya Ito(Japan Atomic Energy Agency), Wenqi Mao(Northeastern University), Wu Gong, Takuro Kawasaki(Japan Atomic Energy Agency)

Keywords: Stainless steel, Deformation, Neutron Diffraction, hydrogen, low temperature

The establishment of a hydrogen society is critically important for achieving carbon neutrality and building a sustainable society. To realize this, it is essential to develop highly reliable steel materials that can maintain high strength and ductility even in a wide temperature range, including hydrogen environments and cryogenic conditions. For this purpose, understanding the mechanisms governing the mechanical properties under such environments is crucial. In this study, the deformation mechanisms of stainless steels under hydrogen charging and cryogenic conditions were analyzed based on atomic-level structural changes using in-situ neutron diffraction techniques. Specifically: i) The relationship between defect introduction and strength–ductility in SUS310S subjected to hydrogen charging was clarified. ii) In addition, the phase transformation and evolution of phase stress during low-temperature deformation of ultra-fine grained SUS304 (UFG-SUS304) were investigated in relation to its stress–strain behavior.

[NeXS1-2 | 14:25] 초청강연

The progress in the control technology of welding residual stress in large-scale pressure vessels in China : Wenchun Jiang*(China University of Petroleum)

Keywords: Local post weld heat treatment, Width of heated band, Residual stress, Primary plus secondary local post weld heat treatment

Welding residual stress is one of the main reasons for the early failure of large-scale pressure vessels. Local post weld heat treatment (LPWHT) has been proven to be an effective residual stress relief technology. However, inappropriate LPWHT processes may have adverse effects. Therefore, accurate analysis models and effect evaluation methods for LPWHT of large-scale pressure vessels are crucial. In this paper, the analytical solutions of stress and deformation during the LPWHT process are derived, and the indentation energy method for in-situ residual stress assessment is proposed. The results show that the residual stress after a single LPWHT can roughly achieve the same effect as the overall heat treatment when the edge temperature exceeds 70% of the maximum temperature and the heating band width is equal to . For primary and secondary LPWHT, the optimal residual stress relief can be achieved, and even compressive stress can be introduced on the inner surface when the secondary heating band width is and the spacing between the primary and secondary heating bands is . The proposed indentation energy method has been verified by the XRD method and the hole drilling method in engineering practice, which jointly demonstrate the accuracy of the analytical model.

[NeXS1-3 | 14:50] 초청강연

Non-destructive orientation mapping of planar metal alloy using X-ray scanning orientation laminography: Jaemyung Kim*, Hayashi Yujiro, Yabashi Makina(RIKEN SPring-8 Center)

Keywords: 3DXRD, X-ray diffraction, EBSD, X-ray scanning orientation laminography, orientation mapping, inverse pole figure map

The microstructure of polycrystalline metal alloys—particularly grain shape and orientation—plays a key role in determining their mechanical properties. Electron backscatter diffraction (EBSD) is a widely used method for studying such structures, but it is destructive and requires a flat, conducting surface. However, the artificially prepared surface makes it difficult to track individual grains because material removal and polishing can alter or obscure the original microstructural features. Non-destructive, X-ray-based orientation microscopy techniques can overcome this limitation, but they typically require cylindrical, pillar-shaped specimens, which do not match the plate-like geometry of many samples. To address this, we recently developed X-ray scanning orientation laminography (XSOL), a method dedicated to plate-like polycrystalline specimens. Orientation maps obtained from XSOL were consistent with EBSD results, validating the technique.

[NeXS2-1 | 15:20] 초청강연

Uncovering the Enhanced Formability of Friction Stir Processed AA6xxx Alloy Sheets: Correlations with Microstructure, Precipitates, and Crystallographic Texture: Shi-Hoon Choi*, Aman Gupta, Preetham Alluri, Khushahal Thool(Sunchon National University), Eunjoo Shin(Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Al-alloys, Deep Learning, FSP, VPSC, SANS

In this study, we investigated the evolution of microstructure, crystallographic texture, and precipitates in friction stir processed (FSPed) AA6xxx alloy sheets. Microstructural characterization was performed using electron backscatter diffraction (EBSD), while precipitate distribution was analyzed via scanning electron microscopy (SEM) and high-resolution transmission electron microscopy

(HR-TEM). FSP refined the grain size from 18 μm in the base material to 2 μm in the stir zone (SZ). The SZ, thermo-mechanically affected zone (TMAZ), and adjacent regions exhibited heterogeneous microstructures and distinct precipitate morphologies. A deep learning (DL)-based image segmentation technique was employed to quantify the distribution, size, morphology, and volume fraction of precipitates. SEM–energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM–EDS) identified two primary precipitate types: Fe-rich (Al–Fe–Si) and Mg-rich (Mg_2Si) particles. Small-angle neutron scattering (SANS) revealed the reprecipitation of Mg_2Si particles with an average size of 19 nm in the FSPed region. These findings were validated using the Thermo-Calc (TC) PRISMA module. Formability was evaluated through hemming and V-bending tests. While the as-received samples exhibited macrocracks during forming, the FSPed specimens showed no cracking, indicating significantly improved formability. Finite element simulations coupled with a dislocation density-based viscoplastic self-consistent (VPSC) model demonstrated that combinations of shear and normal components of the velocity gradient govern texture evolution in the SZ. The development of P, Q, R, and S fiber textures in the FSPed material was found to enhance hemmability.

[NeXS2-2 | 15:40] 조청강연

인공 시효와 Cu 첨가에 따른 6xxx 계 Al 합금의 기계적, 전기화학적, 석출 거동 분석: 조훈휘*, 홍현빈, Raj Narayan Hajra(국립한밭대학교), 신은주(한국원자력연구원), 김정한(국립한밭대학교), 김재황(한국생산기술연구원)

Keywords: Al alloys, Cu addition, artificial aging, electrochemical behavior, precipitation behavior

세계적으로 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력이 지속되고 있으며, 이로 인해 연비 규제가 강화되고 경량 소재에 대한 수요가 증가하는 추세이다. 그 중, 6xxx계 Al 합금은 철강 대비 높은 비강도와 가공성, 내식성으로 차량 및 항공기의 경량 소재로 널리 사용되고 있다. 차량 및 항공기 이용의 안전성을 위해 Cu를 첨가하여 강도 특성을 향상시키는 연구가 진행되었으나 내식성의 저하 문제가 대두되고 있다. 특히, 실제 자동차 제조 공정에서는 운송 등 실질적인 이유로 용체화 처리 후 자연 시효가 불가피하게 진행되는 경우가 있으며, 이로 인한 부정적인 효과를 최소화하기 위한 인공 시효 공정에 대한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 강도와 내식성의 최적화를 위해 다양한 열처리 조건 및 Cu 첨가 조건에 따른 6xxx계 Al 합금의 미세조직 및 전기화학적 거동을 분석한다. Cu의 첨가 여부에 따른 Al 합금을 제작하고, 인공 시효 조건을 다양하게 설정하였다. 전기화학 계측기 (Potentiostat)를 사용하여 전기화학적 거동을 측정하였으며, 인공 시효 시간이 증가할수록 높은 부식 속도를 보였으나 Cu가 첨가된 경우 반대의 양상을 보였다. 반면, 자연 시효가 추가된 경우에는 단일 시효 대비 부식 속도가 전반적으로 크게 증가하였다. 광학 현미경(Optical Microscope, OM)과 레이저 주사 현미경(Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM)으로 부식된 시편의 단면과 표면을 관찰하였으며 부식 형태와 깊이를 확인하였다. 시차 주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC)와 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscope, TEM), 소각 중성자 산란 장치(Small Angle Neutron Scattering, SANS)를 이용하여 각 조건별 석출물에 따른 미세조직 거동 차이를 비교하고 분석하였다.

[NeXS2-3 | 16:00] 조청강연

Quantitative analysis of microstructure of Cantor alloy manufactured by spark plasma sintering: Jae-Gil Jung*, Sunghyun Park(Jeonbuk National University), Eunjoo Shin(Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: High-entropy alloy, Powder metallurgy, Transmission electron microscopy, Small-angle neutron scattering

Equiatomic CrMnFeCoNi alloy, known as Cantor alloy, exhibits a good combination of strength and ductility at both room and cryogenic temperatures, making it a suitable candidate for low-temperature applications. However, its relatively low yield strength at room temperature remains a limitation, and research on microstructural control and alloy design strategies is needed to overcome this drawback. Powder metallurgy approaches have received considerable attention as a method for improving strength. For example, mechanical alloying (or mechanical milling of alloy powders) and spark plasma sintering are effective methods for achieving ultrafine microstructures in metallic materials. In this study, the effect of mechanical milling of CrMnFeCoNi powders on the microstructure and mechanical properties of a spark plasma sintered alloy is investigated. The microstructure, including the fcc matrix, secondary phases, and oxide phases, was quantitatively analyzed using electron backscatter diffraction (EBSD) and transmission electron microscopy (TEM). The experimental results demonstrate that mechanical milling of alloy powders significantly affects the grain size, secondary phases, and oxide phases of the sintered alloy. Small-angle neutron scattering (SANS) analysis results showed that mechanical milling increased the volume fraction and reduced the size of oxide particles. Applying mechanical milling significantly improved the compressive strength of the sintered alloy. The relationship between microstructure and mechanical properties was discussed in detail.

[NeXS2-4 | 16:20] 조청강연

Size distribution analysis of metastable phase in aluminum alloys using SANS, TEM and APT: JiWook Park(Korea Institute of Industrial Technology,University of Science & Technology,Korea Institute of Science and Technology), MiYoung Lee(Korea Institute of Industrial Technology,University of Science & Technology), JaeHwang Kim*(Korea Institute of Industrial Technology,University of Science & Technology,Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Metastable phase, Nanocluster, Age-hardening, Aluminum alloys

Metastable phases such nanocluster and precipitate formed during low temperature aging affects the age-hardening behavior in aluminum alloys. Some clusters were transformed into the strengthenging phase. This study investigates the size distribution and

chemical composition of metastable phases in aluminum alloys using small-angle neutron scattering (SANS), transmission electron microscopy (TEM) and atom probe tomography (APT). Metastable phases were characterized with the different approaches. Detail of characteristics for the metastable phase will be introduced.

[NeXS3-1 | 16:50] 조청강연

소각중성자산란법을 이용한 초고강도 이차경화형 마르텐사이트강의 탄화물 석출거동 분석: 원윤정(한국재료연구원), 이근원, 김장중(국민대학교), 임창동(한국재료연구원), 신은주(한국원자력연구원), 조기섭*(국민대학교)

Keywords: small angle neutron scattering, secondary hardening, precipitation kinetics, ultrahigh strength steels

소각중성자산란(small-angle neutron scattering, SANS)은 재료 내부의 나노구조를 비파괴적으로 분석할 수 있는 기법으로, 금속 소재 내 1-100 nm 크기의 나노 석출물을 정량적으로 분석하는 데 탁월한 성능을 가진다. 이차경화형 마르텐사이트강은 오스테나이징 후 시효처리 과정에서 형성되는 미세한 이차경화형 석출물에 의해 고강도와 고인성을 동시에 확보할 수 있으며, 이러한 석출물의 신뢰성 높은 정량분석은 이차경화 메커니즘 규명에 필수적이다. 본 연구에서는 기존의 고함량 Co-Ni계 이차경화형 마르텐사이트강 대비 Co 및 Ni 함량을 저감하면서도 초고강도를 확보할 수 있는 합금원소 저감형 초고강도 마르텐사이트강의 석출거동을 분석하였다. TEM 및 SANS를 활용하여 미세조직 분석을 수행하였으며, 해당 결과는 DSC 활용 열분석과 연계하여 해석함으로써 이차경화 및 석출거동에 미치는 합금원소의 영향을 고찰하였다.

[NeXS3-2 | 17:05] 조청강연

압입 기반 비등이축 잔류응력 및 소성 물성의 비파괴적 예측을 위한 데이터 기반 FE–CNN 프레임워크: 박민우, 정든봄(서울대학교), 우완측(한국원자력연구원), 오승철(한화에어로스페이스), 정경재*(성균관대학교), 한흥남*(서울대학교)

Keywords: 압입시험, 유한요소해석, 잔류응력, 신경망, 민감도 분석

본 연구는 압입 응답으로부터 비등이축(non-equibiaxial) 잔류응력과 소성 물성을 비파괴적으로 동시에 예측하기 위해, 유한요소(FE) 시뮬레이션과 합성곱 신경망(CNN)을 통합한 데이터 기반 FE–CNN 프레임워크를 제안한다. 제안 방법은 검증된 FE 시뮬레이션에서 도출한 압입 하중–깊이 곡선과 방향성 변형 프로파일을 입력으로 활용한다. 민감도 분석을 통해 예측 정확도 향상 및 잔류응력 민감도 극대화를 위해 압입자 반경과 penetration ratio가 핵심 변수임을 도출하였다. 또한, 민감도 분석을 통해 비등이축 잔류응력이 압입 거동에 미치는 영향이 압입 영역 인근의 등가 소성변형률 누적 체적 변화와 밀접히 연관됨을 규명하였다. CNN 학습 성능은 민감도 기반 최적 압입 조건 설정의 타당성을 뒷받침한다. 균일 잔류응력장을 갖는 구리 시편에서 제안 모델의 정확성과 적응성을 검증하였고, 적층 제조(AM) 스테인리스강의 복잡한 비균질 잔류응력 분포에 대해서는 FE–CNN 예측과 중성자 회절 측정 결과를 교차 검증함으로써, 제안 모델의 실험적 타당성과 현장 적용 가능성을 입증하였다. 파괴시험 없이 다양한 산업 응용에서 구조 건전성과 신뢰성을 평가할 수 있는 견고하고 확장 가능한 종합적인 접근법을 제시한다.

[NeXS3-3 | 17:20] 조청강연

Residual stress and microstructure evolution in additive manufacturing: modeling and neutron diffraction study: ZHENGTONG SHAN, Cong Hoang Dang(Konkuk university), Wanchuck Woo(Korea Atomic Energy Research Institute), Dong-Kyu Kim*(Konkuk university)

Keywords: Additive manufacturing, Neutron diffraction, Multi-scale modeling, Residual stress, Grain structure evolution

Additive manufacturing (AM) processes inevitably generate complex residual stresses and heterogeneous microstructural evolution due to steep thermal gradients and rapid solidification. In this study, a multi-scale modeling framework was developed to predict both residual stress distributions and grain structures in AM parts. For residual stress prediction, a thermo-mechanical finite element model coupled with the lumped layer approach was employed to capture the thermal field and stress distribution in simple geometries. In parallel, the inherent strain method was refined into a dual-inherent strain formulation by introducing an additional strain component associated with the melting stage, thereby improving prediction accuracy. For microstructural evolution, an adaptive capture algorithm was implemented within a cellular automata model to efficiently simulate large-scale grain structures. Neutron diffraction was utilized as a non-destructive technique for bulk-scale stress characterization, providing validation of the predicted stress fields. The combined framework highlights the complementary roles of advanced modeling and neutron diffraction in advancing multi-scale understanding of residual stress and microstructural evolution in AM, offering new insights for process optimization.

[NeXS3-4 | 17:35] 조청강연

PBF-LB/M 공정의 미세조직 및 잔류응력 제어를 위한 세라믹 절연 기판 기반의 수동적 열적제어: 안성열(포항공과대학교), 정상국(한화에어로스페이스), 이기택(포항공과대학교), 채호병, 우완측(한국원자력연구원), 김은성, Muhammad Raihan Hashmi, Levin Sebastian Cahyaputra, Renhao Wu(포항공과대학교), 홍순익(충남대학교), 홍순직(국립공주대학교), 김형섭(포항공과대학교)

Keywords: Laser-based powder bed fusion of metals, ceramic base plate, in-situ thermal management, residual stress mitigation, finite element simulation

Laser-powder bed fusion of metals (PBF-LB/M) 공정에서 발생하는 열유기 잔류응력은 금속 부품 제조 시 시급한 해결이 필요한 과제 중 하나이다. 본 연구에서는 PBF-LB/M 공정 중 열 구배를 효과적으로 제어하며 잔류응력 및 열변형을 저감하기 위한 새로운 열관리 전략으로 세라믹 기판의 적용을 제안한다. 이 전략은 기존 장비의 제어 시스템이나 에너지 입력에 변화를 주지 않으면

서도 공정 중 열 분포를 효과적으로 조절할 수 있다는 장점을 가진다. 유한요소 해석 (FEM), 중성자 회절, 미세조직 분석 및 기계적 물성 평가를 위해 열적, 구조적, 기계적 반응을 종합적으로 평가하였다. 세라믹 기판의 도입으로 인해 PBF-LB/M 공정 과정에서 파트부 온도를 상승시키고, 열 구배를 완화시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 중성자 회절 결과에서는 인장 및 압축 잔류응력이 여러 위치에서 감소한 것이 확인되었다. 세라믹 기판 사용 시 파트부 온도 증가로 인해 결정립 성장이 유발되며, 전위밀도 감소가 관찰되었으며 이는 열유기 소성 변형이 억제된 것으로 해석된다. 세라믹 기판 사용 여부에 따른 인장특성 비교를 수행한 결과, 항복강도는 ~59 MPa 가 감소하였으나 이는 전위 밀도 감소에 기인한 것으로 판단되며, 인장강도 및 균일 연신율은 유지되었다. 본 방식은 별도의 에너지 투입이나 시스템의 개조 없이 적용 가능하며, preheating 과 같은 기존의 응력 저감 기법과도 병행 활용이 가능하여 상호 보완적 효과를 기대할 수 있다.

[NeXS3-5 | 17:50] 조청강연

Micromechanical Damage Mechanisms in B_4C/AA6061 Composite: In Situ Acousitc Emission and Neutron Diffraction: Jong-Hyeok Kwon(Konkuk University), Ho Won Lee, Seungchan Cho(Korea Institute of Materials Science), Hobyung Chae, Wanchuck Woo(Korea Atomic Energy Research Institute), Dong-Kyu Kim*(Konkuk University)

Keywords: Metal matrix composite, Micromechanical damage mechanism, In situ characterization, Acoustic emission, Neutron diffraction

In this study, the micromechanical damage evolution of B_4C/AA6061 composite under uniaxial tensile loading was examined through a synergistic in situ framework integrating acoustic emission (AE), neutron diffraction (ND), and scanning electron microscopy (SEM). AE monitoring, combined with wavelet packet transform (WPT) analysis, allowed classification of frequency-dependent clusters corresponding to distinct damage mechanisms. ND measurements simultaneously revealed phase-specific lattice strain evolution, capturing stress partitioning between matrix and reinforcement and identifying constraints imposed by the B_4C particles. Furthermore, in situ SEM provided direct visualization of interfacial decohesion and particle fracture, which were subsequently validated by post-mortem fractography. The integrated results revealed a sequential progression of damage: initial matrix deformation, interfacial separation, progressive particle cracking, and final fracture. By cross-validating AE clusters with neutron-derived lattice strain and SEM observations, this study demonstrates the effectiveness of multi-modal in situ analysis for resolving complex, phase-dependent failure mechanisms in particle-reinforced MMCs.

철강A-제선, 제강, 환경, 에너지
Room 3층 305/6, 10월 29일

[철강A1-1 | 09:00]
유동로 수소환원으로 제조한 환원철의 열전도도 특성 분석: 하윤철, 김리주, 서인국, 이준호*(Korea Univ.)
Keywords: 수소환원제철, 유동환원로, 열전도도, H_2-HCI

2050년 철강 산업의 탄소 중립을 달성하기 위해, 유동환원로를 이용한 분철광석의 수소 환원과 전기로(Electric Arc Furnace, EAF) 또는 전기용융로(Electric Smelting Furnace, ESF)에서의 연속 용융을 결합한 새로운 제철 공정이 개발되고 있다. 이 공정에서는 유동환원로에서 직접 환원된 환원철을 곧바로 H_2-HCI(Hot Compacted Iron)의 형태로 성형한다. H_2-HCI는 내부 기공과 잔류 산화물 상의 존재로 인해 열전도도가 변하며, 이는 용융 과정에서의 에너지 소비에 큰 영향을 미친다. 또한 H_2-HCI는 고온에서 자연 발화하기 쉬운 특성을 지니고 있어, 이를 방지하기 위한 인위적인 표면 산화막 형성이 요구된다. 따라서 H_2-HCI의 열전달 특성을 명확히 이해하기 위해서는 기공률, 잔류 산화물, 표면 산화막의 영향을 정량적으로 분석해야 한다. 본 연구에서는 Fe와 SiO_2를 혼합하여 H_2-HCI를 모사한 시편을 제작하고 열전도도를 측정하였으며, 기공률과 산화물 함량이 열전도도에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 또한 실제 수소 유동환원 공정으로 제조된 H_2-HCI 시편의 열전도도를 측정하고, 산화막 유무에 따른 열전달 특성의 차이를 비교하였다. Fe–SiO_2 실험 결과를 바탕으로 H_2-HCI 내부의 기공률과 산화물 함량에 따른 열전도도 변화를 예측할 수 있는 경험식을 제안하였으며, 실제 측정값과 비교하여 타당성을 검증하였다. 그 결과, 기공률, 산화물 함량, 산화막의 존재 유무가 H_2-HCI의 열전달 거동에 직접적인 영향을 주는 것으로 확인되었다.

[철강A1-2 | 09:15]
폐플라스틱 기반 친환경 가탄재를 활용한 슬래그 포밍 내 기공 특성 및 반응 거동 분석: 안효주, 조진우, 박노근*(영남대학교), 강영조(동아대학교)
Keywords: 친환경, 슬래그, 슬래그 포밍, 폐플라스틱, 전기로

지속 가능한 철강 생산을 위한 탄소중립 실현을 위하여, 본 연구에서는 전기로 공정에서 사용되는 가탄재의 일부를 폐플라스틱으로 대체하여 슬래그 반응성과 내부 구조 변화에 미치는 영향을 평가하였다. 실험은 폐플라스틱이 미치는 영향을 파악하기 위하여 단순화된 CaO-SiO2-FeO 3원계 슬래그를 대상으로 수행되었으며, 전기로 내 포트를 통해 시간에 따라 변화하는 슬래그 포밍의 거동을 추적하였다. 특히, 슬래그 내부의 기공 특성을 정량적으로 평가하기 위해 반응 단계별로 시편을 채취하고, X-ray CT 데이터를 적층하여 3차원 구조로 시각화하였다. 이를 통해 슬래그 내 전체 기공률, 기공 분포 및 개별 기공의 형상 변화를 분석하였으며, 폐플라스틱 첨가 여부에 따른 차이를 비교하였다. 분석 결과, 동일 반응 시간 조건에서 폐플라스틱을 첨가한 경우 반응성이 뚜렷하게 향상되어 기공률이 높게 나타났으며, 내부 기공의 발생이 더 활발히 진행됨을 확인하였다. 또한, 각 반응 단계별 시편 단면 내 기공의 형상 변화와 분포를 정량적으로 분석하였고, 개별 기공의 위치를 추적하여 특정 영역에 기공이 집중되는 경향을 확인하였다. 이를 바탕으로 폐플라스틱 첨가 시 수소 등 경량 기체의 발생에 따른 공간적 반응 특성을 고찰하고, 반응이 우선적으로 발생하는 영역을 파악하였다. 이후 EPMA를 활용하여 슬래그 내 FeO의 산소 농도를 정량 분석한 결과, 폐플라스틱 첨가가 탈산 반응을 촉진함을 확인함으로써 폐플라스틱의 불완전 연소로 인해 생성된 가스가 탈산에 기여하는 메커니즘을 규명하였다. 본 연구는 폐플라스틱 첨가가 전기로 슬래그의 미세구조와 화학적 반응성에 미치는 영향을 다방향으로 규명하였으며, 이를 통해 철강 산업에서 폐플라스틱을 활용한 가탄재 대체의 실질적 가능성과 긍정적인 환경적 영향을 제시한다.

[철강A1-3 | 09:30]
산화철과 산화아연 혼합물의 용융 산화물 전해를 통한 유가금속 회수기술 개발: 김중석, 강정신*, 이경우*(서울대학교)
Keywords: high-purity iron, high-purity zinc, secondary resources, molten oxide electrolysis, vacuum distillation

본 연구에서는 EAF (Electric Arc Furnace) 더스트 내 철 (Fe) 및 아연 (Zn)을 친환경적으로 회수하기 위한 저온 용융 산화물 전해법 (Molten Oxide Electrolysis)을 개발하였다. 산화철 (Fe_2O_3)과 산화아연 (ZnO)을 원료로 사용하였으며, 대기 분위기의 1173 K에서 삼산화붕소 (B_2O_3) – 산화나트륨 (Na_2O) 지지염에 Fe 음극 및 백금 (Pt) 양극을 사용하여 전해를 수행하였다. 전해실험에 앞서 열역학적 분석 및 cyclic voltammetry를 통해 원료의 지지염 내 용해도 및 전해질 내 성분들의 분해전압을 분석하였다. 전해실험 결과, 1.1 V에서는 Fe_2O_3만 환원되어 수지상 Fe이 형성되었고, 1.6 V에서는 Fe_2O_3와 ZnO가 동시 환원되어 Fe – Zn 합금이 생성되었다. 또한 Fe – Zn 합금의 경우 1200 K에서의 진공증류를 통해 각각 순도 99.9 % 이상의 Fe와 Zn으로 분리하였다. 따라서, 본 연구결과를 통해 신 용융 산화물 전해법 활용 시 EAF 더스트로부터 고순도 Fe과 Zn을 친환경적으로 회수할 수 있음을 확인하였다.

[철강A1-4 | 09:45]
스크랩 사용에 따른 hot shortness 발생 평가 기법 개발: 조민서, 이은의(고려대학교), 김성환(Thermo-Calc Software Korea LLC), 이준호*(고려대학교)
Keywords: 철 스크랩, 트램프 원소, 표면 적열 취성

유럽의 CBAM을 비롯한 각국의 탄소저감 정책으로 인해 철강 제조 기업들은 원재료 측면에서 탄소 배출량을 줄이기 위한 노력의 일환으로 철 스크랩을 이용한 전기로 공정의 비중을 높이고 있다. 철 스크랩은 구리, 주석 등과 같이 기존의 정련 공정으로는

제거가 불가능하여 철의 재사용 과정에서 농축되는 트램프 원소를 포함하고 있다. 특히, 구리는 철에 비해 산화 저항성이 우수하여 철강 제품 생산 과정 중에 산화되지 않고 남아 강과 산화 스케일의 계면에서 농화되고, 융점 이상의 온도에서 구리 함량이 높은 액상이 형성된다. 이후 열간 압연 공정 중에 응력이 가해지면 구리 풍부 액상이 강재의 결정립계를 따라 침투하여 표면 적열 취성이라는 결함을 발생시키는 원인으로 작용한다. 본 연구에서는 국내 전기로 제강사에서 철 스크랩을 원료로 생산한 철근의 화학 조성을 분석하여 현 시점에 국내에서 유통되는 스크랩 내 트램프 원소의 농축 정도를 파악하였다. 또한, 해당 샘플로 고온 산화 실험을 진행하여 강과 산화 스케일의 계면에 구리 풍부 상이 생성됨을 확인하였으며, 그 조성을 분석하였다. 이후 열역학 계산을 통해 실제 실험 결과가 이론적으로 재현 가능함을 보였다. 이를 바탕으로 열역학 계산으로 트램프 원소가 고온의 강/스케일 계면에서 생성되는 구리 풍부 상의 양에 미치는 영향을 조사하였고, 새로운 구리 당량식 및 임계값을 제안하였다.

[철강A1-5 | 10:00]

MgO-C 내화물 내산화성 향상을 위한 B_4C의 효과: 박찬근, 명재우, 이지혁, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: MgO-C, 산화방지제, 산화저항성

MgO-C내화물은 높은 열충격 저항성으로 철강제조공정에서 내벽소재로 사용된다. 카본은 고온에서 산소에 의해 산화되며, 물성저하를 야기할 수 있다. 따라서 카본의 산화를 방지하기위해 산방제에 대한 연구가 진행되고 있으나, Al과 B_4C 복합 산방제에 따른 내산화성 연구가 미비하다. 본 연구는 Al의 함량을 고정하고, B_4C를 0~4%로 설계하여 B_4C 함량에 따른 MgO-C의 내산화특성에 대해 연구하였다. 실험은 대기분위기에서 1200, 1300, 1400°C에서 1시간 및 3시간 실험을 수행하였다. B_4C 함량 및 온도에 따른 내산화성에 미치는 영향을 산화 단면, 중량감소율, 기공율을 통하여 분석하였다. 실험 결과 산화영역, 중량감소율 및 기공율은 B_4C 함량이 증가함에 따라, 온도가 증가함에 따라 감소하였다. XRD분석을 통하여 상변화를 확인하였고, 열역학적 고찰을 통하여 액상형성 따른 내산화성에 향상에 대한 메커니즘을 규명하였다. 또한, 탈탄 반응에 대한 중량 감소 및 탈탄 면적을 shrinking core model을 통하여 반응속도론적 해석이 수행되었다.

[철강A2-1 | 10:25] 초청강연

Pyrometallurgical process simulations using CALPHAD thermodynamic databases: Marie-Aline Van Ende*, Jung In-Ho(Seoul National University)

Keywords: Process simulation, Thermodynamics, Kinetics, Effective Equilibrium Zone Model, FactSage

In order to utilise the powerful thermodynamic databases for process simulations, a concept called Effective Equilibrium Reaction Zone (EERZ) was introduced to couple thermodynamic database calculations and reaction kinetics. Using the EERZ concept, many process simulation models for steelmaking processes have been developed within the FactSage steelmaking consortium. After validation of the simulation results by comparing with plant data, the simulation models have been applied to improve plant operations. In this study, we want to present the concept of EERZ model and process models for Ladle Furnace and Vacuum Tank Degasser for industrial scale applications.

[철강A2-2 | 10:50]

Factsage 시뮬레이션을 활용한 2차정련 공정의 온도, 성분 예측 기술 개발: 김영수, 김민재, 서석민*(세아베스틸), 정인호, Marie-Aline Van Ende(서울대학교)

Keywords: 시뮬레이션, 디지털 트윈, 온도 예측, 성분 예측, LHF, VD, 정련

전기로 제강 공정에서 용강 온도를 정밀하게 예측하고 제어하는 기술은 에너지 낭비와 운영 효율 저하를 방지하는 데 필수적이다. 이는 불필요한 송전으로 인한 에너지 비용을 절감하고, 공정 중단을 방지하여 생산성을 향상시키며, 장기적으로 탄소 배출 저감 및 공정 자동화 기반 마련에 기여한다. 본 연구에서는 2차 정련 공정인 LHF와 VD의 실시간 온도 예측 시스템을 개발하여 이러한 문제점을 해결하고자 한다. 서울대학교와 협력하여 Factsage 기반의 시뮬레이션 초기 모델을 구축하고 실제 조업 데이터와 비교 분석하며 정합성을 개선했고. 효율적인 현장 운영과 신속한 의사결정을 위해 작업자가 예측 결과를 실시간으로 확인할 수 있는 온라인 시스템을 구축했다. 이 시스템은 특정 시작 신호를 트리거로 시뮬레이션을 시작하고, 작업자의 행위를 1분 늦게 따라가며 자동으로 스케줄을 입력하고 분석하며, 시뮬레이션 종료 시 데이터를 저장한다. 이를 통해 데이터를 자동으로 취득하고, 작업자는 공정 중 예측된 용강 온도를 실시간으로 확인하며 작업할 수 있는 기반을 마련하게 되었다. 축적된 데이터 분석 결과, 온도 하락에 큰 영향을 미치는 Heat loss 계수가 현재 온도에 따라 변동함을 확인했다. 이를 반영하여 현재 온도에 따라 Heat loss 계수를 계산하는 수식을 도출하고 적용한 결과, ±10ºC 기준 94%의 정합성을 보였다. 이 기술 개발을 통해 연주 적정 온도를 맞추기 위한 공정 스케줄 예측과 각 공정의 완료 온도 예측이 가능해져 불필요한 송전 최소화로 전력 에너지 절감과 탄소중립에 기여할 것으로 기대된다. 현재는 진공 이후 와이어 투입 단계인 LTS의 온도 정합성을 높이는 중이며, 슬래그(Slag) 중량에 따른 용강 온도 하락 차이를 분석하고 데이터를 축적하여 슬래그 양에 따른 Heat loss 계수 계산 수식을 별도로 도출할 계획이다.

[철강A2-3 | 11:05]

Development of auto simulator of ladle refining process based FactSagethermodynamic analysis: 김지현, 권세현, 김동수(두산에너빌리티)

Keywords: Simulator, ladle, EAF, EERZ

In the age of Industry 4.0, major steel companies are strengthening their competitiveness in manufacturing high clean steel, reducing

abnormal operations and reducing operating time by applying thermodynamic auto-simulators using virtual steelmaking. In order to achieve this, it is important to control and predict components such as deoxidation, desulfurization and degassing during the refining process. In this simulation study, it is very important to apply the kinetic model in addition to thermodynamic analysis. The reaction amount of the inputted material is determined by mass transfer to cause component change, but the previous empirical equation is regarded as a uniform reaction, and there is an error between operations, resulting in inefficiency of operation. In order to predict the exact change of molten steel / slag in the simulation processing, the reaction efficiency of the injected material, heating and heat transfer by subsidiary materials should be considered. Considering these factors, simulators are derived by extracting kinetic parameters such as subsidiary material reaction efficiency, heat efficiency by heating, heat loss by refractory / atmosphere, mass transfer, etc. suitable for our operation data using EERZ (Effective Equilibrium Reaction Zone) model and Factsage macro processing. Developed and reproduced the operation with high probability. Through developed study and applying this simulator, we improved the recovery rate of Ferro-alloys and subsidiary materials such as deoxidizer, fluxes and developed substitute materials such as ferro-vanadium, metal chromium. As a result, cost reduction and productivity improvement were accomplished.

[철강A2-4 | 11:20]

FactProSim for Steelmaking Process Simulation: Kumar Nishant, Marie-Aline VAN ENDE*, In-Ho JUNG(Seoul National University)

Keywords: FactProSim, Steelmaking, Process Simulation

Process simulation is a powerful tool for enabling the optimization of an existing process and the development of new processes at a relatively low cost. However, the lack of easily accessible platform for simulations hampers its widespread adoption. In this paper, our new platform for Process Simulation called FactProSim is described, which employs the accurate and reliable FactSage thermodynamic databases and Gibbs Energy Minimizer to perform complex multicomponent chemical reactions involving liquid metal, liquid oxide, solid and gas phases, facilitating the design and optimization of any metallurgical process/equipment. FactProSim has been designed with metallurgists in mind instead of traditional IT, shifting the focus to rapid development of plant process models. It takes advantage of the natural intuitiveness of the flow-sheet diagrams to model the process/equipment in many blocks, which interact with each other through the flow of materials. The simulation results are made accessible via Excel, which provides easy access to analysis tools and allows quick validation of the results. The ease and usefulness of the software FactProSim is demonstrated by simulating the evolution of non-metallic inclusion composition in liquid steel due to interactions with the top slag.

[철강A2-5 | 11:35]

철강산업재도약기술개발사업 포항거점센터 소개: 박상원, 박병호*, 이경세*((재)포항소재산업진흥원)

Keywords: 철강산업재도약기술개발사업 포항거점센터, 산업공유자산, 실증지원, 고청정 모합금 잉곳 제조-성형-후처리

철강산업재도약기술개발사업 포항거점센터는 고기능 철강재 실증지원 인프라 구축, 지원체계 확립을 통한 철강기업의 개발 소재 및 부품 사업화 연계를 통한 융합기술 발굴과 성과 창출 가속화를 목표로 시작된 기반구축 사업이다. 선진국 중심으로 탄소국경세 도입 본격화, 철강제품의 수출 위기, 탄소중립 흐름 속 그린수소 및 신재생에너지 투자 확대로 고부가가치 강종 수요가 확대하고 있고, 이로인해 급변하는 시대 상황 속에서 중소철강사는 기술력 향상 수요 확대가 절실히 필요한 상황이다. 포항에 구축된 포항거점센터(고기능금속기술센터)는 중소·중견 철강사 등 산업 전방위에 걸쳐서 중간가교 역할을 수행하는 핵심주체이며, 이러한 중소·중견 철강사의 경쟁력 제고를 위한 해결책이 필요한 상황에서 국내 철강산업의 중간 허리역할을 하는 중소철강사의 경쟁력 강화로 국내 철강산업 뿐만아니라 전체 제조산업의 경쟁력 제고가 가능할 것으로 판단된다. 본 사업의 인프라 구축은 철강소재의 개발을 위한 원재료에서부터 생산에 이르는 전 과정에 대한 장비 구축을 통한 기업이 개발하려는 제품에 대한 원스톱 지원이 가능하다. 원료 용해 및 주조, 잉곳제조, 분말 제조, 성형을 위한 최소 장비로 중소·중견기업의 고특성 합금 및 특수소재 개발이 가능하도록 지속적인 실증 기술지원을 통한 사업화 연계를 수행하고 있다. 또한, 소재개발 후 시험·평가·분석 및 신뢰성 평가를 위해 다양한 분석 장비 활용이 필요하다. 이런 개발된 시제품에 대한 평가는 기 구축된 고품질 강관 기반구축사업을 통해 구축된 신뢰성 평가 장비와 연계하여 기술개발을 극대화하고자 한다.

[철강A3-1 | 14:00] 초청강연

Valorization of Slags as Supplementary Cementitious Materials: Andersson Anton*(Lulea University of Technology,Hanyang University), Lennartsson Andreas, Engstrom Fredrik(Lulea University of Technology), Joo Hyun Park(Hanyang University)

Keywords: slag valorization, supplementary cementitious material, EAF slag

The pyrometallurgical extraction of metals is associated with slag rates that warrant slag valorization to maintain a resource-efficient production. Recognizing this, the metallurgical industry has established various applications for slags, including road construction, water purification, fertilizers, sandblasting media, and supplementary cementitious materials (SCMs). The latter is particularly significant, as the Global Cement and Concrete Association identifies SCM use as a key carbon abatement strategy in its roadmap to net-zero production. Consequently, a clear incentive for pursuing the valorization of slags other than blast furnace slag as SCMs is present, especially considering regional plans to replace blast furnace capacity with hydrogen-based alternatives. The performance of a slag as an SCM depends on five key characteristics: amorphous content, degree of polymerization, chemical composition, specific surface area,

and thermal history. Since four of these parameters are set in the metallurgical process, approaching this research from the properties of the slag is essential to meet the demands of the SCM set by the cement and concrete industry, while facilitating the production of the metal. The present presentation covers recent and ongoing research in this area, highlighting the interrelations between slag chemical composition, its effect on slag structure, and the feasibility of generating an amorphous slag, and their implications for producing slags suitable for use as SCMs.

[철강A3-2 | 14:25] 초청강연

Steelmaking Slag Utilization: Field Applications and Circular Recovery: Takayuki Iwama*, Ryo Inoue, Shigeru Ueda(Tohoku University)

Keywords: steelmaking slag, utilization, phosphorus, recycling

Steelmaking slag is produced at multi-million-ton annual scale and has long been consumed as aggregate for civil works. As these outlets level off, a utilization-first approach is needed. The aim is to deploy slag as a functional material in real environments and to recover valuable elements in forms that fit internal recycling. This paper summarizes progress along two connected directions: field applications in coastal and agricultural settings, and circular recovery with phosphorus (P) as a representative case. In coastal waters, phase-conditioned slag can act as a slow-release source of Ca, Si, Fe, and trace nutrients that are often limiting. Laboratory and field observations indicate stimulation of primary productivity, enhancement of macroalgal habitat, and immobilization of reduced sulfur species under hypoxic conditions. Practical deployment requires management of the initial pH rise that follows alkali release. Site-specific hydrodynamics and local permitting also matter. Modular block forms support safe handling, placement, and monitoring. In paddy cultivation, slags engineered through controlled basicity and glass-to-crystal ratios supply plant-available silica and micronutrients while buffering soil chemistry. Reported benefits include improved plant robustness and stable yields. Design levers for both environments include mineral and glass proportions, target basicity, iron valence control, and particle size. These parameters govern dissolution kinetics, nutrient availability, and operational safety. For resource circularity, the work focuses on the C_2S–C_3P solid solution where P concentrates in basic oxygen furnace slags. A selective “leach–precipitate–recycle” loop is implemented. Preconditioning increases the accessibility of P-rich domains. A weak-acid leach dissolves P with high selectivity while iron largely remains in the solid matrix. Raising pH precipitates phosphate that is suitable for downstream use. The residue is upgraded in total iron and depleted in P_2O_5, which supports internal circulation to ironmaking and steelmaking and reduces net slag discharge. Laboratory results show P extraction above 90% from phase-tailored slags with negligible Fe dissolution. Overall P recovery exceeds 80% after precipitation. Because the lixiviant is mild and the neutralization step is controlled, reagent consumption is restrained and impurity uptake in the phosphate product is limited. Design principles couple slag thermodynamics, microstructure control, and solution chemistry. The goals are to concentrate P into accessible domains, to tune particle size for diffusion and filtration, and to operate within a kinetic window that dissolves the target phase while passivating the matrix. Scale-up considerations include continuous solid–liquid handling, mitigation of filter fouling, capture of fines, and integration with plant water circuits. A brief comparison with magnetic separation, flotation or centrifugation, and high-temperature reduction clarifies trade-offs in energy demand, capital intensity, and product purity. Purpose-designed field uses combined with a low-acid, high-selectivity recovery loop provide a practical path to broaden slag utilization and to advance circular metallurgy.

[철강A3-3 | 14:50]

철강 슬래그의 LCA 관점 환경 영향 평가: 이윤모(현대제철), 박광호, 황용우(인하대학교), 이종협*(현대제철)

Keywords: 철강슬래그, LCA, 환경영향

철강 생산 과정에서 다량으로 발생하는 슬래그는 시멘트, 골재 등 타 산업 분야에서 유용한 부산물로 활용되고 있다. LCA 수행 절차에 따르면 타 산업에 유용하게 활용되는 부산물은 일반 제품과 유사하게 환경 영향을 할당(allocation) 받게 된다. 부산물 할당에 관한 방법론은 LCA에서 지속적으로 논의되고 있는 주제로 최근 탄소 중립 이슈와 관련하여 세부 지침 수립에 대한 요구가 커지고 있는 상황이다. 그러나, 국내에서는 철강 슬래그 재활용에 따른 환경 영향 평가에 대한 연구가 부족하여 합리적인 할당 세부 지침을 수립하기 위한 사례 연구가 필요한 상황이다. 본 연구에서는 철강 슬래그의 실제 활용 사례를 기반으로 물리적/경제적 할당, 에너지 기반 할당, 시스템 확장을 통한 환경 영향 평가를 각각 수행하여 비교 평가하였다. 이를 위해 온실가스 배출 원단위 지표를 기준으로 철강 공정에서 발생하는 고로/제강 슬래그의 용도별 재활용 흐름 분석, 단계별 온실가스 배출량을 도출하였다. 또한 기존 대체품과의 성능차 보정을 실시하여 철강 부산물의 시스템 확장을 적용한 합리적인 환경 영향 산정 방법을 제시하고자 하였다.

[철강A3-4 | 15:05]

철강 슬래그 기반 복합소재 강화재 응용 가능성에 관한 연구: 정은진*(포항산업과학연구원)

Keywords: 슬래그, 철강부산물, 장섬유, 고부가화, 자원순환

국내 철강산업의 확장과 함께 철강 슬래그 및 폐내화물과 같은 다양한 산업 부산물이 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 대한 자원순환 및 고부가가치화 방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 이들 부산물은 「자원순환기본법」 및 「폐기물관리법」 등의 규제 하에 시멘트 원료, 도로용 노반재, 토목·건축용 골재, 규산질 비료 등과 같은 저부가가치 용도로 대부분 활용되고 있다. 그러나 순환경제 실현 및 산업 부산물의 고부가화라는 시대적 요구에 따라, 철강 슬래그의 기능성 소재로의 전환 가능성에 대한 연구가 활발히

이루어지고 있다. 본 연구는 철강 슬래그를 원료로 활용하여 복합소재용 고강도재로 적용 가능한 무기 장섬유의 제조 가능성을 평가하는 데 목적이 있다. 특히, 기존의 바잘트 섬유는 우수한 기계적 물성(높은 인장강도), 고온 단열성, 내식성 등의 특성을 바탕으로 항공우주, 자동차, 건축 등 다양한 분야에서 복합재료의 보강섬유로 활용되고 있으나, 원료인 현무암의 지역적 편재성과 높은 생산비용 등으로 인해 활용 확대에 한계가 존재한다. 이에 본 연구는 슬래그를 기반으로 한 대체 보강섬유의 제조 가능성을 검토하고, 이를 복합재료의 강화재로 적용하기 위한 물리적·화학적 특성 및 섬유화 공정 적합성을 단계적으로 분석하였다. 분석 결과, 슬래그는 유리섬유 및 바잘트 섬유에 준하는 조성 및 열적 특성을 일부 보유하고 있으며, 적절한 조성 조절과 공정 조건의 제어를 통해 복합재료용 장섬유로의 응용 가능성을 확인하였다. 슬래그 기반 장섬유는 산업 부산물의 자원순환 및 고부가가치 활용이라는 측면에서 환경적·경제적 이점을 제공할 뿐 아니라, 복합재료 산업에서 지속 가능한 대체 보강재로서의 잠재력을 지닌다. 본 연구는 향후 슬래그 기반 고기능성 복합소재 개발 및 상용화를 위한 기초 연구로서 활용코자 한다.

[철강A3-5 | 15:20]

전기로 제강 공정 중 Recycled Cement Paste 활용을 통한 온실가스 배출 저감 기술 개발 기초연구: 윤누가, 이준호*(고려대학교)

Keywords: 전기로 제강 공정, CO2 저감, Recycled Cement Paste, S 함유량

현재 전기로 제강산업에서는 원가 절감과 온실가스 배출 저감, 그리고 순환자원 활용을 통한 지속 가능한 생산 체계 구축이 중요한 과제로 요구되고 있다. 폐콘크리트에서 골재를 분리한 시멘트 페이스트(Recycled Cement Paste, RCP)는 CaO와 SiO_2 등의 산화물로 구성되어 있으며, 높은 염기도를 가져 제강공정에서 석회석을 대체할 수 있는 플럭스로 활용 가능성이 제시되고 있다. 특히 RCP는 석회석($CaCO_3$) 대비 CO_2 배출량이 현저히 적어 경제적, 환경적 측면에서 모두 유리한 재활용 자원으로 평가된다. 그러나 시멘트 제조 과정에서 응결 지연제로 사용되는 석고에 포함된 황산염 성분은 제강공정에서 용강 내 황 함량을 증가시켜 품질 저하, 내구성 감소, 설비 부식 등 부정적인 영향을 초래할 수 있다. 이에 따라 RCP를 플럭스로 활용하기 위해서는 최종 제품의 황 함량이 허용기준을 충족하는지 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 DSC-Mass를 사용하여 석회석을 RCP로 대체했을 때 전기로 제강 슬래그로부터의 아황산가스(SO_2) 방출 거동을 분석하고, 이를 통해 RCP 첨가가 용강 내 황의 pick-up에 미치는 영향을 평가하였다. 본 결과는 향후 건설 폐자재의 제강 플럭스 재활용을 위한 기초 자료로 활용될 예정이다.

[철강A4-1 | 15:40]

유동로를 이용한 수소환원용 철광석의 탈수에 의한 광석 조직 변화: 명다빈, 김은주, 서인국, 이준호*(고려대학교)

Keywords: 적철광, 갈철광, 혼합광, 미세조직, 환원속도

국내에서 개발 중인 수소환원기술은 유동로를 사용하여 저품위의 분철광석을 직접 활용할수 있는 특징을 갖고 있다. 저품위 광석은 고품위 광석과 달리 낮은 Fe함량과 높은 맥석함량, 그리고 높은 goethite 함량을 특징으로 하며, 이로 인해 열처리시 미세조직의 변화가 크게 발생한다. 이러한 미세조직의 변화는 유동환원 공정에서 환원율 및 환원속도에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 본 연구에서는 세 가지 광석(입도 2~4 mm의 적철광, 혼합광, 갈철광)을 사용하여 열처리 후 미세조직의 변화를 XRD Rietveld, OM, SEM 및 수은법을 이용해 측정 평가하였다. 또한, 열처리 후 원료를 84% H_2-16% CO 혼합 가스 분위기, 1073 K에서 환원실험을 진행하였다. 적철광의 경우 주로 치밀한 hematite 조직으로 구성된 반면, 혼합광은 다공성 martite 조직과 goethite가 혼재되어 있었으며. 갈철광은 hematite가 goethite를 감싸고 있는 pisolitic 구조로 되어 있었다. 열처리 후 goethite함량이 높을수록 미세기공이 더욱 발달하는 것을 확인할 수 있었는데, 적철광은 goethie가 주로 입자의 바깥쪽에 위치하여 열처리 후 미세조직의 변화가 거의 없는 반면, 갈철광은 견고한 hematite중심으로 goethite조직에 크랙이 많이 발생한 것을 볼 수 있었다. 환원실험에서는 전체적으로 세 광석 모두 98% 이상의 높은 환원율을 보였으며, 화학반응 율속의 특징을 나타냈다. 환원속도는 갈철광 > 혼합광 > 적철광의 순으로 goethite함량이 증가할수록 증가하였다. 이러한 결과는 반응 비표면적 증가로 설명될 수 있었다. 본 연구결과는 유동환원로를 이용한 수소환원 기술 개발에서 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

[철강A4-2 | 15:55]

Fe의 침탄 반응속도에 미치는 CO-H_2-CH_4 혼합가스 조성 및 온도의 영향성 평가 : 조다한, 김영재*(인하대학교), 이유빈, 이동수(현대제철)

Keywords: 직접환원철, 침탄, 반응 속도론, 계면 반응, 율속 단계

전세계 철강 산업에서는 CO_2 배출 저감을 위해 DRI(Direct Reduced Iron)와 HBI(Hot Briquetted Iron)의 활용이 꾸준히 증가하고 있다. DRI 생산 과정에서는 CO, H_2, CH_4 가스에 의한 철광석 환원과 동시에 침탄이 진행되며, 이는 DRI의 융점을 낮춰 후속 제강 공정에서의 에너지 효율 향상과 공정 안정성 확보에 중요한 역할을 한다. 현재 상용화된 DRI 제조 공정은 대표적으로 Energiron 공정과 Midrex 공정으로 구분된다. 전자는 약 1273 K 이상의 고온, 고압 조건에서 침탄을 진행하며, 후자의 경우 약 1173 K 이하의 온도에서 이루어진다. 이러한 공정 조건의 차이는 침탄 수준과 속도에 직접적인 영향을 미치므로, 최적의 에너지 사용과 공정 시간 단축을 위해 체계적인 비교 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 1073 K 와 1273 K, 두 온도 조건에서 CO-H_2-CH_4 혼합가스 조성 변화에 따른 Fe의 침탄 거동을 평가하였다. 이를 위해 수소 환원 후의 Fe_2O_3 tablet과 두께 100 μm iron foil 시편을 사용하여 열중량분석(TGA)을 수행하였다. 얇은 Foil 시편은 내부 확산 지배 영향을 배제하고 계면 반응 속도를 산출하기 위해 사용하였으며, 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 carbon/sulfur 분석과 광학현미경 관찰을 병행하여 탄소 농도와 미세조직 변화를 확인하였다. 또한, tablet 시편을 이용한 3차원 형상 침탄 실험을 통해 가스 조성에 따른 침탄 속도가 foil과 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 해당 결과가 실제 공정 적용이 가능함을 의미한다. 실험 결과, 1073 K에서는 CH_4를 통한 침탄 반응이 원활하지 않아 CO가 주요 탄소 공급원으로 작용하였다. 이는 저온에서 CH_4의 C–H 결합이 분해되는 열분해(cracking) 반응이 원활하게 진행되지 않기 때문으로 판단된다. 반면, 1273 K에서는 CH_4의 계면 반응 속도가 CO 대비 약 3배 이상 빠르게 진행

되는 것으로 측정되었다. 특히 tablet 시편에서는 높은 CH_4 조성에서 매우 빠른 탄소 석출과 함께 시료의 구조가 붕괴되는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 CH_4의 빠른 계면 반응 및 높은 탄소 활동도 조건에서 탄화물(Carbide) 형성이 급격히 진행되면서 발생한 내부 응력에 기인하여 형성된 미세 입자에서 탄소가 집중적으로 석출된 결과로 판단된다. 이러한 현상은 실제 공정에서 유동 장애, 공정 안정성 등에 부정적인 영향을 초래할 수 있으므로 추후 안정성 확보를 위해 dust 억제 방안에 대한 연구가 필요하다.

[철강A4-3 | 16:10]

제강 슬래그 내 Al_2O_3 입자 크기 및 슬래그 조성에 따른 Al_2O_3 용해 거동 연구: 곽태준, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: 제강 슬래그, 제련, 비금속 개재물, Al_2O_3 용해, Al_2O_3 크기 효과

Al_2O_3 개재물은 노즐 클로깅 및 제품의 피로 파괴 등 여러 문제를 유발하므로, 제강 슬래그에서의 용해 거동 연구는 중요하다. 본 연구에서는 CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO 슬래그를 대상으로 Al_2O_3 입자의 초기 반경, 슬래그 염기도 및 Al_2O_3 함량을 변수로 하여 1550°C에서 용해 거동을 조사하였다. Al_2O_3 함량이 10 wt%인 슬래그에서는 용해가 연속적으로 진행되었으며, shrinking core model 분석 결과 입자 크기가 작을수록 용해 제어 단계가 경계층 확산에서 표면 화학 반응으로 전환되는 것으로 해석되었다. 반경이 약 10 μm인 입자는 슬래그 조성의 영향을 거의 받지 않았으나, 25 μm 이상에서는 슬래그 조성에 따라 용해 시간이 크게 달라졌다. 초기 반경과 완전 용해 시간의 관계를 shrinking core model에 기반하여 모델링 하였으며, 이를 통해 Al_2O_3 용해의 확산 계수를 산출하였다. 한편, Al_2O_3 함량이 20wt%인 슬래그에서는 스피넬 형성과 슬래그 침투로 인해 불연속적이고 복잡한 거동이 관찰되었으며, 완전 용해 시간은 10wt% 슬래그에 비해 최대 225배까지 증가했다.

[철강A4-4 | 16:25]

Al 탈산 Ti-첨가 페라이트계 스테인리스강 내 비금속 개재물의 진화 거동: 정동율(한양대학교), 박성진, 강수창(POSCO 기술연구소), 박주현*(한양대학교)

Keywords: 페라이트계 스테인리스강, 알루미늄 탈산, 타이타늄, 비금속 개재물, CaF_2

고-Cr 및 Ti-함유 페라이트계 스테인리스강(Ti-FSS)은 다른 강종들에 비해 우수한 내식성과 성형성을 가지는 동시에 냉연판의 높은 청정도가 요구된다. 특히 VOD와 래들정련(LT) 공정에서 Al 탈산 최적화 등을 통해 Ti-함유 FSS의 청정도가 향상되어왔지만, 합금철 투입 이후 슬래그-용강 반응 등 다양한 요인으로 인해 용강 내 Ti 실수율과 비금속 개재물의 형성 또는 제거 거동의 변동폭이 크다는 문제점이 여전히 남아있다. 게다가, Ti 합금철 투입 이후 용강 내 형성된 TiN과 $Mg(Al,Ti)_2O_4$ spinel-type 개재물은 노즐 막힘과 최종 제품의 표면 결함을 유발한다. 따라서, 비금속 개재물 제거율이 우수한 슬래그를 설계하고 VOD 공정에서 탈산 공정을 최적화할 필요가 있다. 이에 따라, Ti-FSS 용강과 VOD 슬래그 사이 반응에서, 슬래그의 TiO_2와 CaF_2 함량 또는 용강의 Al과 Ti 투입 조건을 변화시키면서 Ti-FSS 용강 내 Ti 실수율과 용강 내 비금속 개재물의 진화거동과 단위면적당 개재물 수(number density)를 확인하였다. 슬래그의 TiO_2 함량이 증가함에 따라 용강 내 Ti 실수율이 증가하였으며 Ti 첨가 후 비금속 개재물의 평균 Ti_2O_3 함량이 증가하였고, Al/Ti 투입 비율 증가 시 용강 내 Ti 실수율이 증가하였다. 또한, Al/Ti 투입 비율 증가함에 따라 슬래그로부터 Mg pick-up이 증가하여 비금속 개재물의 MgO 함량이 증가하였고, 그 결과, spinel-type 개재물이 MgO 개재물로 개질 됨을 확인하였다. 마지막으로, 슬래그 내 CaF_2 함량이 증가하면 슬래그 점도가 감소하면서 용강 내 비금속 개재물들이 슬래그로 용해되는데 소요되는 시간이 감소하였고, 이로 인해 용강 내 비금속 개재물의 단위면적당 개재물 수가 감소하였다.

[철강A4-5 | 16:40]

연속주조 공정조건 변화가 몰드 내 용강유동 패턴에 미치는 영향: 박정섭, 신재원, 김나영, 조성묵*(부경대학교)

Keywords: 철강, 연속주조, 슬라브, 몰드, 유동패턴

철강 연속주조 몰드 내 용강유동은 침지노즐 토출각, 몰드 형상, 주조속도, 아르곤가스 주입 등 공정조건에 의해 민감하게 변화하며, 다양한 결함 발생과 관련한 현상을 유발시킬 수 있다. 공정 조건 조합에 따라 single-roll, double-roll, unstable 유동 패턴을 형성하는데, 적절하게 제어되지 못한 유동패턴은 높은 탕면 유속 및 슬래그/용강 계면 불안정 현상, 노즐 근방의 vortex 유동 현상을 야기하여 용강 내 슬래그 혼입 문제를 발생시키거나, 탕면 유동 정체 현상에 따른 메니스커스 과냉 및 초기응고 후크 조직 생성 문제를 야기할 수 있다. 이러한 몰드내 유동 패턴과 관련한 문제들은 최종 생산품에 품질 저하를 일으키는 결함으로 이어질 수 있기에 결함을 저감할 수 있는 최적의 공정 조건 조합을 찾는 것은 매우 중요한 공정 이슈이다. 본 발표에서는 랩스케일 수모델 실험을 통해 연속주조 몰드 유동에 영향을 미치는 공정 조건 변화에 의한 몰드 내 유동패턴, 탕면 유속 및 탕면 슬래그/용강 계면 거동 변화를 분석하고 안정적인 몰드 유동 패턴 조성을 위한 공정조건에 대해 고찰하고자 한다.

[철강A4-6 | 16:55]

열간 상태에서의 실시간 성분 측정을 통한 혼탕부 판별 기술 개발: 김혜주, 신종대, 김종연*(현대제철연구소)

Keywords: Different steel grade continuous-continuous casting, Mixed bloom, steel

연속주조 공정에서는 회수율 향상과 조업 절차 간소화를 위해 다른 성분계의 강종을 연속해서 주조하는 이강종연연주 공법이 활용되고 있다. 하지만 이강종연연주 공법으로 주편 생산 시 화학성분이 다른 용강이 섞이는 혼탕부가 발생하게 되어, 혼탕부로 추정되는 영역 혹은 그 이상의 길이를 절단하여 스크랩 처리하고 있다. 이는 회수율을 저하시키는 요인 중 하나이므로, 제품의 성분 기준을 만족하는 범위내에서 혼탕부 스크랩 양을 저감하는 활동이 필요하다. 현재 당사에서는 열간 상태의 주편 성분을 실시간으로 측정하여 이강종연연주 시 발생하는 혼탕부를 명확히 인지하고 절단함으로써 반제품 loss를 개선하고자 한다. 해당 설비 활용시 Si, Mn을 포함한 다양한 성분 분석이 가능하며, 원소별 정합성 검증을 위해 다양한 성분계의 강종을 대상으로 성분 측정 데이터를 수집하

였다. 그리고 열간 상태에서의 주편 성분 측정 데이터와 턴디쉬에서 채취한 용강 샘플의 OES 성분 측정 데이터를 비교·분석하였다. 향후 선/후행 강종의 Heat boundary를 기준으로 실시간 측정된 전/후 주편의 성분 데이터를 활용하여, 혼탕부 평가 및 예측을 통해 작업자에게 절단 위치 가이던스를 제공하고자 한다.
이 연구는 2022~25년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. ([과제명] 70ton 이상급 전기로 제강공정에 적용 가능한 데이터 기반 전력 투입효율 최적화 기술 개발, [과제번호] 00155555)

[철강A5-1 | 17:10]
Thermodynamics of smelting reduction of low-grade Kazakhstan manganese ore for the production of low-phosphorus FeSiMn alloy: Yesmurat Myngzhassar, Min Joo Lee, Joo Hyun Park*(Hanyang Univ.)
Keywords: Manganese ore, Manganese slag, Smelting reduction, Viscosity, FeSiMn alloy

The work investigates the smelting reduction of low-grade (i.e., high-phosphorous and siliceous, and iron-rich) manganese ores from Kazakhstan natural mines deposit, which were not previously used in ferroalloy production due to the relatively high content of Fe, Si and P. In the present study, the thermodynamic calculations for high temperature smelting reduction and thus enrichment of Si and Mn in ferroalloys were performed using the FactSage thermochemical computing software. The calculation was carried out for a mixture of two kinds of poor manganese ores (from different mine deposit) in order to obtain low-P manganese slag, which is suitable for the use as the main charge feedstock in the smelting production of low-P FeSiMn alloy. It was found that reducing the proportion of iron-rich ore in the raw material mixture increases the concentration of silicon and reduces the concentration of iron, which necessitates the addition of iron chips or scrap. During thermodynamic calculations, the influence of temperature as well as various input ratio of solid carbon (as reducing agent) and CaO (as fluxing agent) per 100 g of raw materials mixture on the equilibrium compositions of ferroalloy and slag was determined. With insufficient carbon addition, FeO is retained in the slag, while excess carbon leads to the reduction of manganese into the alloy phase. An increase in the CaO content leads to a decrease in the SiO_2 content in the slag. In addition, with an increase in CaO, the P_2O_5 content in the slag gradually increased, but even at maximum values it remained within acceptable limits. With an excess of CaO, the manganese content in the slag decreases below 30w%, which is unsuitable for producing a low-P FeSiMn alloy. It was also found that at optimal charge consumption, an increase in temperature above 1500°C leads to a decrease in slag viscosity by less than 0.1 Pa·s. These thermodynamic calculations were confirmed through the high temperature smelting reduction test in the laboratory scale experiments.

[철강A5-2 | 17:25]
Effect of Process Parameters on Fluidization and Agglomeration Behavior of Iron Ore Fines: Dereje Degefa Geleta, In-Kook Suh, Joonho Lee*(Korea University)
Keywords: agglomeration and defluidization, DEM-CFD, direct reduction, fluidized bed, iron ore fines, multiphase flow

A novel direct reduction process of iron ore fines in a hydrogen-based fluidized bed reactor has great advantages in achieving carbon neutrality, removing the pretreatment process such as pelletizing and expanding the variation of iron ores grades. However, the sticking and agglomeration of the iron ore fines may happen, resulting in defluidization. Eventually, these affect the required high reduction rate and the stable process operation of the reactor. In this work, the effect of process parameters on the fluidization and sticking-agglomeration behavior of the iron ore fines in a fluidized bed reactor is examined using a coupled DEM–CFD simulation. Different fluidizing gases such as H_2, CO, and 70% H_2 - 30% CH_4 are considered at superficial inlet gas velocities ranging from 1 to 2.5 m/s at 873.15 to 1073.15 K. In each case, 30,000 particles with a diameter range of 75 - 150 μm are employed. The present model is validated with an experimental result from the literature. The results demonstrate that higher gas viscosity and velocity enhance fluidization. Moreover, the increment of temperature results in the increment of gas viscosity and a slight decrease of the surface energy of the reduced iron, enhancing the tendency of fluidization of iron ore fines. Therefore, to tackle the sticking and agglomeration of iron ore fines, considering the physical properties of the reducing gases and the iron ore fines is necessary, along with optimizing the relevant process parameters.

[철강A5-3 | 17:40]
고로 내 환원 가스 조성에 따른 슬래그 Wettability **영향 연구**: 박준범, 오한상, 권재홍(현대제철 연구소), 신현우, 강영조*(동아대학교), 이종협*(현대제철 연구소)
Keywords: 제선, 슬래그, 코크스, 젖음성

최근 고품위 철광석 고갈 심화 및 맥석 함량 증가는 고로 장입 원료의 성분 범위가 큰 폭으로 변동하게 하였다. 이로 인해 출선 슬래그의 고온 물리화학적 특성, 특히 유동성은 고로 조업 효율 및 안정성에 결정적인 영향을 미치게 된다. 따라서, 원료 품질 변화에 따른 고로 내 환원 가스 조성이 슬래그-코크스 계면 반응에 미치는 영향을 분석하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 고로 출선 슬래그 조성을 바탕으로 1,500 ℃에서 환원 가스 조성(CO농도)이 슬래그-코크스 젖음성(Wettability)에 미치는 영향을 Sessile Drop 방법으로 평가하였다. 실험 결과, CO가스 농도가 증가하여도 슬래그-코크스 접촉각에는 유의미한 변화가 관찰되지 않았다. 이는 고로 내 CO 고농도 영역에서 슬래그-코크스 계면이 비젖음(Non-wetting)상태를 유지하며, CO 저농도 영역에서는 젖음(Wetting) 상태가 형성될 가능성을 시사한다.

[철강A5-4 | 17:55]

전기로 조업 개선을 위한 용강레벨 측정 시스템 구축 및 활용: 김보호, 최원진, 김종연(현대제철연구소)

Keywords: 전기로

일반적으로 전기로 공정은 조업 내 다양한 변수에 대한 실시간 대응을 작업자 경험 기반으로 운영하므로 조업에 대한 표준화가 어렵고 이로 인하여 작업자별 노하우에 따른 조업 편차가 발생한다. 특히 전기로 로내 용강량의 경우 전기로 생산 효율에 상당한 영향을 미치지만 용강레벨 및 로내 용강량을 측정할 수 있는 계측장치가 없어 전기로 조업 관리 및 표준화가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 온도/산소 측정 설비를 개조하여 용강레벨 측정 전용 프로브를 로내 직투입 하는 방식으로 용강레벨 데이터를 확보할 수 있는 시스템을 구축하였다. 또한 3D 스캐너를 활용하여 전기로 내화물 보수 전/후 로체 내용적을 실측함으로써 로체 사용 횟수에 따른 내화물 침식을 고려한 내용적 변화를 도식화하고 부피를 환산함으로써 용강레벨 및 로체 사용 횟수에 따른 로내 용강량 데이터를 확보하였다. 이후 측정 데이터 기반으로 용강레벨의 높낮이에 따른 전력 및 산소 투입 효율의 상관성을 분석하였고 이를 활용하여 작업자에게 최적 용강레벨 조업 기준을 제공하고자 한다. 이 연구는 2022~25년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. ([과제명] 70ton 이상급 전기로 제강공정에 적용 가능한 데이터 기반 전력 투입효율 최적화 기술 개발, [과제번호] 00155555)

나노융합 특별세션

Room 4층 컨벤션1, 10월 29일

[특별1-1 | 14:00] 초청강연

Spin-selective transport through chiral ferromagnetic nanohelices: Young Keun Kim(Korea University)

Chiral crystals with well-defined handedness in atomic arrangements exhibit intriguing properties such as spin selectivity, asymmetric magnetoresistance, and skyrmions. Although similar geometry-induced phenomena in chiral organic molecule-based systems were observed, synthesizing uniform inorganic nanostructures with desired chirality using a scalable method remains challenging. We electrochemically synthesized chiral ferromagnetic cobalt-iron nanohelices from nanoparticles in anodized aluminum oxide templates. The spiral directions and the number of strands were regulated by incorporating chiral molecules and applying an appropriate potential. We demonstrate the observation of Faraday's law of induction at the nanoscale and how chiral nanohelices regulated the electron flow direction. The implications of our findings extend to the technological realm, with the chirality and ferromagnetism-based spin-tunable devices.

NEW-HORIZON: 소재 융합연구의 혁신을 위한 AI-모델링-실험 연계 심포지엄

Room 4층 컨벤션1, 10월 29일

[소재AI1-1 | 14:30] 초청강연

Liquid Metal-Assisted CVD as a General Strategy for Unlocking Quasi-Stable Phases in Transition Metal Phosphides: Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

Keywords: metastable, crystal growth, transition metal phosphides, liquid metal-assisted CVD, electrocatalysis

Metastable materials offer a versatile platform for realizing emergent properties and unattainable functionalities in thermodynamically stable phases, such as diamond and the 1T' phases of MoS_2. Among these, transition metal phosphides (TMPs) have emerged as particularly promising candidates due to their exceptional catalytic activity and tunable physical properties. However, the synthesis and stabilization of metastable TMP phases at ambient conditions remain a formidable challenge, as these materials inherently tend to revert to their thermodynamic ground states, and conventional methods predominantly yield polycrystalline products or favor stable phases. Here, we present a liquid metal-assisted chemical vapor deposition (CVD) approach using liquid gallium as a growth medium to achieve single crystals of TMPs, including both thermodynamically stable (MoP) and metastable (Mo_4P_3) phases. The high surface energy of liquid Ga promotes Mo diffusion from a foil precursor, enabling controlled reaction with phosphorus vapor to yield phase-pure products. Precise control over synthesis temperature produces distinct MoP morphologies: nanoplates enriched with (0001) facets and pillar structures dominated by (10-10) facets. Electrochemical analysis reveals that MoP pillars exhibit superior catalytic performance in the two-electron oxygen reduction reaction, achieving over 92% selectivity for H_2O_2 production with sustained Faradaic efficiency (>90%) over 80 hours. Density functional theory calculations elucidate that enhanced performance arises from reduced OOH intermediate adsorption on specific facets, highlighting the critical role of facet engineering. Extending this approach, we demonstrate synthesis of high-quality metastable Mo_4P_3 single crystals, previously inaccessible due to limited synthetic strategies. This generalizable strategy unlocks access to metastable TMP phases with unique electronic and catalytic properties, enabling detailed structure–property correlations and rational design of next-generation catalysts for sustainable energy conversion, chemical manufacturing, and environmental applications.

[소재AI1-2 | 14:55] 초청강연

Atomistic modelling of electrochemical Ag exsolution from Ag-doped Li6PS5Cl: Park Haesun*(중앙대학교)

Keywords: All-solid-state-batteries, Exsolution

Silver plays a critical role in enabling uniform lithium plating in anode-less solid-state batteries, typically through direct incorporation into the current collector. In this work, we propose an alternative strategy based on electrochemical exsolution, where Ag emerges from the solid electrolyte via pores and grain boundaries and deposits along the interface, filling available voids and establishing continuous contact that promotes uniform lithium plating. In this presentation, I introduce the thermodynamic and kinetic landscape of Ag exsolution from Ag-doped Li6PS5Cl using density functional theory (DFT) and ab initio molecular dynamics (AIMD) simulations. Within the grand potential framework, we estimate an exsolution voltage of ~1.97 V, in close agreement with the experimentally observed onset of Ag reduction. AIMD simulations reveal that Ag+ migrates through the argyrodite lattice via intra- and inter-cage Li-ion diffusion pathways, while the PS4 framework remains structurally intact. To explain the experimentally observed localization of metallic Ag along grain boundaries, we computed the electronic structures of two low-energy grain boundary models. Both exhibit reduced bandgaps relative to the bulk, suggesting enhanced electronic accessibility that may facilitate site-selective Ag+ reduction and nucleation. These findings establish a coherent atomistic picture of Ag exsolution, shaped by the interplay of Ag reduction thermodynamics, ion mobility, and local electronic structure, and offer a framework for interpreting interfacial behavior in complex solid-state battery materials.

[소재AI1-3 | 15:20] 초청강연

Phase changing oxides for neuromorphic computing: PARK TAEJOON*(Korea University)

Keywords: Phase changing oxides, Metal-Insulator transition, Neuromorphic computing

As traditional semiconductor scaling based on Moore's law reaches its physical limits, the exploration of new materials to enhance computing capabilities has become essential. Phase changing oxides, such as perovskite nickelates ($ReNiO_3$), are promising candidates for this purpose due to their unique ability to undergo metal-to-insulator transitions. These phase transitions make them highly suitable for developing neuromorphic computing devices that emulate brain-like functionality. In this presentation, I will introduce a novel approach to bridging the gap between artificial intelligence hardware and the human brain, focusing on the synthesis of phase changing oxides, their structural and electronic characterization, and their integration into functional devices. These findings demonstrate the significant potential of phase changing oxides in revolutionizing neuromorphic hardware design.

[소재AI2-1 | 15:55] 초청강연

Coupling phase-field methods with CALPHAD stoichiometric and limited soluble phases: 김동욱, 김성균, 장형욱, 조휘재, 차필령*(국민대학교)

Keywords: phase-field model, stoichiometric phase, aluminum, solidification

The phase-field method is widely regarded as an effective tool for simulating meso-scale material phenomena due to its strong interface tracking capabilities and minimal computational cost. By incorporating the equal diffusion potential condition and anti-trapping currents, it reduces numerical artifacts associated with diffusive interfaces. However, challenges remain in accurately modeling stoichiometric phases, as the point-wise free energy often lacks sufficient composition dependencies, requiring artificial composition variations. This study develops a more efficient phase-field model to address these issues, extending the relaxation-based equal diffusion potential condition to stoichiometric compounds and phases with limited solubility. By refining this framework, we improve the accuracy and efficiency of phase-field simulations across a broader range of materials, advancing the method's ability to predict meso-scale material behaviors in complex systems.

[소재AI2-2 | 16:20] 초청강연

Applications of Thermodynamic Modeling: From Pure Element to Multi-component Alloys: DongEung Kim*(한국생산기술연구원)

Keywords: Thermodynamic, Modeling, Pure element, Multi-component alloys

Thermodynamic modeling has evolved from empirical phase diagram construction to a rigorous, data-driven foundation for modern materials design. This talk provides an overview of the historical development of thermodynamic modeling, with a particular focus on the CALPHAD (CALculation of PHAse Diagrams) approach and its role in alloy design and phase stability prediction. The presentation outlines how thermodynamic modeling has progressed from unary system to multi-component systems, powered by advances in software such as Thermo-Calc and the thermodynamic databases (e.g., SGTE). This talk highlights two case studies: (1) a pure aluminum system, focusing on the optimization of Gibbs energy functions including Cp, enthalpy, and entropy fitting using PARROT modules, and (2) a Ni-Cr-Nb-C high-temperature alloy system, emphasizing the modeling of intermetallic phases (δ, μ, and Laves) and ternary/quaternary interaction parameters.

[소재AI2-3 | 16:45] 초청강연

Computational Design and Analysis of DNA-based Nanostructures: Lee Chanseok*(Hanyang University)

Keywords: DNA nanotechnology, DNA origami, self-assembly, computer-aided design

DNA origami nanotechnology is a technique for constructing nanoscale structures with precisely defined shapes and functions. In this approach, a long single-stranded DNA serves as a scaffold, while many short oligonucleotides, referred to as "staples," are programmed with complementary sequences to exclusively bind to specific regions of the scaffold. The hybridization between the scaffold and staples occurs spontaneously in aqueous solution through self-assembly, enabling the formation of complex three-dimensional architectures. As the final structure is determined entirely by the programmed base sequences, the design of these sequences is a critical step for achieving the desired structural outcome. Given that DNA origami typically employs scaffolds longer than 7,000 nucleotides, manual sequence design is impractical. Consequently, there has been a strong and continuous demand for computer-aided design (CAD) tools and computational modeling methods since the early stages of the field. The computational design workflow for DNA nanostructures can broadly be divided into two main components: (i) shape design tools that facilitate the arrangement of helices and crossovers and generate the corresponding staple sequences, and (ii) physics-based simulation tools that predict and evaluate the geometry, function, and mechanical properties of the assembled structures. A representative shape design tool is "Cadnano," which allows users to manually draw and configure structures in a virtual CAD environment. Also, "CanDo" is a finite element analysis–based simulation platform that enables rapid evaluation of predicted mechanical properties and global deformations. With technological advancements, algorithm-driven automated shape design tools have emerged, enabling the generation of complete staple sets for a given target geometry without manual intervention. Parallel developments in simulation have led to the adoption of coarse-grained molecular dynamics models such as oxDNA and SNUPI, which capture not only the structural conformation of DNA nanostructures but also their dynamic behavior in solution. Recently, the field has begun integrating state-of-the-art machine learning and generative modeling techniques, inspired by advances in protein engineering. Diffusion model–based generative approaches, which have demonstrated remarkable success in de novo protein design, are now being adapted to DNA nanotechnology. These models are capable of producing physically plausible DNA origami designs directly from target geometries, while incorporating sequence routing, folding pathway considerations, and stability predictions within the same computational framework. Such developments promise to greatly expand the accessible design space, streamline the design-to-experiment pipeline, and enable the realization of sophisticated and reconfigurable DNA nanostructures with applications in nanomedicine, molecular robotics, and functional materials. In this presentation, an overview of these computational design methodologies will be provided

[소재AI3-1 | 17:20] 초청강연

Accelerating Structure Search with Machine Learning Interatomic Potentials: Se Hun Joo(Sookmyung Women's University)

Keywords: Random Structure Search, Machine Learning Interatomic Potential, Materials Discovery

The discovery of advanced materials is crucial for next-generation technologies. However, traditional experimental methods are time-consuming and costly. As a promising computational approach for materials discovery without any prior knowledge, ab initio random structure searching (AIRSS) has gained considerable attention. For large and complex systems, however, it remains computationally demanding. To address this, we present here an approach that combines AIRSS with ephemeral data-derived potential (EDDP), a machine-learned interatomic potential. It enables rapid and accurate computation of energy landscapes for extensive structure explorations. We discuss our iterative training scheme for EDDP using small unit cells over various stoichiometries. In testing different systems, we were able to easily rediscover the known polymorphs. Additionally, EDDP-based structure searches can significantly reduce computation costs. Our work demonstrates that combining AIRSS with EDDP provides an efficient and powerful strategy for accelerating materials discovery.

[소재AI3-2 | 17:45] 초청강연

Adaptive In-Sensor Vision: Synaptic Phototransistors for Precise Contour Extraction: Moon Kee Choi*(UNIST)

Keywords: In-sensor vision, synaptic phototransistor, neuromorphic image sensor

Robotic and edge vision systems face fundamental challenges in simultaneously achieving high image clarity, real-time responsiveness, and energy-efficient data processing under dynamically changing illumination. We introduce an innovative in-sensor image processing strategy that enables multilevel brightness and contrast adjustment for high-clarity contour extraction, realized through biologically inspired adjustable synaptic phototransistors. These devices emulate dopamine-mediated excitability regulation in neural synapses via gate-tunable electrostatic control over time-dependent photocurrent accumulation. By modulating the gate bias, the device selectively enhances either dim or bright image regions in-sensor, enabling dual-mode imaging under varied lighting environments (e.g., sunny and cloudy conditions). This hardware-level adjustment yields contour-extracted images with superior definition and drastically reduces data load for transmission and inference. Using real-world road scenes and deep learning–based semantic segmentation, we demonstrate improvements in global accuracy (~86.7%) and data compression (~91.8%) without relying on post-capture image processing. Our findings highlight a scalable and energy-efficient vision architecture for next-generation autonomous and wearable imaging platforms.

소프트소재
Room 4층 컨벤션2, 10월 29일

[소프트1-1 | 09:20]
Transparent PEDOT:PSS/MXene Thin-Film Heater with Improved Conductivity via Trifluoroacetic Acid Doping: Ju Jihwan, Jeong Beomjin*(Pusan National Univ.)
Keywords: MXene, PEDOT:PSS, TFA, TFH

MXene is an emerging two-dimensional material for electronic and thermal applications, including heaters, owing to its exceptional electrical conductivity, mechanical robustness, and versatile surface chemistry. However, its intrinsic flake-like morphology hinders the fabrication of transparent, uniform thin films via simple techniques such as spin coating, and its conductivity deteriorates markedly as the film thickness decreases. In this study, we developed a transparent, uniform composite thin-film heater by blending MXene with PEDOT:PSS through a one-step spin-coating process. Subsequent trifluoroacetic acid treatment effectively doped the polymer chains, thereby enhancing their electrical conductivity. Moreover, micropatterning of the PEDOT:PSS/MXene film confined charge transport pathways, resulting in a substantial improvement in Joule heating efficiency. This strategy offers a facile and scalable route for high-performance transparent electrodes, expanding the application potential of MXene-based materials in advanced electronics and thermal management systems.

[소프트1-2 | 09:35] Canceled
Bioinspired dynamically adaptive soft composites: 강성훈*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)
Keywords: self-adaptive, damage-mitigating, soft composites

Adaptability is one of the hallmarks of living systems that provide resilience to survive and flourish in a dynamically changing environment. I will present our efforts to study synthetic self-adaptive materials that can change their mechanical properties depending on loading conditions by the coupling between stress and material synthesis inspired by bone [1]. Nature produces outstanding materials for structural applications, such as bone and wood, that can adapt to their surrounding environment. For instance, bone regulates mineral quantity proportional to the amount of stress. It becomes stronger in locations subjected to higher mechanical loads. This capability leads to the formation of mechanically efficient structures for optimal biomechanical and energy-efficient performance. However, it has been challenging for synthetic materials to change and adapt their structures and properties to address the changing loading conditions. To address the challenge, we are inspired by the findings that bones are formed by mineralizing ions from blood onto collagen matrices. I will present a material system that triggers proportional mineral deposition from electrolytes on piezoelectric matrices upon mechanical loadings so that it can self-adapt to mechanical loadings. For example, the mineralization rate could be modulated by controlling the loading condition, and a 30-180% increase in the modulus of the material was observed upon cyclic loadings whose range and rate of the property change could be modulated by varying the loading condition. I will also present our approach to design and synthesize reprogrammable self-folding materials by spatial and temporal control of the applied loading [2]. Our findings can contribute to new strategies for designing and synthesizing materials for dynamically changing mechanical environments, with potential applications in tissue engineering with minimum stress shielding effects and healing time, and increased lifetime of implants, as well as vehicles and infrastructures with improved resilience [3]. [References] [1] S. Orrego, Z. Chen, U. Krekora, D. Hou, S.-Y Jeon, M. Pittman, C. Montoya, Y. Chen, S. H. Kang, “Bioinspired materials with self-adaptable mechanical properties,” Advanced Materials, 32, 1906970 (2020). [2] B. Sun, G. Kitchen, D. He, D. K. Malu, J. Ding, Y. Huang, A. Eisape, M. M. Omar, Y. Hu, S. H. Kang, “A material dynamically enhancing both load-bearing and energy dissipation capability under cyclic loading,” Science Advances, 11, eadt3979 (2025. [3] G. Kitchen, B. Sun, S. H. Kang, “Bioinspired Nanocomposites with Self-Adaptive Mechanical Properties,” Nano Research, 17, 633 (2024).

NEW-HORIZON: 웨어러블 소프트 소재 심포지엄

Room 4층 컨벤션2, 10월 29일

[웨어러블1-1 | 10:00] 초청강연

Molecularly Architected Soft Materials for Flexible and Wearable Batteries: Seok Ju Kang*(UNIST)

Keywords: Solid Polymer Electrolyte (SPE), Contorted Hexabenzocoronene (cHBC), Hybrid Anode, Flexible Batteries, Soft Materials

The rapid growth of wearable electronics and soft robotics demands energy storage systems that combine high energy density with mechanical compliance, light weight, and safety under repeated deformation. Conventional lithium-ion batteries (LIBs), however, are limited by electrode brittleness and liquid electrolyte instability, restricting their applicability in flexible and wearable formats. To address these challenges, we propose a molecularly architected soft-materials strategy that integrates advanced solid polymer electrolytes (SPEs) with organic–inorganic hybrid anodes. Our first approach utilizes a fluoropolymer-based SPE fabricated via a horizontal centrifugal method, enabling large-area, uniform electrolyte films. These SPEs deliver enhanced ionic conductivity and excellent thermal and mechanical stability, thereby reducing risks of cracking or delamination during repeated bending. In parallel, we developed hybrid anodes by incorporating contorted hexabenzocoronene (cHBC) derivatives into commercial mesocarbon microbead (MCMB) graphite. The unique molecular geometry of cHBC promotes homogeneous dispersion within the MCMB graphite matrix, yielding synergistic electrochemical performance with high-rate capability and extended cycle life. By integrating the tailored SPE with the cHBC/MCMB graphite hybrid anode, we establish a unified materials platform that simultaneously ensures efficient ion transport, mechanical adaptability, and structural integrity. These findings highlight the central role of molecular-level design in enabling reliable and flexible LIBs for next-generation wearable applications.

[웨어러블1-2 | 10:25] 초청강연

Soft Liquid-Metal Neural Interfaces for Precision Neural Stimulation and Recording: Jang-Ung Park(Yonsei University)

advancements in optoelectronic devices for wearable bioelectronics demand superior mechanical deformability to enable versatile applications in daily life. In parallel, rapid progress in neurotechnology has made it possible to establish bidirectional communication between the nervous system and engineered devices. This capability is crucial for precise recording and stimulation of specific target neurons, unlocking revolutionary medical applications such as diagnosing and treating neurological disorders. Thus, a thorough understanding of the electronic devices and their biological interfaces is essential. This talk introduces fundamental concepts of neural signaling, recording, and stimulation, leading to the development of advanced neural interfaces integrated with wearable electronic systems. We will discuss key material considerations, focusing on the unique properties of liquid metals—especially Ga-based liquid metal alloys—that are highly biocompatible and offer low modulus, minimizing tissue damage upon implantation. High-resolution 3D printing of these materials enables the fabrication of precise neural interfaces for measuring neural signals and delivering electrical stimulation to specific neural targets. In this talk, we will present results from recent studies demonstrating the stimulation of neural tissues such as the retina, brain, and spinal cord using these liquid metal interfaces. Finally, we will address the challenges and future directions for next-generation neural interfaces, highlighting how innovative materials and fabrication techniques may shape the future of neurotechnology.

[웨어러블1-3 | 10:50] 초청강연

Strategic Regulation of Mobile Ions Toward Soft Neuromorphic Computing Devices: 정범진(부산대학교)

Soft neuromorphic computing devices are attracting growing attention as core enablers of human-compatible physical artificial intelligence (AI). Among them, soft artificial synapses are essential for sensing human information, processing and storing data, and enabling learning and adaptation. Ionic–electronic soft materials, whose conductance can be quantitatively tuned by electrical pulses, are particularly promising; however, the stochastic dynamics of mobile ions often hinder precise emulation of synaptic functions. To overcome this limitation, we propose ferroelectricity as an effective strategy to regulate ion transport with high precision, thereby imparting accurate conductance tunability to a wide range of ionic–electronic material systems, including halide perovskites, conducting polymers, MXenes, and carbon nanotubes. In this work, we employ polymeric ferroelectrics – offering facile processability and excellent compatibility with soft devices – in diverse device architectures such as 3-terminal gated transistors (vertical and lateral) and 2-terminal memory elements (diodes and resistive memories). We suggest that soft ferroelectric materials hold great potential as a key building block for the realization of future physical AI.

[웨어러블1-4 | 11:15] 초청강연

Biomimetic Fully Soft Synaptic Electronics: From Devices to Integrated Systems: 심현석*(Pusan National University)

Keywords: Soft materials, synaptic transistors, soft electronic systems

Synapses are unique biological junctions that transmit electrical or chemical signals, enabling communication between neurons. In

living organisms, synapses are inherently soft and capable of enduring various mechanical deformations. To emulate such properties, artificial synaptic transistors that combine mechanical stretchability with robust synaptic functionality are essential for seamless integration into soft electronic and bioinspired systems. Unlike conventional neuromorphic devices constrained by rigid or brittle architectures, soft synaptic transistors offer the ability to preserve neurological functions under strain, thereby opening pathways for adaptive bioelectronics and soft robotics. In this presentation, we introduce our recent efforts on developing soft materials and advancing their application from individual soft synaptic devices to integrated systems. First, we demonstrate soft synaptic transistors constructed from fully stretchable materials, including conductors, semiconductors, and dielectrics, showing that soft engineering systems can be enabled with essential neurological functions even under large mechanical strains. Next, we present a cascaded neuromorphic device structure designed for precise control of synaptic weights, and further demonstrate a neuromorphic imager based on this architecture. Finally, the design of soft synaptic transistors through engineering of soft semiconductors and conductors will be presented, along with an artificial neuromorphic visualizer skin that memorizes tactile stimuli and translates them into visual signals. Collectively, these studies highlight the potential of soft synaptic transistors as universal building blocks for neurologically integrated soft machines, bioelectronic therapies, and next-generation adaptive interfaces.

[웨어러블2-1 | 14:00] 조청강연

Soft, Resorbable Bioelectronics: Suk-Won HWANG(KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University,Department of Integrative Energy Engineering, Korea University)

An ultimate goal of a conventional silicon-based integrated system is its capability to last forever without any malfunction and physical deformation, in almost any practical uses. Recent works demonstrate a new class of electronics that has the opposite behavior -- it physically dissolves or disappears in water, environment or biofluids, in a controlled fashion, at predefined times or on demand and with programmed rates. This type of 'transient' technology opens up completely new application opportunities for electronic devices in areas, such as implantable medical devices that exist for medically useful timeframes but then dissolve and disappear completely by resorption into the body. This talk summarizes recent works on bioresorbable electronic systems with mechanically soft, deformable platforms, ranging from fundamental chemistry of the key materials, to development of various components and systems for biosensors, to in vivo evaluations for biocompatibility and potential applications. [1] Jang et al., Science Advances 10, eadp9818 (2024) [2] Ko et al., Advanced Functional Materials 34, 2403427 (2024) [3] Kaveti et al., Advanced Materials 36, 2307391 (2024) [4] Han et al., Nature Communications 14, 2263 (2023). [5] Han et al., ACS Nano 17, 14822 (2023).

[웨어러블2-2 | 14:25] 조청강연

Hybrid Skin Sensor Patch for Event-Driven Monitoring of Bio-Signals with Long-Term Skin Comfort: Juhee Kim(Korea Institute of Science and Technology,Seoul National University), Seongjin Park, Wonseop Hwang(Korea Institute of Science and Technology), Sangha Kim, Rhokyun Kwak(Hanyang University), In-Suk Choi(Seoul National University) ,Hyunjung Yi(Korea Institute of Science and Technology,YU-KIST)

On-skin electronic devices that can detect bio-signals and convert them to electrical signals have attracted increasing interest over the last decade in the fields of digital healthcare, personalized medicine, human-machine interfaces, and smart prosthetics. A wireless electronic skin (E-skin) sensor system makes it convenient for a user to perform daily activities while monitoring the bio-signals. For long-term monitoring of bio-signals, a skin comfort of an E-skin is of paramount importance. Moreover, because wireless data transmission can consume a significant amount of energy, the energy consumption becomes non-negligible when the E-skin sensor operates for a long time. In this talk, our approaches to realize a hybrid E-skin patch with great skin comfort and energy efficiency will be presented. In our first E-skin system, a Kagome-based mechanical metastructure made of breathable, stretchable medical adhesive is integrated with wireless sensor system containing non-stretchable or stiff components and devices, and tethered to the skin. This tethered hybrid scheme allows for both the breathability and mechanical comfort of skin. A wireless skin sensor system to sense electrocardiogram (ECG) signals and wirelessly transmit ECG signals in an event-driven manner such as sending R peaks only is developed on a polyimide-based flexible printed circuit board. The Kagome metastructure-tethered wireless ECG sensor patch does not cause significant skin discomfort when worn for five days, and successfully enables the event-driven wireless transmission of ECG signals. In the second E-skin system, an epifluidic E-skin that can monitor the epidermal sweat dynamics and encode the key necessary information on sweat dynamics such as sweat rate and ionic conductivity into a significantly reduced number of data points is introduced. The epifluidic E-skin that integrates a fluidic sweat sensor with a wireless sensing system is demonstrated to enable monitoring of epidermal sweat dynamics in an event-driven manner for energy-efficient wireless monitoring of epidermal sweat dynamics. We envision that our facile and versatile approach expands the type of materials and functionalities of E-skin for digital healthcare, personalized medicine, and smart prosthetics with emerging functionalities. References (Times New Roman, 11 point-bold, Line Height 1.5) [1] S. Kim^{+}, S. Park^{+}, J. Choi^{+}, W. Hwang^{+}, S. Kim, I.-S. Choi, H. Yi*, and R. Kwak*, "An epifluidic electronic patch with spiking sweat clearance for event-driven perspiration monitoring", Nat. Commun., 13:6705, 2022. [2] W. Hwang^{+}, H. Kim^{+}, S. Park, T.-H. Kang, S. Kim, K. Lee, M.-G. Lee, E. Kwak, I.-S. Choi*, and H. Yi*, "A breathable and stretchable metastructure for a versatile hybrid electronic skin patch with long-term skin comfort", Adv. Mater. Technol. Vol. 8, 2200477, 2023

[웨어러블2-3 | 14:50] 초청강연

Imaging sensors with soft materials for intelligent robotics: Young Min Song*(KAIST)

Keywords: Image sensors, flexible electronics, bioinspiration, optic components

In the field of robotics, particularly aimed at enabling robots to autonomously navigate and seamlessly collaborate with humans, the significance of unconventional imaging techniques, efficient data processing capabilities, and the integration of soft materials is paramount. The dynamic array of environments encountered by robots, along with the multitude of tasks they are assigned, presents numerous challenges that necessitate diverse visual functionalities. Consequently, the development of multifunctional robotic vision systems has become indispensable. The rich diversity inherent in the vision systems of animals, honed over evolutionary epochs to meet their survival demands across varied habitats, serves as a profound source of inspiration for designing sophisticated vision systems tailored for robotic platforms with complex missions in unstructured environments. This talk summarizes recent advances in cutting-edge multifunctional robotic vision systems, drawing inspiration from the distinctive characteristics of natural ocular structures, with a particular focus on bio-inspired electronic eyes and the enabling role of soft materials in creating flexible, adaptive, and human-compatible devices.

[웨어러블2-4 | 15:15] 초청강연

Smart Wearable Devices for Anti-Biofouling Functions, Mechanical Computing, and Thermal Management: Bong Hoon Kim (DGIST)

We introduce a smart wearable device that concurrently integrates anti-biofouling functionality, mechanical computing capability, and advanced thermal management. By combining these distinct yet complementary attributes, the device offers a multifunctional platform that addresses critical challenges in wearable systems, including surface contamination, autonomous information processing, and thermal regulation, thereby advancing the scope of next-generation bio-integrated electronics. First, we present a simple method to protect the epidermis from pathogen adhesion and proliferation by directly modifying its surface with mussel-inspired dopamine. Biocompatible polydopamine (PDA) can be uniformly applied to various organic surfaces, providing stable and versatile anti-biofouling properties. PDA-modified epidermis shows strong antibacterial and anti-adsorption effects, which are further enhanced when combined with the antibiotic tobramycin. This approach offers promising applications in medical patches and skin-attached devices to prevent infections. In addition, we also introduce a new mechanical computing system that actively modulates light signals through reversible deformation by combining soft materials with 3D electronics. Optical fibers with engineered 3D cracks embedded in a stretchable material enable strain-induced transitions, serving as active components for logic operations. The system successfully performs complex calculations, validates truth tables, and provides multifunctional vibration sensing. These results highlight its potential for scalable, dynamic applications in fields such as soft robotics. Lastly, we investigate wearable devices for solar heating and radiative cooling using mechanically guided 3D architectures. By applying uniaxial strain, the devices can switch between heating and cooling modes, achieving dual-mode thermal management across different scales. They demonstrate high performance, reaching 59.5 °C in heating and −11.9 °C in cooling, with applicability to various surfaces such as skin, glass, and metals. These results highlight the potential of dual-mode actuation for efficient, adaptable energy management.

[웨어러블3-1 | 16:05] 초청강연

Emerging classes of organic luminescent materials for next-generation OLEDs: Hwan-Hee Cho(Yonsei University)

In this talk, recent advances that can boost organic light-emitting diode (OLED) performance will be presented. First, hyperfluorescence has been proposed as a promising contemporary solution for next-generation organic light-emitting diodes (OLEDs), offering the potential to simultaneously achieve high efficiency, stability, brightness, and color purity in OLED displays. In the recent study, near 100% internal quantum efficiency was achieved from a two-component matrix-free hyperfluorescence with deep and pure blue emission for the first time by combining efficient nondoped TADF materials and ultranarrow deep blue emitters with covalent encapsulation for suppressing Dexter transfer. This result is a significant step towards substantially improved blue OLED performance, potentially resolving or minimizing burn-in in OLED displays. Second, the development of luminescent organic radicals has led to excellent spin and optical properties for efficient near-infrared (NIR) emission. In this talk, the recent research results on high-performing doublet fluorescent NIR OLEDs exploiting energy transfer design of nonradical host:radical guest systems will be presented. Highly efficient NIR emission beyond 800 nm based on doublet fluorescence is demonstrated by reversible triplet-doublet energy transfer achieved by energy resonance of host triplets and radical doublets. As the doublet energy level of a tris(2,4,6-trichlorophenyl)methyl (TTM)-based radical emitter is energy-matched to the triplet state of an anthracene-based nonradical host, host triplet excitons are efficiently harvested by reversible triplet-doublet energy transfer. The new energy transfer design boosts performance in radical-based OLEDs and has broad implications for reducing nonradiative losses in devices beyond light-emitting applications with NIR light. Lastly, recent groundbreaking results on circularly polarized (CP)-OLEDs will be introduced. Based on supramolecular assembly, unprecedentedly high dissymmetry values of >10% with up to 16% external quantum efficiency were demonstrated in green electroluminescence. This result shows that organic chiral materials may become a game-changer to dramatically enhance the performance of OLED displays. References 1. Cho, H.-H. et al. Nat. Mater., 23, 519–526 (2024) 2. Cho, H.-H. et al. Adv. Mater., 35, 2303666 (2023) 3. Cho, H.-H. et al. Nat. Photonics, 18, 905–912 (2024) 4. R. Chowdhury, M. D. Preuss, H.-H. Cho et al, Science, 387, 1175–1181 (2025)

[웨어러블3-2 | 16:30] 초청강연

Unlocking the Power of Supramolecular Chemistry in Soft Materials Design: 강지형(서울대학교 자연과학대학 화학부)

Over the last two decades, supramolecular chemistry has seen remarkable advancements and has emerged as a powerful tool for designing dynamic materials. While its impact is well recognized in related research fields, its full potential in solid-state soft materials remains underexplored. Our group has been working to unlock the potential of supramolecular chemistry in soft materials. In this presentation, I will discuss our insights and approaches to developing mechanically robust polymer networks and polymer composites. In the first part, I will focus on the rational design principles of polymer networks crosslinked by supramolecular interactions to create high-performance elastomers with exceptional stretchability, toughness, and self-healing capabilities. Additionally, I will introduce a novel type of 3D printing photoresin for additive manufacturing applications. In the second part, I will highlight new assembly methods for integrating nanomaterials into polymer matrices, a critical aspect of maximizing the properties of both components. Two examples will be presented: (1) the acoustic assembly of liquid metal droplets in a polymer matrix to achieve rubber-like elastic conductors, and (2) template-directed assembly of conductive polymers within hydrogel matrices to develop tissue-like bioelectrode materials. Throughout the presentation, I will discuss not only the design of these materials but also their unique applications, showcasing how supramolecular chemistry can drive innovation in soft materials. References: Nature Energy, In press; Nature Communications 14, 5026 (2023); Nature Communications 14, 2206 (2023); Nature Communications 14, 5026 (2023); Science 378, 637 (2022)

[웨어러블3-3 | 16:55] 초청강연

Dynamic Colors on Soft Platforms: Emulsion-Driven Block Copolymer Photonics for Wearables: Kanghee Ku*(UNIST)

Keywords: block copolymers, structural color, soft photonics

Diblock copolymer (dBCP) particles capable of dynamic shape and color transformations are emerging as versatile building blocks for next-generation soft photonic materials. Their inherent ability to self-assemble into complex nanostructures enables programmable morphologies and tunable structural colors without relying on conventional dyes. In this talk, I will introduce a unified emulsion-driven strategy for constructing photonic dBCP particles, encompassing both angle-independent porous architectures and highly ordered lamellar structures with long-range optical periodicity. By tailoring molecular parameters, interfacial conditions, and solvent-driven phase separation, we achieve precise control over structural color responses, including reversible modulation under physiologically relevant stimuli such as pH, ionic strength, and mechanical deformation. These responsive colloids not only expand the design space of block copolymer assemblies but also highlight their potential as wearable photonic sensors, smart coatings, and colorimetric platforms for real-time feedback in soft technologies.

[웨어러블3-4 | 17:20] 초청강연

Flexible and Stretchable Artificial Synapses for Wearable Sensory Neuromorphic Displays: Tae-Woo Lee*(Seoul National University)

Multifunctional displays are emerging as essential platforms for wearable electronics that interface with the human body by extracting bio-signals and providing visual feedback. Biological nerves naturally process complex information in real time through event-driven and parallel operations, whereas conventional von Neumann architectures are limited by their rigid, bulky design, which hinders wearable applications. Neuromorphic displays, which integrate neuromorphic devices emulating biological nerves with light-emitting elements, can directly process signals and deliver instantaneous visual output; however, mismatched driving conditions between neuromorphic devices and conventional LEDs underscore the need for a simplified architecture that unifies synaptic processing and visualization within a single device. This requirement is particularly critical for wearable neuromorphic displays, which must combine low-voltage operation, portability, and mechanical flexibility for skin-conformal use. Here, we introduce flexible and stretchable neuromorphic organic transistor displays (NOTDs) that emulate the integration-and-firing functions of biological nerves while simultaneously producing light emission. IGOST-based artificial nervous systems provide low-voltage operation and biologically realistic synaptic plasticity, which have already enabled soft robotics, bio-hybrid nerves, and even coordinated bipedal movements in animal models. By embedding organic light-emitting transistor-based light-emission functionality directly into IGOSTs, we realize NOTDs that do not require external amplifiers or complex multilayer device architectures even with multifunctionality. These intelligent displays achieve efficient signal processing, wide emission zones, and portable operation under ultralow voltages, thereby merging neuro-inspired processing and visual output into a single platform. Envisioning forward, such integrated NOTDs will serve as a foundation for next-generation wearable and bio-hybrid systems that seamlessly combine sensing, synaptic processing, and full display functionality, ultimately enabling intuitive human–machine interaction and advanced neuroprosthetic visualization.

비철금속
Room 4층 컨벤션3, 10월 29일

[비철1-1 | 09:00]
NCM계 폐리튬이온 배터리에서 회수한 Black Mass의 CO 분위기 환원 거동: 이상엽, 황재호, 이소영, 손호상*(경북대학교)
Keywords: NCM, Li2CO3, CO, 환원, Li회수

현재 전기자동차 시장은 캐즘 현상으로 인해 성장 정체를 겪고 있으나, 장기적으로 전기자동차 보급 확대는 불가피하다. 따라서 사용 후 폐배터리 발생량의 증가가 예상되고, 이의 효율적인 재활용 및 자원 회수 공정의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 특히, 희소금속인 Li, Ni, Co의 원자재 공급의 한계가 부각되면서 폐배터리로부터의 자원 회수가 필수적인 과제로 대두되고 있다. 배터리 리사이클링은 원자재 수급 안정성과 환경적 지속 가능성을 확보하는 핵심 기술로, 경제적?환경적 측면에서 필수적인 연구 분야로 자리 잡고 있다. 본 연구에서는 산업 공정에서 발생하는 CO 가스를 활용하여 폐 NCM계 배터리의 black mass를 환원하여, Li과 나머지 유가 금속을 효율적으로 분리 회수하는 방법에 관하여 고찰하였다. Ar-CO 혼합 가스 분위기로 제어하여 수직관상로에서 환원에 미치는 온도의 영향을 조사하였다. 환원한 시료는 증류수로 수침출하여 Li과 나머지 유가 금속을 분리 회수하였다. Li 함유 수용액에서 회수한 Li 화합물과 침출 잔사는 XRD 및 ICP 분석을 통해 생성상을 확인하고 순도를 평가하였다. 400 ºC 이상의 환원 온도부터 Li2CO3가 생성되었으며, 500 ºC 이상에서는 NiO 및 CoO가 금속상으로 환원되면서 시료의 무게 감소가 관찰되었다. 환원된 시료를 수침출하여 약 99% 순도의 Li_2CO_3를 회수할 수 있었으며, 침출 잔사에는 금속상의 Ni과 Co 및 미확인된 Mn 산화물이 존재하였다.

[비철1-2 | 09:15]
폐인쇄회로기판의 유해물질 무배출 건식 재활용 공정에 관한 연구: 이해철*, 이지환, 하태형(태형물산(주)), 김태균(태형리싸이클링(주))
Keywords: 폐인쇄회로기판, 건식 재활용, 유가금속 회수

전 세계적으로 전자폐기물의 발생량이 2022년 기준 6,200만톤 발생하였고 휴대폰, 노트북 등 전자기기의 교체 주기가 짧아짐에 따라 매년 260만톤 증가하여 2030년에는 8,200만톤이 발생될 것으로 예상된다. 전자폐기물 재활용 시장은 함유된 자원의 시장적 가치 증가로부터 지속적인 시장 성장이 예측된다. 특히, 전자폐기물 중 폐인쇄회로기판은 유가금속이 포함되어 이를 효율적으로 회수할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 본 연구에서는 친환경적인 건식 재활용 공정을 활용하여 폐인쇄회로기판 내 유가금속 회수에 관한 연구를 진행하였다. 물리적 전처리(파쇄-선별)된 폐인쇄회로기판 파쇄물을 간접가열회전식 소성로를 통해 유기물을 제거하고 열분해된 유해가스는 2차 연소시스템과 스크러버 및 집진시설을 통해서 유해물질이 무배출되도록 설계하였다. 소성처리된 원료는 고주파유도로 용해하여 유가금속이 함유된 주괴를 제작하였으며, 주괴로부터 유용자원을 제품화하기위한 공정을 연구하였다.

[비철1-3 | 09:30]
MgO으로부터 Mg – Al 합금 직접 제조를 위한 Al 음극 이용 신전해법 개발: 심충용, 강정신*(서울대학교)
Keywords: magnesium oxide, lightweight cathode, magnesium – aluminum alloy, molten salt, electrolysis

최근 기존 Mg 금속 제련법의 단점을 해결하고자 고밀도 금속 음극을 이용한 MgO의 용융염 전해법이 연구되고 있다. 본 연구에서는 Al 금속을 이용하는 경량 음극 기반의 신 용융염 전해법을 개발하여, MgO으로부터 Mg – Al 합금을 직접 제조하고자 하였다. 전해는 Ar 분위기 내 1053 – 1133 K에서 MgF_2 – LiF – CaF_2 용융염을 사용하였으며, Al 음극 및 C 양극을 이용하여 0.318 A/cm^2의 전류 밀도로 2.5 – 7.5시간 실시하였다. 전해 후 생성물은 모든 조건에서 Mg_2Al_3와 Al (Mg)로 구성된 합금이었으며 전해온도와 합금 내 Mg 함량에 따른 전류효율 평가결과, 1053 K에서 얻어진 14.2 mass% Mg – Al 합금 제조 시 전류효율이 91.6 %에 달했다. 따라서, 본 Al 음극을 이용한 신전해법이 MgO으로부터 Mg – Al 합금을 직접 생산하는 데 효과적임을 알 수 있다.

[비철1-4 | 09:45]
Mg – Zn 합금을 이용한 스테인리스강으로부터 선택적 니켈 회수: 이준혁, 강정신*(서울대학교)
Keywords: magnesium, magnesium – zinc alloy, nickel, stainless steel, vacuum distillation, selective recovery

니켈 (Ni)은 철 (Fe)에 크롬 (Cr)과 함께 첨가되어 스테인리스강 (STS) 제조에 주로 이용되지만, 이차전지 산업의 성장으로 배터리용 Ni 수요가 급격히 증가하고 있다. 본 연구에서는 폐 스테인리스강 (STS)으로부터 액체 금속을 사용한 추출 및 진공증류를 통해 Ni을 선택적으로 회수하기 위한 신공정을 개발하였다. 추출을 위해 953 K의 Ar 분위기에서 마그네슘 (Mg) 또는 Mg – 아연 (Zn) 합금을 두께 150 μm의 STS과 12 시간 동안 반응하였다. 실험 후 회수한 잔사 분석 시 Mg을 사용한 경우 시편 양면에서 Ni 추출이 약 5 μm 깊이까지 진행되었으며 Mg – Zn를 사용한 경우 전체 두께에 걸쳐 Ni이 추출되었다. Mg – Zn와 반응 후 시편의 Ni 농도는 초기 10 mass%에서 0 – 1.16 mass%로 감소하였으며, 다공질 미세조직이 형성되었으나 Fe와 Cr의 농도는 거의 변하지 않았다. 또한, 모의 Mg – Zn – Ni 합금을 1173 K에서 12 시간 진공증류하여 합금으로부터 Ni을 분리 회수하였다. 따라서, Mg – Zn을 사용한 추출 및 진공증류를 통해 폐 STS로부터 선택적 Ni 회수가 효과적임을 입증하였다.

[비철1-5 | 10:00]

메테인 가스에 의한 용융 조동의 탈산반응의 속도론적 해석과 반응 거동 고찰: 이소영(경북대학교,서울대학교), 강정신(서울대학교), 손호상*(경북대학교)

Keywords: 조동, 탈산, 반응속도론, 메테인, 활성화에너지

용융 조동의 건식정제 공정에서는 환원가스로 천연가스를 이용한 탈산이 수행되며, 이 과정에서 용동 내 산소농도를 일정수준 이하로 빠르게 낮추는 것이 중요하다. 본 연구에서는 천연가스의 주성분인 메테인(CH_4)을 용융 조동에 버블링하여 탈산반응을 반응 속도론적으로 해석하였으며, 탈산에 수반되는 반응 및 물질이동과정을 조사하였다. 또한 탈산반응 속도에 미치는 반응 온도, 전체가스의 유량 그리고 CH_4 – Ar 혼합가스에서 CH_4의 분압의 영향을 분석하였다. 그 결과 가스 유량이 1.5×10^{-5} $m^3\cdot s^{-1}$ 이상일 때 유량의 영향은 미미하였으며, 반응 온도가 높을수록, CH_4 분압이 높을수록 탈산 속도가 증가하였다. 한편, CH_4 열분해의 활성화에너지가 높고 용동 중 산소가 CH_4의 분해를 촉진할 수 있다는 점에서 반응의 단계를 기상경계층에서 CH_4의 물질이동, 액상경계층에서 O의 물질이동, 계면에서 용동 중 산소에 의해 촉진된 CH_4의 분해, 계면에서 분해생성물 (C (s)와 H_2 (g))에 의한 탈산반응으로 구분하였다. 각 단계를 율속단계로 가정한 반응속도식을 도출하여 분석한 결과 산소농도가 빠르게 감소하는 반응 초기에는 CH_4의 분해반응이 율속단계임을 확인하였다. 또한, 1423 – 1523 K 범위에서 겉보기 속도상수의 온도 의존성으로부터 도출된 본 반응의 겉보기 활성화에너지는 183.1 kJ/mol로 계산되었다.

[비철2-1 | 10:25]

저온 용사 가스 분사 조건이 구리 적층재의 밀도, 전도도 및 알루미늄과의 접합강도에 미치는 영향: 안지영, 김형준, 김규낙(한국재료연구원), 조현욱(SHKOREA), 최돈현(현대모비스), 민경문(한국재료연구원), 박성혁*(경북대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

Keywords: Copper, Aluminium, Cold Spray, Dynamic Recrystallization, EBSD

구리-알루미늄 이종접합 소재는 우수한 비강도와 전도도를 가지고 있어 차세대 버스바 및 방열판에 사용된다. 구리-알루미늄 접합은 주로 클래딩 및 오버레이 용접 공정으로 제조되는데, 이들은 복잡한 형상에 적용하기 어렵고 산화가 쉬우며 미세조직이 불균일한 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해, 금속 분말을 상온에서 초음속으로 분사하여 산화를 최소화하고 원하는 표면에 분말을 고르게 적층할 수 있는 저온 용사 공정을 이용해 이종접합 소재를 제조하고자 하였다. 본 연구에서는 가스 온도 500 ~ 1,000°C 및 가스 압력 45, 50 Bar 조건에서 알루미늄 기판에 구리 분말을 적층하였으며, 이에 따른 물성과 미세조직을 분석하였다. 가스 온도와 압력이 증가할수록 구리 적층재의 상대밀도와 전도도가 증가했으며, 50 Bar, 1,000ºC 조건에서 상대밀도 98%, 전기전도도 98 %IACS 그리고 열전도도 384 W/m·k로 순동에 가까운 물성을 나타냈다. XRD와 EBSD 분석 결과, 이는 높은 가스 온도와 압력에서 구리 적층재의 동적 재결정 비율이 증가해 전위밀도가 낮아지고 내부 결함이 감소했기 때문인 것으로 나타났다. 또한 50 Bar, 800°C 이상의 조건에서 적층된 구리는 알루미늄과 60 MPa 이상의 우수한 접합강도를 나타냈는데, 이는 저온 용사 과정에서 구리-알루미늄 계면에 금속간화합물이 생성되었기 때문인 것으로 분석되었다. 결론적으로, 본 연구에서는 후열처리 없이 저온 용사 공정만으로 순동의 물성과 유사한 구리 적층재를 알루미늄 표면에 안정하게 형성시킬 수 있었다.

[비철2-2 | 10:40]

Cu-Ni-Si-Co 합금의 열간가공성 향상에 미치는 Cr, Sn 첨가 영향: 황지인, 정현우, 박준상, 최은애, 한승전*(한국재료연구원)

Keywords: Cu alloy, Cu-Ni-Si-Co alloy, Hot rolling, Zener pinning

Cu-Ni-Si-Co 합금은 석출경화형 동합금의 대표적인 계열인 콜슨계(Cu-Ni-Si) 합금에서 일부 Ni을 Co로 치환한 합금이다. Ni을 Co로 대체할 경우, 미세한 석출물이 다량 형성되어 강도와 전기전도도가 동시에 향상되지만, 열처리 과정 중 결정립의 조대화가 쉽게 일어나 열간압연 중 크랙 발생 우려가 존재한다. 따라서, Co 첨가에 따른 물성 향상은 유지하면서도 결정립 조대화를 억제할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서 Cu-Ni-Si-Co 합금에 Cr과 Sn을 첨가하여 결정립 성장 억제 및 입자 형성에 미치는 영향을 조사하였다. 대기 주조 후 대기 분위기의 로에서 950°C, 2시간 유지한 뒤 50% 압하율로 열간압연을 실시하였다. Cu-Ni-Si-Co 합금에서는 열간압연 도중 사이드 크랙이 발생하였으며, 열간 크랙은 주로 조대한 결정립의 결정립계를 따라 전파되는 것으로 나타났다. Cu-Ni-Si-Co-Cr-Sn 합금의 경우 열간 크랙이 발생하지 않았는데, 결정립계에 수십~수백 나노미터 크기의 $(Ni,Co)_2Si$ 금속간화합물이 관찰됨을 확인하였다. 결정립계에 존재하는 다량의 금속간화합물들이 열간압연 시 Zener pinning 효과에 의해 결정립 성장 억제 효과를 준 것으로 판단되며, Cr, Sn 첨가에 의한 열간가공성 향상 효과를 미세 조직 관찰과 분석을 통해 확인하였다.

[비철2-3 | 10:55]

시효 조건에 따른 Cu-Ni-Si 합금의 석출 거동 및 전기적, 기계적 특성 변화 분석: 장정아(경상국립대학교), 김규낙(경상국립대학교,한국재료연구원), 안지혁(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교)

Keywords: Cu-Ni-Si 합금, 시효 열처리, 불연속 석출, 활성화에너지

Cu-Ni-Si 합금은 시효처리 시 연속 석출물과 불연속 석출물이 형성되며, 특히 불연속 석출물 형성 시 강도 대비 높은 전기전도도를 얻을 수 있다. 연속 석출물에 대한 연구는 활발히 이루어진 반면, 불연속 석출물의 분포와 성장거동에 대한 연구는 상대적으로 부족하다. 본 연구에서는 Cu-4.5Ni-0.95Si, Cu-6Ni-1.26Si 합금의 불연속 석출 거동을 시효 온도 및 시간을 달리하여 분석하였다. 대기 주조 후 50 % 열간압연 및 용체화 처리(980 ºC, 1 h)를 거친 합금을 각각 500 ºC, 525 ºC, 550 ºC에서 20분부터 최대 300분 동안 시효처리 후 관찰한 미세조직을 바탕으로 전기전도도와 비커스 경도 변화를 분석하였다. 그 결과 500 ºC, 525 ºC, 550 ºC에서 시효한 조건 모두에서 과시효에 따른 라멜라 구조의 δ-Ni_2Si 불연속 석출물이 형성됨을 확인하였고, 불연속 석출물의 성장에 따라 전기전도도는 증가하고 비커스 경도는 점차 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 불연속 석출물의 성장 kinetic 분석을 통

해 시효 온도가 증가할수록 불연속 석출물의 형성 및 성장 속도가 가속화되는 것을 확인하였으며, 이를 바탕으로 DP의 입계 확산 활성화 에너지 Q를 정량화하였다. 본 연구를 통해 새로운 조성의 Cu-4.5Ni-0.95Si 합금 및 Cu-6Ni-1.26Si 합금의 불연속 석출 거동을 분석할 수 있었으며, 향후 Cu-Ni-Si 합금의 열처리 조건 선정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[비철2-4 | 11:10]

Cu-Ni-Si(-Mn) 합금의 냉간 압연 특성에 미치는 불균일 핵생성 상의 영향: 정현우, 신지용(부산대학교,한국재료연구원), 정일석, 최은애(한국재료연구원), 권세훈*(부산대학교), 한승전*(한국재료연구원)

Keywords: Cu-Ni-Si alloy, Inclusion, Ni2Si, Grain boundary phase, Ni16Mn6Si7

Cu-Ni-Si 합금에서 주된 강화상인 Ni_2Si는 Ni 및 Si 함량의 증가에 따라 그 부피 분율이 증가하며, 이에 따라 기계적 특성이 향상된다. 그러나 과도한 첨가 원소의 함량 증가는 결정립계에서 불균일 핵생성을 유도하여, 부정형의 Ni_2Si 개재물 형성을 초래한다. 이러한 개재물은 결정립 내부 강화상 분율을 감소시키고, 변형 시 개재물에 의한 응력 집중을 유발하여 오히려 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 조대한 개재물의 생성을 억제하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 고 Ni, Si 함량의 Cu-Ni-Si 합금에 Mn을 첨가하여, 결정립계 개재물의 형상 및 구조적 변화를 유도하고자 하였다. Cu-6Ni-1.25Si 및 Cu-6Ni-1.25Si-2.14Mn 합금을 980°C에서 8시간 동안 균질화 처리 후 다양한 압하율(50%, 75%, 90%, 95%)로 냉간 압연을 수행하였다. 그 결과, Cu-Ni-Si. 합금에 비해 Mn이 첨가된 합금은 균질화 처리 직후부터 높은 강도를 나타냈을 뿐만 아니라, 압하율 증가에 따른 강도 증가 폭 또한 더 크게 나타났다. 특히, 95% 냉간 압연 시 인장강도가 1 GPa에 도달하는 것으로 확인되었다. 이는 Mn 첨가로 인해 기존 Cu-Ni-Si 합금의 결정립계에 형성되던 부정형의 조대한 Ni_2Si 개재물이 필름 형상의 $Mn_6Ni_{16}Si_7$ 화합물로 대체되며, 이로 인해 개재물 분율 감소 및 응력 집중을 완화하는 데 기여한 것으로 판단된다.

[비철2-5 | 11:25]

방열특성이 우수한 Cu-Cr-X계 동합금에 관한 연구: 최준영*, 정원석, 이시담, 장태완, 박철민((주)풍산)

Keywords: 동합금, 쉴드캔, 방열판, Cu-Cr

구리 및 구리합금은 전기전도도가 매우 높은 산업용 재료로써 오랫동안 다양한 산업에 사용되어 왔다. 특히 전기전도도가 필요한 전기전자부품에는 필수적인 재료로써 대체재가 없을 정도로 우수한 특성을 보유한 재료이다. 최근 전기차 보급 확대를 위하여 고효율의 고전압시스템이 요구되고 있으며 , 또한 전자기기의 소형화 , 5G 통신 등 전자제품의 고전류 , 고전압 적용으로 발열을 해소하는 것이 매우 중요한 과제로 인식되고 있다. 예를들어 자동차 엔진룸과 같은 고온 환경 및 고전압에 노출되면 발열로 인해 신호 및 에너지 전달 역할을 하는 커넥터의 접촉부에서는 소재의 응력 완화로 신뢰성 감소가 우려된다 . 또한 모바일 등 소형 전기전자제품의 경우 고집적화된 제품 내부에서 발생하는 열을 해소하지 못하면 제품의 성능을 최대화 할 수 없다 . 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 동합금 개발이 필요하고 , 특히 내열성과 전기전도도를 동시에 확보하는 것이 매우 중요하다 . 일반적으로 금속의 내열특성을 향상시키기 위해서는 합금 원소를 첨가하는 방법이 있으나 원소첨가량이 증가함에 따라 전기전도도가 저하되기 때문에 첨가원소의 양이 제한되어 아래 산업계 요구특성을 구현하기 어렵다. 본 연구에서는 Cu-Cr 계 동합금의 시효처리에 따른 특성을 평가하였다 . 연구결과 최근 산업계에서 요구되고 있는 수준인 전기전도도 80%IACS, 비커스 경도 Hv 150 이상의 특성을 확보하였으며 내열 특성도 기존 범용합금보다 우수한 것을 확인했다

[비철2-6 | 11:40]

CRDM 노즐용 Alloy 690 단조재의 열간성형 공정 변수와 열처리 조건이 미세조직 균일도 및 석출상 거동에 미치는 영향: 김동욱, 나라야나, 나혜성, 최재영*((주)에이치브이엠)

Keywords: Alloy 690, CRDM 노즐, 열간성형, 결정립 균일도, M23C6, 탄화물 정량화

Alloy 690은 Ni-Cr-Fe계 초합금으로, 원자력 발전소 1차 계통의 CRDM(Control Rod Drive Mechanism) 노즐 및 증기발생기 전열관에 널리 적용된다. CRDM 노즐은 중공 구조 특성상 운전 중 복합 응력에 취약하므로, 고온·고압 환경에서의 신뢰성 확보를 위해 균일한 결정립 조직과 안정적인 석출상 제어가 필수적이다. 본 연구에서는 Alloy 690 단조재를 대상으로 열간성형 변수(성형비, 성형온도)와 열처리 조건이 미세조직 균일도 및 석출상(M23C6) 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 합금 잉곳은 VIM(Vacuum Induction Melting)으로 제조하였으며, 자유 단조와 압연을 통해 다양한 성형 조건을 구현하였다. 결정립 분포를 관찰하고, 석출상 분포를 정량 분석하여 공정 조건과의 상관관계를 검토하였다. 연구 결과, 성형비 단독 효과는 제한적이었으나 성형온도와 열처리 조건의 조합이 결정립 균일화와 석출상 분포 제어에 큰 영향을 주었다. 이는 CRDM 노즐 소재의 신뢰성 확보를 위해 단일 변수보다는 열간성형 공정 최적화가 핵심임을 시사한다. 본 연구는 Alloy 690 단조재의 공정–미세조직–석출상 간 연계성을 규명하였으며, 후속 최적화 설계의 기초 자료로 활용될 수 있다.

첨단항공용 터보샤프트엔진 핵심 부품소재 국산화 기술개발 심포지엄

Room 4층 컨벤션3, 10월 29일

[국산화1-1 | 14:00] 초청강연

국가 전략산업으로서 방위산업 R&D 지원 전략: 정진휘*(한국산업기술기획평가원)

Keywords: 방위산업, 국가 첨단전략기술, 수출 전략산업

산업통상자원부는 2024년부터 방위산업을 국가 전략산업으로 육성하기 위해 방위사업청과 차별화된 지원전략을 수립하여 추진 중이다. 2024년, 5대 첨단 방산분야 60대 핵심기술 로드맵을 공동 발표하고, 소부장 핵심전략기술에 '국방반도체 기술'을 포함하였으며, '고성능 유무인 항공기용 15,000lbf급 이상 첨단 항공 가스터빈엔진'을 국가 첨단전략기술로 지정하였다. 기존의 국방기술의 민간기술 선도에서, 첨단 산업기술의 국방 도입으로 패러다임이 전환되고 있는 시기에 방산AI 기반의 첨단기술개발지원, 방산수출형 R&D 지원, MRO, 자율제조 기술개발 등에 집중 투자를 위한 전략을 수립하여 추진하고 있다.

[국산화1-2 | 14:30] 초청강연

1000마력급 터보샤프트엔진 터빈 블레이드 및 베인용 단결정 신 합금 개발 현황: 강동수*, 이동엽, 안성철, 손인수(한화에어로스페이스(주)), 도정현, 김인수, 최백규(한국재료연구원)

Keywords: 터보샤프트엔진, 터빈 블레이드, 단결정, 초내열합금

항공기용 터보샤프트엔진의 핵심 구성품인 터빈 블레이드 및 베인 부품은 고온에서 장시간 운용됨에 따라 고온 크리프 저항성 및 우수한 구조적 내구성이 요구되어 단결정 초내열합금 소재가 적용되고 있다. 본 발표에서는 '터보샤프트엔진 동력터빈 핵심 부품소재 장수명화 개발기술'의 연구개발과제에서 수행 중인 정밀주조용 터빈 블레이드 및 베인 부품에 적용을 위한 단결정 신 합금 요구도(Requirement) 수립 결과 및 개발 현황을 다루고자 한다.

[국산화1-3 | 14:50] 초청강연

항공엔진 디스크용 Waspaloy 소재 국산화 개발 현황: 권혁준, 김지윤, 손인수*(한화에어로스페이스)

Keywords: 항공엔진, 디스크, 초내열합금, 용해, 성형, Ingot, Billet, 단조품, 제조공정 확정 관리

Waspaloy는 고온 특성이 우수하여 항공엔진 터빈부에 널리 사용되는 초내열합금으로, 제조공정 난도가 높은 소재이다. 본 연구는 장수명 항공엔진 적용을 목표로 Waspaloy Ingot, Billet, 디스크 단조품을 개발하는 것이다. 항공엔진 운용 환경을 반영하여 요구도를 수립하고, 용해·단조·시험평가 전 과정을 포함한 기술을 개발하였다. 또한 소재 특성의 신뢰성과 재현성 확보를 위해 엔지니어링 승인 시스템을 적용하여 제조공정을 확정·관리함으로써 설계 의도에 부합하는 수명과 성능을 보장하고자 한다.

[국산화1-4 | 15:10] 초청강연

Ti64 케이스 주조품 소재 국산화 개발 현황: 이슬*, 주영규(한화에어로스페이스)

Keywords: 타이타늄, 정밀주조, 터보샤프트 엔진

우수한 내식성과 강도 및 중량 절감을 통한 연료 소비 효율의 향상을 기대할 수 있기 때문에 타이타늄 합금은 니켈기 초내열 합금 다음으로 가스터빈엔진에 두 번째로 많이 적용되고 있는 소재이다. 항공엔진에 타이타늄 합금이 적용되고 있는 비율은 약 25% 이상을 차지하고 있다. 하지만, 타이타늄은 가공성이 낮고, 용융 상태에서의 높은 반응성 및 낮은 유동성으로 제조 난이도가 높다. 국내에서는 산업용 타이타늄 소재의 대부분은 기계가공, 압연 및 일부 단조공정을 적용하여 제조되고 있다. 하지만, 타이타늄 주조품의 경우 고가의 장비, 노동 집약적 환경 및 적은 수요로 국내 타이타늄 주조 기술과 인프라가 미흡한 실정이다. 하지만, 최근 한화에어로스페이스는 타이타늄 합금을 적용하여, 항공 엔진 부품의 국산화를 위한 연구개발을 활발하게 진행하고 있으며, 소재 분야에 많은 투자를 하고 있다. 본 발표에서는 타이타늄 합금을 적용한 항공엔진 부품을 정밀주조 공정으로 적용하기 위한 국내 개발 현황 및 향후 타이타늄 합금의 개발 방향에 대해 소개하고자 한다.

[국산화1-5 | 15:30] 초청강연

압축기 임펠러 Ti6242 소재 형단조품 국산화 기술 개발 현황: 오승철*, 권혁준, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스), 주경준(케이피씨엠)

Keywords: 터보샤프트엔진, 타이타늄, 임펠러

타이타늄 합금은 경량, 고강도, 우수한 내식성을 겸비하여 항공우주, 의료, 해양 등 다양한 산업 분야에서 폭넓게 활용되고 있으며, 특히 항공 가스터빈 엔진 부품의 핵심 소재로 주목받고 있다. 그러나 해당 분야의 기술 개발은 주로 해외 선진사들이 주도하고 있으며, 국내 개발 사례는 아직 제한적이다. 본 연구는 국내 항공산업과 무기체계의 발전을 목표로, 압축기 임펠러 핵심 소재인 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo(Ti6242) 형단조품의 국산화 기술 개발 현황을 제시한다. 이를 위해 원소재 및 단조품 제조 전반에 걸친 공정 변수와 요구 특성을 분석하고, 미세조직, 기계적 특성 등을 최적화하였다. 이를 통해 설계 의도에 부합하는 수명과 성능을 보장하고자 하였으며, 항공엔진 압축기 임펠러에 요구되는 특성을 만족하는 단조품 제조 가능성을 입증하였다. 본 연구는 해외 선진사 주도의 타이타늄 합금 단조품 분야에서 국내 기술 자립을 도모하고, 향후 항공기 엔진 분야 전반에 적용 가능한 기반 기술을 제공한다.

[국산화1-6 | 15:50] 조청강연 Canceled

17-4PH 베어링 하우징 합금 제조 기술 개발: 박재영*(한화에어로스페이스)

Keywords: 17-4PH, 베어링 하우징, 주조 국산화

본 연구는 항공기 엔진용 베어링 하우징에 적용하기 위한 17-4PH 석출경화형 스테인리스강의 주조 기술 개발과 주조품 검증을 목표로 수행하였다. 베어링 하우징의 주조 제작 기술 개발을 위해 주입 속도, 예열 온도 등의 공정 변수를 체계적으로 최적화 시킨 후, 제조된 주조품에 대해 비파괴 검사, 경도, 미세조직 및 기계적 물성 측정을 통해 제작 기술 검증을 수행하였다.

[국산화2-1 | 16:20] 조청강연

가격 경쟁력이 우수한 3세대급 국산 단결정 초내열합금 개발: 도정현*, 이상원, 최백규, 김인수, 정중은(한국재료연구원)

Keywords: 단결정 초내열합금, 합금 설계, 크리프, 고온 특성

첨단 항공엔진의 고온 핵심 부품인 터빈 블레이드는 극한의 온도와 응력을 견디기 위해 Ni계 단결정 초내열합금이 적용된다. 현재 가스터빈 엔진에 활용되는 단결정 초내열합금은 전량 수입에 의존하고 있으며, 이는 국방 기술 자립, 공급망 안정성 그리고 생산 비용 경쟁력 측면에서 큰 제약으로 작용하고 있다. 국산 첨단 항공엔진은 보다 우수한 엔진 성능을 위하여 터빈 입구온도(TIT)를 높이는 방향으로 설계가 진행되고 있으며, 보다 높은 온도에서 응력을 견딜 수 있는 3세대급 단결정 초내열합금의 온도 수용성을 합금 개발이 요구되고 있다. 단결정 초내열합금의 온도 수용성은 Re과 Ru 원소의 함량에 따라 결정이 되는데, Re 함량이 4~6 wt.% 첨가되는 3세대급 단결정 초내열합금은 합금원소 비용으로 인하여 가격 경쟁력이 저하된다. 따라서 고가의 원소 함량을 줄이고, 고온 특성이 향상된 국산 단결정 신합금을 개발이 필요하다. 본 연구에서는 가격 경쟁력을 확보하면서도 고온 1100ºC 조건에서 상용 3세대 단결정 합금(CMSX-4 Plus)보다 우수한 크리프 특성을 갖는 국산 단결정 신합금을 설계하였다. 신합금은 CMSX-4 plus 대비 합금원소 가격이 50% 이상 저감되었으며, 낮은 온도에서 단시간 유지해도 우수한 고온 특성을 갖도록 설계하여 열처리 공정 비용을 저감할 수 있다. 또한 1100ºC/137MPa 조건에서 CMSX-4 plus 대비 크리프 수명이 200% 이상 길게 유지됨을 확인하여 3세대급 단결정 초내열합금의 온도 수용성을 만족하였다.

[국산화2-2 | 16:40] 조청강연

Waspaloy 합금 고온 성형성 평가 및 자유단조 공정 해석: 이상곤*, 안지섭, 이인규, 이성윤, 황선광(한국생산기술연구원), 권혁준(한화에어로스페이스)

Keywords: 와스팔로이, 고온 유동응력, 프로세싱 맵, 자유단조

와스팔로이 합금은 고온 환경에서 우수한 기계적 특성을 갖는 니켈 기반 초내열합금 소재로 항공우주 핵심부품 등에 활발하게 적용되고 있다. 와스팔로이 합금은 고온 성형성이 열악하기 때문에 고온 성형공정 설계를 위해서는 고온 성형성 평가가 매우 중요하다. 본 연구에서는 다양한 온도 및 변형률 속도에 따른 고온 압축시험을 통해 와스팔로이 합금의 고온 유동응력을 확보하고 성형특성을 평가하였다. 또한, 확보된 유동응력 선도를 토대로 적용 소재의 프로세싱 맵을 도출하였다. 도출된 유동응력 선도를 활용하여 와스팔로이 합금 자유단조공정에 대한 성형해석을 수행하였으며, 성형해석 결과와 도출된 프로세싱 맵을 활용하여 자유단조공정을 분석하였다.

[국산화2-3 | 17:00] 조청강연

항공용 Ti64 원심정밀주조 압축기 케이스 개발: 윤석현, 박병선*((주)에스에이치플러스)

Keywords: 티타늄, 원심정밀주조, 항공용, VAR

저밀도, 낮은 탄성계수, 우수한 고온강도, 내산화성을 가진 Ti64합금은 항공산업 구조용 재료로 연구 및 활용되고 있다. Ti64 항공용 압축기 케이스를 VAR(Vacuum Arc Remelting) 원심정밀주조공법을 적용하여 개발하고 있는 과정 및 주요변수에 대한 개발과정을 소개하고자 한다. VAR 원심정밀주조 개발에 필요한 요소는 VAR 장비, Ti64 잉곳 화학성분, 주조공법에 대한 연구 및 실증과정을 통하여 결함 제어가 가능한 항공용 Ti64 원심정밀주조 압축기 케이스 개발에 이르게 되었다. VAR 장비는 10-3torr의 고진공도, 원심 구동력 제어, Arc 발생 거리 유지, 도가니 및 도가니 냉각 구조에 따라 주조품의 성분 및 특성에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. Ti64 잉곳 화학성분은 VAR 방식을 사용하기에 용해 및 주조시 변수관리에 의해 주조품과 잉곳의 화학성분 일치성에 영향을 미치고 있다. 주조공법은 주조방안수립, 조형, 용해, 주입의 과정을 거치며, 주조방안 수립이 가장 중요한 것으로 판단되었다. 주조방안은 유동성, 응고 및 원심력에 의한 용탕 비산을 고려하여 게이트 및 유로를 설계해야 한다. 이때, 런너 또는 게이트에 용탕을 원심력에 의해 아래로 압력을 가해주는 요소와 용탕을 빠르게 주입하는 요소를 포함함으로써 주조품 품질 향상과 결함 방지를 할 수 있었다. 조형과정은 Ti64의 반응성과 용융점을 고려하여 직접 접촉면과 보강면에 대한 코팅방안을 수립하였다. 이는 Ti64 주조품 표면산화층과도 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되었다. 이러한 과정을 통하여 항공용 Ti64 원심정밀주조 압축기 케이스 개발을 진행하고 있으며, 향후 Ti64 특성을 유지한 압축기 케이스를 안정적으로 주조생산 할 수 있을 것 같다. 본 연구는 핵심기술 연구개발과제(무기체계 패키지형) “터보샤프트엔진 가스발생기 압축기 핵심 부품소재 장수명화 개발 기술 (KIRT-CT-22-055-02)에 의한 연구임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

[국산화2-4 | 17:20] 조청강연

항공용 Ti-6242 Ingot/Billet 소재 국산화: 주경준, 손희영, 이기영*((주)케이피씨엠), 손인수, 주영규, 오승철(한화에어로스페이스)

Keywords: Ti-6242, 타이타늄, 항공엔진, 국산화

정부는 항공엔진 국산화의 핵심 전제조건으로 관련 소재·부품의 자립화를 적극 추진하고 있다. 타이타늄 및 타이타늄 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성, 그리고 다양한 열처리 적용이 가능해 항공용 엔진 소재로 널리 활용된다. 특히 Ti-6242 합금은 우수한 고

온강도와 뛰어난 크립 저항성을 바탕으로 항공엔진 핵심 부품 제작에 사용된다. 본 연구에서는 항공용 Ti-6242 합금의 국산화를 목표로 Ingot 및 Billet 제조기술에 대한 연구를 수행하여 소재 자립 기반을 마련하였다.

[국산화2-5 | 17:40] 초청강연

항공용 17-4PH Master Ingot 제조 기술 개발: 김현우(세아창원특수강), 우한별(한화에어로스페이스), 신정호*(세아창원특수강)

Keywords: 항공엔젠, 가스터빈, 소재, 국산화, Master Ingot

본 연구는 항공 엔진 부품 적용을 목표로 17-4PH 석출경화형 스테인리스강 Master Ingot의 국산화를 수행하였다. 항공 엔진 부품에서 요구되는 높은 신뢰성 확보를 위해 진공유도용해(VIM) 기반의 고청정 공정 기술을 개발하고, 목표 특성 확보를 위한 합금 성분 최적화를 중점적으로 진행하였다. 공정 기술을 적용하여 Master Ingot을 제조하고 특성 평가를 수행한 결과, 수입재 대비 동등 이상의 품질을 확보하였으며, 교차 분석을 통해 신뢰성과 재현성을 검증하였다. 본 연구 성과로 국산 17-4PH Master Ingot의 항공 엔진 부품 적용 가능성을 입증하였으며, 안정적인 국내 공급망 구축과 항공용 정밀주조 부품의 성능·신뢰성 향상에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구는 핵심기술 연구개발과제(무기체계 패키지형) “터보샤프트엔진 동력터빈 핵심부품소재 장수명화 개발 기술(KRIT-CT-22-055-04)”의 의한 연구임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

에너지 생산 · 저장 · 이송 산업용 소재 가공기술 심포지엄

Room 2층 201/3, 10월 30일

[에너지가공1-1 | 09:00] 초청강연

수소 이송/저장용 금속소재 기술 및 산업 동향: 황병철*(서울과학기술대학교)

Keywords: 수소, 금속소재, 압력용기, 라인파이프, 산업 동향

수소경제의 실현을 위해서는 대규모 수소 이송과 저장을 담당할 배관 및 압력용기용 금속소재의 개발과 신뢰성 확보가 필수적이다. 그러나 금속소재는 수소 환경에서 수소취성, 균열 개시·전파, 용접부 취약성 등 다양한 금속학적/기계적 도전에 직면한다. 본 강연에서는 수소 이송용 라인파이프 및 압력용기용 강재의 합금설계와 미세조직 제어 전략, 수소취성 저감을 위한 트랩 사이트의 활용 및 열처리 기술, 파괴역학적 특성 및 내구성 평가 기법, 국제 표준화 동향 및 산업계 적용 사례를 종합적으로 고찰한다. 이를 통해 수소 이송/저장용 금속소재가 직면한 과학기술적 난제를 진단하고, 철강금속 산업이 추구해야 할 연구개발 방향과 실용화 전략을 제시하고자 한다.

[에너지가공1-2 | 09:20] 초청강연

수소저장용기 제조/평가 기술 개발 및 산업 동향: 오용록*(덕산에테르씨티(주))

Keywords: 수소저장용기, 수소취성, 저온 내구성, 합금 및 열처리, 수소 인프라

수소 경제의 확산과 함께 저장·운송 과정에서의 안전성과 효율성 확보는 핵심 과제로 부상하고 있다. 특히 액화수소 인프라 확대를 위해서는 극저온과 고압 환경에서도 신뢰성을 보장할 수 있는 저장용기의 기술 개발이 요구된다. 연구를 통해 –40°C 수준의 저온 및 100 MPa급 압력 조건을 견딜 수 있는 금속 저장용기의 설계와 평가 기술을 확보하고자 한다. 이를 위해 합금 조성의 최적화, 열처리 공정 고도화, 이음매 없는 강관 적용 등을 통해 내수소취성 및 충격 흡수 특성을 향상시키고자 하였다. 또한 국제 표준과 인증 기준을 고려하여 내구성 및 기밀성 검증을 병행함으로써 실제 충전소 환경에서의 적용 가능성을 높였다. 본 연구는 소재 국산화를 통한 안정적 공급망 확보, 충전 인프라 확충 가속화, 나아가 국내외 수소 저장기기 산업 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다.

[에너지가공1-3 | 09:40] 초청강연

그린수소생산을 위한 PEM수전해용 티타늄 다공성 확산체 개발: 이창수(충남대학교, 한국에너지기술연구원)

Polymer electrolyte membrane water electrolysis (PEMWE)는 고가의 이리듐 촉매 사용에 의존하고 있어 경제성 확보에 제약이 따른다. 따라서 최소한의 촉매 사용으로도 성능과 내구성을 유지할 수 있는 전극 구조 설계가 필수적이며, 이를 위해 전극 내부의 전자·이온·물질 전달을 강화하는 전략이 요구된다. 최근 미세다공층(MPL, micro-porous layer)은 다공성 확산체(PTL)와 촉매층(CL) 계면의 특성을 개선하여 촉매 이용률을 극대화하는 핵심 기술로 주목받고 있으나, MPL 설계 및 제조에 대한 표준화된 방법론은 아직 부족하다. 본 연구에서는 decal-transfer 공정을 활용하여 균일하고 얇은 MPL을 CL/PTL 계면에 형성하고, 티타늄 입자 크기(5~21 μm)를 조절하여 MPL의 기공 구조, 굴곡률, 모세관 특성, 물 포화도 등 다양한 물성을 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 입자 크기가 물질전달 거동 및 전극 계면 특성에 미치는 영향을 규명하였으며, MPL이 물·기체의 균일한 분포를 유도하고 계면 과전압을 저감하는 주요 역할을 수행함을 확인하였다. 또한 MPL의 후방(back-layer) 구조가 in-plane mass transport를 저해하지 않는 한 전극 성능에 미치는 영향은 제한적임을 제시함으로써, MPL 설계 시 고려해야 할 지침을 도출하였다. 본 연구는 티타늄 기반 다공성 확산체에 MPL을 도입하고 입자 크기 제어를 통해 구조–물성–전기화학적 특성의 상관관계를 규명함으로써, PEMWE 성능 향상과 내구성 확보를 동시에 달성할 수 있는 전략을 제시하였다. 이러한 결과는 PEM 수전해 핵심 부품의 국산화와 그린수소 생산단가 저감에 기여할 수 있는 중요한 기반 기술이 될 것으로 기대된다.

[에너지가공1-4 | 10:00] 초청강연

이차전지용 파우치 소재 가공 및 응용 기술: 김정한, 박진웅, 전소희, 한병준, Emmanuel(국립한밭대학교)

Keywords: 분자접합, 금속, 폴리머, 표면처리, 접합

전기차용 리튬이차전지 파우치 필름은 통상적으로 5~12층 구조(예: 외층필름-접착제-알루미늄 호일-접착제-내층필름)로 이루어진 알루미늄 적층막 형태를 갖음. 이중 알루미늄 호일층은 수증기를 포함하는 가스에 대한 높은 배리어성을 부여하기 위해 사용되며, 외층필름및 내층필름은 각각 기계적 안정성과 화학적 안정성을 위해 도입됨. 국내에서는 현재까지 필름을 접착제를 사용해 합지(laminate)시켜 제조하는 방식을 주력으로 연구하고 생산하고 있음. 그러나, 파우치형 배터리에서 잦은 폭발 및 화재 사고가 잇따르고 있어 안전성에 대한 근본적인 해결책이 필요한 상태임. 전해액과 알루미늄과의 접촉을 방지하기 위해 다양한 표면 개질 기술로 졸-겔 코팅, 프라이머 처리 등이 연구되고 있으나 점차 대용량화되는 이차전지개발에 있어 알루미늄 표면 개질만으로 상기 문제점을 해결하는 것에는 한계가 있기에 내열성/내화학성/내구성이 뛰어난 이차전지용 알루미늄 파우치 필름에 대한 중요성이 지속적으로 강조되고 있음. 현재 일반적으로 사용되는 에폭시, 크로메이트, 또는 실란계열의 접착제를 사용하는 구조는 시효효과에 따른 접착제층 경화 및 열팽창계수 차이에 의한 응력발생 요인으로 균열과 박리가 쉽게 발생함. 또한, 수분 및 온도 상승 등 주변 환경변화에 따라 접합강도가 크게 약화되는 근본적인 문제가 존재함. 또한, 다층 구조의 알루미늄 파우치용 필름은 각 층마다 다른 열팽창 계수를 가져 주변부 온도에 따라, 층간의 박리(delamination)를 야기 할 수 있기에, 배터리를 사용하는 온도 구간에서의 충분한 계면 접착력이 필요하며, 더 나아가 고분자와 알루미늄간의 열팽창 계수 고려가 중요함. 최근, 접착제를 사용하지 않고도 금속과 고분자 수지를 분자레벨 수준에서 손쉽게 접합하는 분자접합 기술이 5G·6G, 반도체, 전기차 배터리 등 신산업에 적용되고 있음. 분자접합기술의 핵심

요소는 금속층에 특수한 표면처리와 분자접합 공정을 통해 금속과 고분자 수지 사이에 높은 화학적 공유결합을 직접적으로 구현하는 것으로 접합강도가 매우 높음. 또한, 접착제층이 존재하지 않아 두께를 현격히 감소시킬 수 있고 내환경성도 우수함. 본 연구는 접착제를 완전히 배제하고, 표면 개질 후 캐스트 폴리프로필렌(CPP)을 8079 알루미늄 합금에 직접 접합하는 새로운 방법에 초점을 맞추고 있다. 본 발표에서는 금속-폴리머 접합 기술을 확장하여 첨단 반도체 패키징에 응용할 수 있는 방안을 소개한다.

[에너지가공2-1 | 10:30] 조청강연

대형선박의 친환경 연료와 엔진의 변화: 신재우*, 조재현((주)케이에스피)

Keywords: Ship engine, Dual-fuel engines, Alternative marine fuels, Decarbonization, LNG, Methanol

The global shipping industry is being urged to undergo rapid energy transition in response to the International Maritime Organization (IMO)'s strengthened environmental regulations and carbon neutrality targets. Accordingly, propulsion fuels and engine technologies for large vessels are shifting dramatically from heavy fuel oil (HFO) to low- and zero-carbon alternatives. Liquefied natural gas (LNG) has emerged as the most widely adopted alternative fuel, significantly reducing emissions of sulfur oxides, nitrogen oxides, and carbon dioxide compared to conventional diesel. In South Korea, the shipbuilding industry has collaborated with Everllence to develop methanol-fueled engines, while Maersk has taken a step further by placing orders for methanol-powered vessels. In parallel, next-generation fuels such as ammonia and hydrogen are under active research and development toward commercialization, with new engine technologies evolving to address the challenges of fuel storage, transport safety, and combustion characteristics. Dual-fuel engines and fuel cell systems, in particular, are regarded as key technologies accelerating the green transition of large ships. This presentation will examine the paradigm shift in marine fuels, the technological development of ship engines, the emerging retrofit market, and the future challenges of the eco-friendly shipping sector. Through this analysis, practical alternatives and strategic directions for the decarbonization of the maritime industry will be proposed.

[에너지가공2-2 | 10:50] 조청강연

연료전지 분리판 산업연구동향 개요 및 무인 항공기 적용 현황: 홍종화*(한국재료연구원)

Keywords: 연료전지 분리판, 타이타늄(Ti), 다단 성형 공정, 경량화, 무인 항공기(UAV)

본 연구는 고성능 연료전지용 분리판의 성형 기술 개발을 중심으로, 연료전지 분리판 산업의 연구 동향과 무인 항공기(UAV) 적용 가능성을 고찰하였다. 최근 산업계에서는 분리판의 대량생산성과 경량성이 동시에 요구되고 있으며, 특히 수송용·항공용 응용에서는 정밀 미세유로 가공 기술이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 이를 위해 탄소층이 전처리된 타이타늄 분리판은 표면 전도도와 내식성 향상을 위해 사용되었으며, 다단 성형 공정을 통해 성형 중 두께편차 및 스프링백을 제어하고 치수 정밀도를 향상시켰다. 그 결과, 제작된 분리판은 우수한 형상 정밀도와 구조적 안정성을 확보하였으며, 대량생산을 위한 공정 기술로서의 가능성을 확인하였다. 이러한 경량·고내식 분리판 기술은 향후 무인 항공기용 연료전지 시스템에도 적용이 가능하다. UAV용 연료전지는 비행 지속시간을 연장하고, 저소음·저진동 운용을 실현할 수 있는 대체 전원으로 주목받고 있다. 본 연구에서 제시한 타이타늄 기반 분리판은 기존 흑연계 분리판과 비교하여 경량화와 높은 기계적 강도를 동시에 확보할 수 있어, 고효율 항공용 연료전지 스택의 핵심 구성요소로 활용될 잠재력을 지닌다.

[에너지가공2-3 | 11:10] 조청강연

해상풍력 하부구조용 강재 시장 동향 및 품질특성: 김우겸(포스코기술연구원)

풍력 발전 중에서 바다에 건설하는 해상풍력(Offshore Wind)은 유럽을 중심으로 급격한 성장이 진행되고 있으며 최근에는 아시아, 미주지역 등 전 세계적으로 급속하게 발전하고 있다. 이러한 해상풍력은 육상풍력보다 뒤늦게 활성화 되었지만 강한 풍속, 소음 발생에 대한 낮은 염려, 넓은 면적을 확보할 수 있다는 여러 장점 등으로 기술 수준이 발전하면서 육상풍력 대비 해상풍력의 상대적 우위가 점점 부각되고 있다. 해상풍력 구조는 육상풍력과 유사한 타워부(Tower)와 터빈부(Turbine) 외에 바다 해저면에 설치되는 하부구조(Substructure)가 추가적으로 포함된다. 하부구조는 크게 하나의 단일 대형 원통 형태인 모노파일(Monopile)과 주로 3개의 소구경 지지구조로 이루어지는 자켓(Jacket)으로 구분되며 설치 지역의 수심, 해저면의 특성, 터빈 용량 등에 의해 하부구조 형태는 결정된다. 최근 LCOE(Levelized Cost of Energy) 절감 및 발전효율 향상을 위해 터빈의 대용량화가 급속히 진행되고 있으며 이에 따라 하부구조에 적용되는 강재는 지속적으로 극후물화, 고강도화가 되고 있다. 또한 하부구조 제작의 생산성 향상 및 비용 절감을 위해 대단중 후판을 적용하고자 하는 추세이다. 본 발표에서는 해상풍력 및 하부구조 관련 산업 동향과 적용되는 강재 특성 등을 폭넓게 고찰하고자 한다.

[에너지가공2-4 | 11:30] 조청강연

에너지 산업용 알루미늄 소재의 신뢰성 평가 방안: 성효경*(국민대학교)

Keywords: 신뢰성, 피로, 파괴, 부식

에너지 산업 분야의 금속 소재는 극한의 기계적·환경적 조건에 동시에 노출되므로, 부식·피로·파괴 등 다양한 물성을 아우르는 신뢰성 확보가 필수적이다. 본 발표에서는 산업용으로 널리 활용되는 알루미늄 합금을 대상으로, 미세조직이 부식, 파괴 및 피로 특성과 어떠한 상관성을 가지는지를 사례별로 고찰하였다. 먼저 부식 측면에서는 경량 알루미늄 합금의 일반 부식 및 응력부식균열 거동을 분석하고, 이를 지배하는 핵심 미세조직학적 인자를 규명하였다. 이어 파괴 특성에 대해서는 합금 조성과 석출상이 파괴 인성에 미치는 영향을 논의하고, 인성 향상을 위한 설계 전략을 제안하였다. 마지막으로 피로 거동에서는 알루미늄 합금의 저주기 피로 특성을 개선하기 위한 구조적 설계 및 수명 예측 방안을 제시하였다. 이러한 논의를 통해 산업용 알루미늄 합금의 장기 신뢰성 향상을 위한 미세조직 설계 방향을 제안하고자 하였다.

디스플레이용 발광 소재 및 소자의 광/전기적 특성 분석 심포지엄

Room 2층 201/3, 10월 30일

[발광1-1 | 14:00] Keynote

Deep level trapped defect analysis in optoelectronic devices by deep level transient spectroscopy: heo sung*(삼성종합기술원, 성균관대학교)

Keywords: Optoelectronic devices, perovskite solar cells, Deep-level transient spectroscopy, Defect states, CH_3NH_3PbI3, Mixed perovskites

We report a systematic investigation of deep-level defects in optoelectronic devices (e.g. metal halide perovskite solar cells (PSCs)) that critically determine device performance and long-term stability. Through deep-level transient spectroscopy (DLTS) analysis, we identify defect states in $CH_3NH_3PbI_3$ PSCs and elucidate degradation mechanisms in mixed perovskite systems, providing fundamental insights for commercialization of this promising photovoltaic technology. In $CH_3NH_3PbI_3$ PSCs, DLTS analysis reveals two dominant deep-level defects: E1 (Ec-0.62 eV) and E2 (Ec-0.75 eV). The defect distribution is strongly dependent on processing methods—one-pot solution processing yields E1-dominant defects, while the cuboid method produces E2-dominant defects. Since the energy level of E1 is higher than that of E2, cuboid-processed solar cells demonstrate superior open-circuit voltage (VOC) and power conversion efficiency (PCE). Structural analysis confirms that one-pot cells contain numerous macro/micropores within the TiO_2-perovskite layer, while cuboid devices show improved structural integrity with better pore filling. For mixed $(FAPbI_3)_{0.85}(MAPbBr_3)_{0.15}$ perovskites, addressing the critical issues of device performance and air stability, we identify a newly discovered deep-level defect formed by Br atoms. Time-dependent DLTS studies reveal that this defect state shifts during air exposure, originating from the loss of methylammonium (MA) molecules from the perovskite layer. This compositional change leads to bandgap widening from 1.58 eV to 2.24 eV, resulting in decreased short-circuit current density (JSC) and deteriorated PCE. The identification of this degradation pathway provides crucial insights into the stability challenges facing perovskite solar cells. These findings demonstrate that defect engineering through controlled processing methods and compositional optimization is essential for PSC development. The ability to diagnose and manage defect states through DLTS analysis offers a powerful strategy for improving both the efficiency and stability of perovskite solar cells, addressing key barriers to commercialization.

[발광1-2 | 14:30] 초청강연

Superbly Efficient and Stable Ultrapure Blue Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes with Tetradentate Pt(II) Complex with Vibration Suppression Effect: Kim Taekyung*(경희대학교)

Keywords: OLEDs, Pt complex, Lifetime, Efficiency

The development of blue phosphorescent organic light-emitting diodes (PHOLEDs) has been hindered by the difficulty of achieving both high external quantum efficiency (EQE) and long operational lifetime while maintaining ultrahigh color purity. We report a novel tetradentate Pt(II) complex, Pt-SPCz, featuring a spirofluorene moiety introduced at the previously unexplored 5-position of the carbazole ligand. This structural modification induces a pronounced vibration suppression effect, reducing triplet metal-to-ligand charge transfer (^{3}MLCT)-induced spectral broadening by eliminating key C–H in-plane bending modes, thereby decreasing the intensity of the second emission peak and achieving a record-narrow full width at half maximum (FWHM) of 22 nm in PHOLEDs. Density functional theory, vibrational analysis, and molecular dynamics simulations reveal that the bulky, rigid spirofluorene not only suppresses vibronic coupling but also increases intermolecular distances, mitigating Dexter energy transfer and associated exciton–exciton annihilation. In device configurations, Pt-SPCz demonstrates a high photoluminescence quantum yield (95.5% in film) due to reduced non-radiative decay and minimized aggregation. Electrical analyses show that spirofluorene sterics inhibit direct hole injection into the carbazole unit, suppressing Shockley–Read–Hall recombination and lowering trap-mediated losses. As a result, single-emitter PHOLEDs with Pt-SPCz achieve an EQE_max of 25.1%, LT_{50} of 451 h at 1000 cd m^{-2}, and Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) coordinates of (0.141, 0.131). In phosphor-sensitized thermally activated delayed fluorescent OLEDs (PST-OLEDs), Pt-SPCz yields ultra-pure blue emission with CIE_y = 0.096, EQE_max of 28.1%, and extended LT_{50} of 164 h. Furthermore, two-stack tandem PHOLEDs using Pt-SPCz attain a record-high EQE_max of 50.3% and LT_{70} of 589 h among bottom-emission tandem blue PHOLEDs with CIE_y < 0.15. All device metrics surpass those of the state-of-the-art blue phosphor BD-02 under identical architectures. This work demonstrates that targeted ligand modification at non-conjugated carbazole positions can simultaneously optimize color purity, efficiency, and stability by integrating molecular vibration suppression with exciton dynamics control, providing a generalizable strategy for next-generation deep-blue OLED materials.

[발광1-3 | 14:50] 초청강연

유기물 분자의 자발 배향 분극에 의한 OLED의 전하 축적과 엑시톤 소멸 메커니즘 분석: 이재현*, 안성환, 이운하, 박시은, 김동준(국립한밭대학교)

Keywords: 자발 배향 분극, 거대 표면 전위, 유기 발광 다이오드

유기물 반도체 박막이 가지는 자발 배향 분극(spontaneous orientation polarization, SOP) 특성과 이에 따른 거대 표면 전위(giant surface potential, GSP)는 유기 발광 다이오드(organic light-emitting diodes, OLED)에서 전하 주입, 수송 및 재결합 특성을 결정하는 중요한 요인이다. 이러한 효과는 구동 전압을 낮추고 전하 밸런스를 향상시킬 수 있지만, 동시에 계면 전하 축적을 유도하여 엑시톤의 비방사 소멸(exciton–polaron quenching, EPQ) 을 발생시킬 수도 있다. 본 연구에서는 발광층(emitting layer, EML) 내 엑시톤 형성 위치를 조절하고, 극성 및 비극성 전자 수송층(electron transport layers, ETL)용 분자를 비교함으로써 GSP가 EPQ에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 다양한 전기·광학적 분석 결과, 극성 ETL에서 형성된 강한 표면 분극이 EML/ETL 계면 전하 축적을 유도하고, 이 영역 근처에서 생성된 엑시톤은 EPQ에 의해 크게 소멸되는 것을 확인하였다.

[발광1-4 | 15:10] 초청강연

Revolutionary display technology: QLEDs based on microcavity structure: 이태수*(인하대학교 / Inha Univ.)

Keywords: 양자점, QLED, 광추출

Quantum dot light-emitting diodes (QLEDs) have emerged as a promising candidate for next-generation display technology, owing to the superior optical properties of colloidal quantum dots (QDs). For decades, multi-lateral efforts have been devoted to improving the device performance of QLEDs, ranging from advanced synthesis of QDs to various charge balancing strategies. However, studies regarding the outcoupling enhancement or practical implementation of QLEDs were not sufficiently investigated, comparatively. In this regard, top-emission structure is an attractive device architecture that can successfully address these issues. In this presentation, elaborate optimizations of top-emission structure along with considerations on the charge carrier dynamics are introduced, resulting in record-high current efficiencies and unprecedently high luminance. Moreover, several key challenges and suggestions are provided to make further progress in QLED technology. I believe that this study can give insights about realizing high-power QLEDs, expanding their potential applications to various industries.

[발광2-1 | 15:50] 초청강연

Enhanced Optical Properties of CsPbBr3 Nanoparticles by Post-Treatment of Aluminum Solution: Lee Chang-Lyoul*(Advanced Photonics Research Institute (APRI), Gwangju Institute of Science and Technology (GIST))

Keywords: Perovskite, Nanoparticles, Post-Treatment

All-inorganic perovskite nanoparticles, particularly $CsPbX_3$ (X = Cl, Br, I), are promising candidates for next-generation opto-electronic devices due to their narrow emission spectra, high photoluminescence quantum yield (PLQY), and tunable optical properties. Despite these advantages, their instability under moisture, UV light, and high temperatures poses challenges for practical applications. In this study, we investigate the enhancement of the optical properties of CsPbBr3 perovskite NCs through post-treatment with an aluminium solution. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) confirm that the composition of the CsPbBr3 NCs is corrected to the ideal 1:1:3 ratio following the treatment. The results suggest that the post-treatment process enhances the optical performance of the NCs while preserving their structural integrity.

[발광2-2 | 16:10] 초청강연

Surface engineering for perovskite light-emitting diodes: 이승진*(한국에너지공과대학교)

Keywords: Perovskite, Ligand exchange, Light-emitting diodes, Surface engineering

Solution-processable optoelectronic materials have several advantages such as light-weight, flexibility, transparency, low cost, and large-area processing compared to conventional crystalline inorganic elemental semiconductors. Among them, metal halide perovskites have been explored in light-emitting applications, a testament to their facile bandgap tuning, high color purity, and high absorption coefficient. However, these materials easily contain defect sites in surfaces, creating electronic traps within the bandgap. Furthermore, the performance of light-emitting diodes — which consist of several thin layers — depends on interface quality. A promising approach to overcome the issue is surface engineering that can passivate defects, adjust energy levels and control surface characteristics for better wettability. In this presentation, we will introduce recent results regarding perovskite light-emitting diodes, and mainly discuss the beneficial effects of surface engineering on the device performance. We will introduce a method to grow perovskite films composed of uniform nano-sized single crystals by employing phenylmethylamine as a ligand. Furthermore, we will introduce recent results regarding Perovskite nanocrystal light-emitting diodes, and mainly discuss the beneficial effects of surface engineering on perovskite nanocrystals.

[발광2-3 | 16:30] 초청강연

Lattice Engineering via Fine Cation Incorporation in Halide Perovskite Nanocrystals for Stable and Efficient Light-Emitting Devices : 박민호*(Soongsil Univ.)

Keywords: perovskite nanocrystal, light-emitting device, lattice engineering, defect engineering

Halide perovskite nanocrystals (PeNCs) are attractive candidates for next-generation displays due to their exceptional optical properties and low-cost fabrication. However, their stability is compromised by defect-induced nonradiative recombination and charge transport limitations from insulating surface ligands. Here, we introduce a lattice engineering approach, in which the fine control of

cation incorporation stabilizes the crystal lattice while simultaneously mitigating defects and reducing the insulating ligand density. This structural modulation not only improves the photophysical properties of PeNC films but also enhances charge carrier dynamics in devices. These findings establish lattice engineering as an effective route to overcome intrinsic limitations of PeNCs, enabling high-efficiency and stable light-emitting devices suitable for practical device applications.

[발광2-4 | 16:50] 초청강연

Surface Engineering for Efficient and Stable Metal Halide Perovskite Nanocrystals for Light-Emitting Diodes: Park Jonghyun*(Chonnam National University)

Keywords: Metal Halide Perovskite, Nanocrystals, Surface, Light-Emitting Diodes

Metal halide perovskites (MHPs) have gained attraction as high-performance light-emitting diode (LED) materials owing to their excellent optical properties, such as facile bandgap tuning, defect tolerance, and high color purity. Perovskite nanocrystals offer advantages such as high photoluminescence efficiency, material stability, and ease of large-area processing. However, due to their small crystal size and high surface-to-volume ratio, they are more susceptible to surface defects, making surface modification of perovskite nanocrystals crucial. In this presentation, we explore the changes in surface properties of perovskites based on different ligand structures and how these modifications optimize their optical and electrical properties. Through investigating the correlation between ligand structure and perovskite nanocrystal characteristics, we ultimately achieved highly efficient and stable perovskite LED devices.

[발광2-5 | 17:10] 초청강연

Defect Engineering in Perovskites for Optoelectronic Devices: Hobeom Kim*(Gwangju Institute of Science and Technology)

Metal-halide perovskites have emerged as a highly promising material for next-generation optoelectronic devices such as light-emitting diodes (LEDs) and solar cells. Over the past decade, device performance has improved significantly; however, internal defects remain a critical challenge for practical application. Defects in perovskites can result in quenching of charge carriers via non-radiative recombination channels, leading to degraded optoelectronic performance. In addition, defect migration gives rise to peculiar electronic and optical behavior of devices such as current-voltage hysteresis and luminance overshooting, which severely impact the stability of the perovskite optoelectronic devices accelerating their degradation. To address these challenges, various defect passivation strategies have been proposed. In this talk, we discuss approaches for defect passivation in metal-halide perovskites, involving organic chemical reagents and low-dimensional perovskites, as well as the incorporation of perovskite polytypes such as a corner-sharing 6H phase to achieve coherent intervention at halide position effectively screening halide defect formation. Our results demonstrate that these defect engineering strategies enhance both the optoelectronic characteristics and the stability of LEDs and solar cells. Furthermore, we highlight the detrimental impact of shallow-level defects, particularly the iodide vacancy (V_I^+), which has conventionally been regarded as benign. We believe that our findings pave the way for the employment of perovskite polytypes in practice to achieve high-performing perovskite optoelectronic devices, while also elucidating the necessity of engineering shallow-level defects. [1] “Shallow-level Defect Passivation by 6H Perovskite Polytype for Highly Efficient and Stable Perovskite Solar Cells” H. Kim*, S.-M. Yoo†, B. Ding†, H. Kanda, N. Shibayama, M. A. Syzgantseva, F. Fadaei Tirani, P. Schouwink, H. J. Yun, B. Son, Y. Ding, B.-S. Kim, Y. Y. Kim, J. Park, O. A. Syzgantseva, N. J. Jeon*, P. J. Dyson*, M. K. Nazeeruddin* Nature Commun., 15, 5632 (2024) [2] “Proton-transfer-induced 3D/2D hybrid perovskites suppress ion migration and reduce luminance overshoot” H. Kim†, J. S. Kim†, J.-M. Heo†, M. Pei, I.-H. Park, Z. Liu, H. J. Yun, M.-H. Park, S.-H. Jeong, Y.-H. Kim, J.-W. Park, E. Oveisi, S. Nagane, A. Sadhanala, L. Zhang, J. J. Kweon, S. K. Lee, H. Yang, H. M. Jang, R. H. Friend, K. P. Loh, M. K. Nazeeruddin, N.-G. Park, and T.-W. Lee*, Nature Commun., 11, 3378 (2020) [3] “Employing 2D-perovskite as an electron blocking layer in highly efficient (18.5%) perovskite solar cells with printable low temperature carbon electrode” S. Zouhair†, S.-M. Yoo†, D. Bogachuk, J. P. Herterich, J. Lim, H. Kanda, B. Son, H. J. Yun, U. Würfel, A. Chahboun, M. K. Nazeeruddin, A. Hinsch, L. Wagner*, and H. Kim* Adv. Energy Mater., 2200837 (2022) [4] “Self-Crystallized Multifunctional 2D Perovskite for Efficient and Stable Perovskite Solar Cells” H. Kim, M. Pei, Y. Lee, A. A. Sutanto, S. Paek, V. I. E. Queloz, A. J. Huckaba, K. T. Cho, H. J. Yun, H. Yang, and M. K. Nazeeruddin* Adv. Funct. Mater., 30, 1910620 (2020) This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2024-00342991). This research was supported by the Digital Research Innovation Institution Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT (RS-2023-00283597). This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2024-00437887). This research was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT)(No. CCL23281-100).

적층제조 및 분말 Ⅱ
Room 2층 206/7, 10월 30일

[적층5-1 | 09:00]
Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조한 결함이 존재하는 Al-Cu-Mg-Ag-ZrH_2 합금의 극저온 미세조직 및 기계적 특성: 한규미, 하수빈, 손수정, 김래언, 구본우, 김형섭*(포항공과대학교)
Keywords: Additive manufacturing, LPBF, Aluminium alloy, Al-Cu-Mg-Ag alloy, Microstructure–property relationship

알루미늄 기반 적층 제조는 항공우주용 경량 부품 제조에 핵심적인 기술임에도 불구하고 용융-응고 과정에서 발생하는 응고균열과 조대한 주상정 미세조직 형성으로 인해 우수한 기계적 특성을 확보하는 데 한계가 있다. 상기 문제를 해결하기 위해 다양한 미세조직 제어 기법이 연구되고 있으며, 본 연구에서는 Al-Cu-Mg-Ag 합금에 1 wt% ZrH_2를 첨가하여 헤테로한 등축정 미세조직 획득에 성공하였다. 하지만 레이저 파워 한계로 인해 응고 균열 억제 효과는 제한적이었으며, 상대밀도 94 % 수준의 기공과 균열이 존재하는 시편을 획득하였다. 그럼에도 불구하고, 해당 시편은 극저온(77 K) 인장 시험에서 상온 대비 인장강도가 약 2배 향상되었으며, 연신율은 1.8%에서 17%로 크게 증가하였다. 아울러, 상온 및 극저온 인장 시험 후 변형 미세조직 차이를 규명하기 위해 SEM 기반 미세조직 분석을 수행해 인장물성과의 관계를 규명하였다. 본 연구는 LPBF로 제조한 결함이 존재하는 알루미늄 합금의 극저온 기계적 거동을 규명하고, 향후 결함 허용성 평가 및 항공우주용 소재 설계에 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

[적층5-2 | 09:15]
Wire Arc Additive Manufacturing으로 제조된 Al-Mg-Sc-Zr 합금의 미세조직 및 기계적 특성 이방성: 서예진, 전민수, 황원구(인하대학교), 오민선, 감동혁(한국생산기술연구원), 이기안*(인하대학교)
Keywords: Wire arc additive manufacturing, Al-Mg-Sc-Zr 합금, 이방성, 기계적 특성

WAAM은 금속 와이어를 아크 열원으로 용융·적층하는 방식의 적층 제조 공정으로, 별도의 진공 챔버 없이도 높은 적층 속도와 낮은 소재 낭비율을 달성할 수 있어 대형 금속 부품 제작이 용이하다. 그러나 분말 기반 적층 제조 공정(Laser Powder Bed Fusion, Directed Energy Deposition)과 비교했을 때, WAAM은 상대적으로 낮은 냉각 속도를 가지며, 층간 경계에서 결정립 크기의 불균일성이 발생하고 미세조직이 특정 방향으로 배향되는 경향이 있다. 이러한 미세조직적 특징은 기계적 물성, 특히 방향에 따른 특성 저하로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 WAAM 공정의 한계를 보완하고 Al 5356 합금의 기계적 성능을 향상시키기 위해, 미량의 Sc과 Zr이 첨가된 Al 5356 와이어를 사용하여 WAAM 공정으로 제조하고, 그 미세조직, 기공 거동 및 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. Al-Mg-Sc-Zr 합금은 Sc, Zr, Ti 등의 미세합금 원소 첨가로 인해 평균 결정립 크기가 약 13.94~18.06 μm로 미세화되었으며, 이와 함께 Al_3(Sc,Zr,Ti)와 같은 강화상이 형성되었다. 이는 응고 과정에서 Sc과 Zr이 효과적인 핵생성 사이트(nucleation site)로 작용했기 때문으로 판단된다. XCT (X-ray Computed Tomography) 분석 결과, 층간 경계면(interlayer boundaries)에 층간 기공이 관찰되었으며, 평균 기공률이 1.02%로, 기존의 Al-5356(0.02%)보다 높게 나타났다. 이러한 차이로 인해 인장 물성에서 뚜렷한 이방성이 나타났으며, 수직 방향의 시편(YS : 174.4 MPa, UTS : 225.8 MPa, EI : 6.0%)이 수평 방향의 시편(YS : 185.3 MPa, UTS : 333.1 MPa, EI : 25.3%) 대비 강도 및 연신율이 크게 감소하였다. 상기 내용들과 파단면 관찰 결과들을 바탕으로 WAAM 공정으로 제조한 Al-Mg-Sc-Zr alloy의 변형 거동을 규명하고 및 기계적 특성 이방성을 미세조직학적 관점에서 고찰하였다.

[적층5-3 | 09:30]
적층 제조된 AlSi10Mg 합금의 기계적 특성 향상을 위한 미세조직 기반 열처리 설계: 한재연, 김준혁, 홍현욱*(창원대학교), 이지원, 조현철(두산에너빌리티)
Keywords: AlSi10Mg, Selective Laser Melting (SLM), Si nano-precipitation, Heat treatment design, Tensile properties

AlSi10Mg 합금은 항공 및 방산 부품을 비롯한 다양한 산업 분야에서 활용되고 있으며, 최근에는 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM)과 같은 적층 제조 공정의 적용이 확대되고 있다. 그러나 그러나 적층 제조 공정의 빠른 냉각 속도로 인해 세립화된 수지상 조직과 비평형상의 공정상이 형성되며, 이로 인해 as-built 상태는 균열 발생과 취성 문제로 기계적 특성이 제한적이다. 따라서 후열처리를 통한 미세조직 제어가 필수적이다. 적층 제조된 AlSi10Mg 합금의 후열처리에는 주조 합금에 일반적으로 적용되는 T6 열처리와, 생산성 향상을 목적으로 T6 대비 열처리 시간을 단축한 Annealing 열처리가 적용된다. 그러나 이들 조건은 연신율 향상에는 효과적이지만, as-built 대비 강도가 크게 감소하는 한계를 가진다. 따라서 적층 제조재의 특성을 고려한 새로운 열처리 조건 설계가 요구된다. 본 연구에서는 SLM으로 제조된 AlSi10Mg 합금을 대상으로, T6 및 Annealing 조건에서의 미세조직 변화와 상온 인장 특성을 고찰하였으며, 이를 바탕으로 강도 저하를 완화하면서 연신율 개선 효과를 확보하기 위한 신규 열처리 설계를 시도하였다. As-built 합금은 수지상 α-Al 결정립(5.6–13.8 μm)과 Si-eutectic 입자에 의한 지름 약 380 nm 규모의 network 구조가 관찰되었으며, Al 기지 내부에서는 Si 석출물이 확인되지 않았다. T6 열처리의 경우, 용체화 과정에서 Si 입자의 조대화와 함께 network 구조가 붕괴하였고, 침상의 β-AlFeSi 금속간화합물이 형성되었다. 이어진 시효처리에서는 Al 기지 내부에 약 2–5 nm 크기의 Mg_2Si 천이상이 새롭게 석출되었다. Annealing 조건에서는 Si-network가 부분적으로 붕괴하였고, Al 기지 내부에는 약 10–20 nm 크기의 Si 나노석출물이 관찰되었다. 인장 시험 결과, 두 조건 모두 as-built 대비 강도가 크게 감소하는 반면 연신율은 향상되었으며, 소성 변형 거동의 측면에서 Annealing 조건이 다소 유리한 경향을 보였다. 이러한 결과는 Si-network 붕괴 정도와

석출물의 크기·분포 차이에 따른 변형 메커니즘 변화에서 기인한 것으로 판단된다. 한편, 신규 열처리 조건에서는 기존 T6 및 Annealing 대비 인장 강도와 비커스 경도의 향상이 확인되었으며, 이는 적층제조 Al 합금에 적합한 열처리 전략 수립의 가능성을 제시한다.

[적층5-4 | 09:45]

알루미늄 다공체 구조와 기계적 물성에 미치는 분말 크기의 영향: 최승혁, 김성진, 손승배, 이석재*(전북대학교)

Keywords: Aluminum foam, Powder metallurgy, Microstructure, Mechanical properties

본 연구에서는 다른 크기의 알루미늄 분말을 혼합하여 다공체를 제조했을 때 다공체의 구조적 구조와 기계적 물성을 조사하였다. 다양한 크기의 알루미늄 분말을 사용하여 제작된 다공체에서 분말 크기 변화에 따른 소결 조건별 기공 구조가 다공체의 구조적 건전성과 기계적 물성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 다공체의 구조적 특성은 주사 전자 현미경(SEM)과 엑스선 컴퓨터 단층 촬영(micro-CT)을 이용하여 분석하였으며, 기계적 물성은 압축 시험을 통해 평가하였다. 평균 분말 크기가 작아질수록 다공체의 구조적 건전성이 향상되었고, 기공도와 기공 크기는 동시에 감소하며 셀 벽의 두께가 얇아지는 것을 확인하였다. 압축 강도는 분말 크기가 작아질수록 연속적으로 증가함도 확인하였다. 본 연구의 결과는 알루미늄 다공체의 기계적 특성을 향상시키는데 기여할 수 있으며 다양한 금속 다공체를 필요로 하는 응용 분야에 활용될 것으로 기대한다.

[적층5-5 | 10:00]

재료 압출 기반 Cu 적층제조 금속의 HIP 처리에 따른 미세조직 및 충격 특성 평가: 홍민기, 임민혁, 배주은, 유현우,이지운*, 홍순직, 문종언, 송기안(국립공주대학교), 이기준(국립금오공과대학교)

Keywords: 금속, 적층제조, 구리

항공우주, 해양, 자동차, 의료 등 여러 분야에서 경량화, 정밀성 등 여러 목적으로 금속 적층제조를 활용하고 있으며, 금속 적층제조를 통해 부품의 형상에 제약없이 제작이 가능하여 금속 적층제조에 대한 수요가 증가하고 있다. 금속 적층제조 방식으로 직접 에너지 증착 방식 (Direct Energy Depositon, DED) 및 분말 적층 용융 (Powder Bed Fusion, PBF)이 주로 사용되며 재료 압출 (Material Extrution, ME) 결합체 분사 방식(Binder Jetting, BJ) 등 여러 방법으로도 금속 적층제조가 가능하다. 구리와 같이 높은 반사율로 에너지를 직접 조사하기 어려운 금속을 재료 압출 방식을 통해 적층제조가 가능하나 출력물의 해상도와 기계적 성능이 타 적층제조 방식에 비해 열세를 보이고 있다. 이를 보완하고자 열간 등방압 가압 (Hot Isostatic Pressure, HIP) 처리를 하여 상온 및 극저온에서의 충격 저항 및 미세조직을 분석하였다. 본 실험을 진행하기 위해 재료 압출 기반 FDM 출력 방식의 3D 프린터를 활용하여 금속 적층제조를 실시하였다. Pure Cu 분말이 혼합된 금속 필라멘트를 이용하여 “Green parts”를 출력하였고, 탈지 및 소결 공정을 통해 바인더를 제거하여 “Sintered parts”를 제작하였다. 적층한 Cu 시편 일부를 HIP 처리한 후 (950ºCºC, 1000bar, 4H) 충격 시편을 제작하여 상온 및 극저온 환경에서 충격시험을 진행하였다. 충격 시편의 파단면과 주변부 및 단면을 SEM 촬영, ESBD분석 미세조직 거동을 분석하였다. HIP 처리한 시편이 As-built 시편보다 충격에너지 및 상대 밀도가 높았으며 극저온 충격시험에서 쌍정 변형이 발생하여 이로 인해 극저온에서의 충격 특성이 향상되었다. 적층 각도에 따른 충격에너지 차이가 매우 크게 나타났으며 90º의 경우 파괴 거동이 다른 형식으로 진행되었음을 확인하였다. HIP 처리를 통해 내부 기공 제거에 유효함을 확인하였으나 밀도 변화가 미미하여 HIP 처리 조건에 대한 고찰이 필요하며 적층 각도에 따른 기계적 성능 격차를 보완해야 한다.

[적층5-6 | 10:15]

Parametric study for size optimization for laser powder bed fusion fabricated parts: Raihan Hashmi Muhammad, Soung Yeoul Ahn, Bon Woo Koo, Man Jae Sagong, Hyojin Park, Jae Heung Lee, Rae Eon Kim, Hyoung Seop Kim*(포항공과대학교)

Keywords: Part size optimization, Laser Powder Bed Fusion, Finite Element Analysis, Optimal Processing window

Laser Powder Bed Fusion (LPBF) has become a very common fabrication method and is used in numerous manufacturing industries such as aerospace, biomedical, automotive. Industrial applications require part sizes with dimensions varying from the lab scale parts produced and therefore require their own optimized parameters such as scan speed and laser power, which contribute towards volumetric energy density. This study investigates simulation based and experimentally validated optimized parameters for LPBF parts that increase in size and thus proposes an optimized processing window for parts as their size increases. By matching thermal profiles of the smaller optimized parts, to large sized parts, it may be deduced that their microstructure and mechanical properties would be the same. Results show that the scan speed and laser power are crucial in maintaining optimized parameters for jobs with successive increase in size .

[적층6-1 | 10:40]

Cold Spray Additive Manufacturing for Nuclear Energy Applications: 염화성*(포항공과대학교)

Keywords: Cold spray additive manufacturing, Nuclear energy, coatings

Cold spray additive manufacturing (CSAM) has been actively investigated in the nuclear energy sector by virtue of its capability of depositing metallic or metallic-ceramic composite coatings with extremely high density, high deposition rates, and with low thermal input to the substrate. In this talk, general features for CSAM will be introduced first such as spray system configuration, deposition mechanism, and deposited material characteristics. The technical developments and scientific underpinnings of three examples of CSAM applications, namely, coating deposition, near-net shape manufacturing, and defect repair will be discussed in the context of

nuclear energy applications. Cold spray Cr coatings have been shown to enhance corrosion/oxidation resistance of zirconium-alloy cladding, the 4-m length tubes that hold the uranium-dioxide fuel pellets in light-water reactor (LWR). Second, free-standing oxide dispersion strengthened (ODS) steel cladding tubes for fast reactor fuel element have been manufactured using CSAM. ODS steels have superior elevated temperature strength and radiation damage resistance compared to conventional ferritic/martensitic steels. Finally, the application of CSAM is the leading technology for repair and mitigation of stress corrosion cracking (SCC) in spent fuel storage canisters in USA and ROK.

[적층6-2 | 10:55]

Additively Manufactured $L1_2$-Strengthened High-Entropy Alloys: Improved Mechanical Properties via Direct Aging-Induced Heterostructures: Nam SeungJin(고려대학교), Sang Guk Jeong(포항공과대학교), Hahun Lee, Tae Jin Jang(고려대학교), Hyoung Seop Kim(포항공과대학교), Seok Su Sohn*(고려대학교)

Keywords: Additive manufacturing, High-entropy alloys, $L1_2$ nanoprecipitates, Heterostructure-induced hardening

The development of additive manufacturing (AM) has prompted interest in designing alloys optimized for its unique processing characteristics. $L1_2$-strengthened high-entropy alloys ($L1_2$-HEAs) offer a promising pathway to overcome the strength–ductility trade-off. However, AM-processed $L1_2$-HEAs often suffer ductility loss after aging due to elemental segregation at dislocation cells, which promotes brittle intermetallic formation. In this study, an alloy composition with improved FCC–$L1_2$ phase stability was designed and fabricated via laser powder bed fusion (L-PBF). Mechanical properties were evaluated under four conditions: as-built (AB), direct aging (DA), recrystallized (RX), and recrystallized followed by aging (RA). AB showed columnar grains, while RX exhibited fully equiaxed grains. Aging produced $L1_2$ nanoprecipitates in both DA and RA, with DA additionally displaying grain refinement from partial recrystallization. DA achieved an excellent strength–ductility balance (yield strength 1.1 GPa, ultimate tensile strength 1.6 GPa, uniform elongation 18%) through the combined effects of order strengthening and heterostructure-induced hardening. Loading-unloading-reloading (LUR) tests further revealed higher back stress in DA than in RA, indicating that partially recrystallized grains enhance heterostructure-driven deformation behavior. These findings demonstrate the potential of microstructure control via tailored heat treatment to optimize mechanical performance in AM-processed $L1_2$-HEAs.

[적층6-3 | 11:10]

Fe–Co–Cr–Ni–Mo 기반 철계 중엔트로피 합금의 최적 조성 탐색 및 시험: Direct energy deposition (DED) **기반** in-situ alloying: 구본우, 이재흥, 이지영(포항공과대학교), 김대겸(한국생산기술연구원), 이정완, 김은성, 하효정(포항공과대학교), 김택수(한국생산기술연구원), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: In-situ alloying, Direct energy deposition, High-throughput synthesis, 중엔트로피 합금

기존의 시행착오 기반 합금 설계 방식은 고엔트로피 합금(HEA)과 같이 조성이 복잡한 합금계의 등장과 함께 한계에 직면하고 있다. 최근 원소 분말을 활용한 direct energy deposition(DED) 기반 in-situ 합금화 공정이 이러한 한계를 극복할 유망한 접근법으로 제시되었다. 그러나 각 분말 간의 큰 융점 차이는 불완전한 용융을 초래하며, 이는 FeCoCrNiMo 철계 중엔트로피 합금(FeMEA)과 같은 복잡한 합금계 설계에 적용하는 데 기술적 제약이 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고 FeCoCrNiMo FeMEA 합금계의 가속화된 합금 개발 및 평가(accelerated alloy discovery and testing, ADAT)를 구현하기 위해 고도화된 in-situ 합금화 공정을 제안하였다. 이를 위해 $Fe_{65}Co_{20}Mo_{15}$ (at%), $Fe_{33.4}Cr_{33.3}Ni_{33.3}$ (at%), $Fe_{64}Co_{29}Cr_7$ (at%) 세 종류의 분말을 설계·제조하여 합금화 과정에서의 융점 차이를 최소화하면서도 광범위한 조성 범위를 구현할 수 있도록 하였다. 제안된 방법을 통해 총 27종의 넓은 조성 범위를 갖는 FeCoCrNiMo FeMEA 시편을 성공적으로 제조하였으며, 모든 시편에서 균일한 조성과 목표 조성의 정합성이 확인되어 공정의 우수성이 입증되었다. 이 중 #4($Fe_{53.9}Co_{16.8}Cr_{11.7}Ni_{11.5}Mo_{6.0}$)와 #7($Fe_{52.9}Co_{16.1}Cr_{12.8}Ni_{12.5}Mo_{5.6}$) 합금은 FCC 단일상 구조를 유지하면서 가장 높은 경도를 나타내어 벌크 시편으로 제작되었다. 인장 시험 결과, #4 합금은 향상된 가공경화 거동과 우수한 인장 특성을 보여 최적 조성으로 도출되었다. 본 연구는 고속·대량 합성 기법을 활용한 신합금 개발 가속화에 유용한 설계 전략과 실험적 근거를 제공한다.

[적층6-4 | 11:25]

L-PBF 공정을 적용한 산화물 분산 강화형 CoCrNi 중엔트로피 합금의 제조와 그 극저온 기계적 특성: 최은비, 김수빈, 박소연(인하대학교), 김영균(한국재료연구원), 이기안*(인하대학교)

Keywords: Laser powder bed fusion, Medium entropy alloy, Tensile Property, Cryogenic, Deformation twinning

등원자 조성의 CoCrNi 중엔트로피합금(MEA)은 CrMnFeCoNi 고엔트로피합금(HEA, 소위 Cantor 합금)을 기반으로 조정된 가장 대표적인 재료이다. 이 합금은 Cantor 기반 합금들 중 가장 우수한 극저온 및 상·고온 물성을 나타내며, 차세대 구조 재료로 주목받고 있다. 금속 적층제조(AM) 기술인 레이저 분말 베드 융합(L-PBF)은 급속 응고와 높은 열구배로 인해 미세조직 미세화 효과와 높은 전위 밀도를 합금에 부여할 수 있는 것으로 알려져 있다. 특히 산화물 등의 강화입자를 고르게 분산시켜 높은 물성의 복합재료 구현을 가능케하는 고성능 복합재료 제조 전략으로도 활용된다. 본 연구에서는 약 1,300 ppm 수준의 높은 산소 농도를 함유한 CoCrNi 분말들을 L-PBF 공정에 적용하였다. 이 과정에서 분말 내 축적된 산소는 Cr과 반응하여 공정 중 Cr-rich 산화물 형성을 유도하였으며, 별도의 강화입자 첨가 없이도 산화물 분산강화 효과를 유도할 수 있었다. 이 산화물 분산강화형(ODS) CoCrNi MEA 합금에 대해, 미세조직을 분석하고, 상온 (298 K) 및 극저온 (77 K)에서 인장 시험을 수행하였다. 제조된 L-PBF ODS CoCrNi MEA 합금은

단일 FCC 상과 <001>, <111> 방향으로의 epitaxial grain 성장을 보였으며, TEM 및 EELS 분석 결과 Cr-rich 산화물이 고른 분포로 존재하였다. 산화물의 크기는 평균 48.7 nm로 미세하였으며, 분율은 1.6 vol.%로 측정되었다. 상온 및 극저온 인장 시험 결과, 항복 강도는 298 K: 798.7 MPa, 77 K: 1084.5 MPa이고, 인장 강도는 298 K: 1042.1 MPa, 77 K: 1485.5 MPa, 그리고 연신율은 298 K: 39.1 %, 77 K: 27.3 %로 확인되었다. 극저온에서 기계적 특성은 항복강도의 경우 상온 대비 약 35%, 인장 강도의 경우 약 42% 증가하였으며, 연신율은 일부 감소하였으나 여전히 우수한 수준이었다. 높은 분율의 산화물은 substructure를 효과적으로 강화시키며, 변형 중 결정립과 같은 역할을 함에 따라 기계적특성을 효과적으로 향상시킨 것으로 제시되었다. 상기 결과를 기반으로 L-PBF 기반 CoCrNi MEA의 극저온 변형 기구를 규명하고, 향후 극한 환경용 금속 구조재로의 응용 가능성을 제시하고자 하였다.

[적층6-5 | 11:40]

셀 구조 조절을 통한 초고강도·고연성 적층제조 마레이징 중엔트로피 합금 개발: 이재홍, 권현석*, 구본우(포항공과대학교), 정상국(한화에어로스페이스), 왕재민(막스플랑크 연구소), 안성열(포항공과대학교), 조성재(공주대학교), Stefanus Harjo, Wu Gong(J-PARC 연구소), 이성보(서울대학교), 홍순직(공주대학교), 홍순익(충남대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 마레이징 중엔트로피 합금, 적층 제조, 셀 구조, 기계적 물성, 변형 거동

마레이징강은 초고강도 강종으로 항공우주, 자동차, 방위 산업 분야에서 널리 사용되며, 최근 적층 제조의 발전으로 복잡한 형상의 부품에도 적용 가능성이 열리고 있다. 그러나 마레이징강의 제한된 변형 경화능은 적층 제조 시에도 동일하게 나타나며, 이로 인하여 광범위한 활용이 제약한다. 본 연구에서는 뛰어난 기계적 성능을 보이는 새로운 LPBF 제조 $Fe_{60}Co_{25}Ni_{10}Mo_5$ (at%) 마레이징 중엔트로피 합금을 제시한다. 공정 최적화를 통해 기공률이 0.2% 미만인 완전 치밀 구조의 LPBF 시편을 제작하였으며, 제작된 시편은 셀 경계에 Mo 편석이 나타나는 셀 구조를 보였다. 650도에서 시효 처리 시, 셀 경계가 Mo-rich 나노 레이어와 FCC 나노 결정립으로 변하며, 셀 내부에 μ상 석출물이 형성되었다. 이는 강도를 향상시키지만, Mo-rich 나노 레이어의 악영향으로 연성이 저하되었다. 반면 700도에서 시효 처리하면, 유해한 Mo-rich 나노 레이어가 크게 감소하고, 균일하게 분포된 준안정 나노 FCC 결정립이 더욱 활발하게 형성되어, 변형 경화능과 연성이 크게 향상되었다. 그 결과, 항복강도 1484.4 ± 13.1 MPa, 인장강도 1749.5 ± 0.7 MPa, 균일 연신율 10.0 ± 0.9%라는 LPBF 제조 초고강도 철계 합금 중 기록적인 인장 물성을 달성하였다. 초고강도, 뛰어난 변형 경화 거동, 그리고 우수한 형상 구현 능력의 시너지는 본 LPBF 제조 마레이징 중엔트로피 합금이 첨단 구조 재료로써 광범위하게 활용될 수 있음을 보여준다.

[적층7-1 | 14:00] Canceled

[적층7-2 | 14:15]

L-PBF로 제조된 Ti, Si-modified Al-Zn-Mg-Cu 합금의 적층성 및 기계적 특성 향상: 장동민, 김수빈(인하대학교 / Inha Univ.), 이마태(포항공과대학교), 최중호, 김경태(한국재료연구원), 이병주(포항공과대학교), 이기안*(인하대학교 / Inha Univ.)

Keywords: Laser powder bed fusion, Al-Zn-Mg-Cu, Ti 첨가, Si 첨가, 미세조직, 기계적 물성

고강도 Al–Zn–Mg–Cu 합금 (Al7075)은 우수한 기계적 특성을 지니고 있으나, 레이저 분말 적층 공정(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용할 경우 높은 열균열 민감성으로 인해 제조가 어려운 단점이 있었다. 본 연구에서는 1 wt.% Ti와 0.8 wt.% Si를 첨가하여 Al7075 합금의 L-PBF 적층성 및 기계적 성능을 동시에 향상시키고자 하였다. Ti 첨가는 나노 스케일 Al_3Ti 입자의 형성을 촉진하여 결정립을 미세화하고 응고 거동을 개선함으로써 열균열을 억제하였다. Si 첨가는 응고 범위를 축소하여 균열 민감성을 추가적으로 저감시키는 동시에, Mg_2Si 석출을 촉진하여 석출경화를 유도하였다. 제조된 합금은 99.9% 이상의 상대 밀도와 낮은 균열 발생률을 달성하였으며, 경도 118.93 HV, 항복강도 398.6 MPa, 인장강도 487.7 MPa 그리고 연신율 8.00%를 나타냈다. 미세조직 분석 결과, 결정립 미세화, 석출경화, 응고 거동 개선이 복합적으로 작용하여 성능 향상에 기여함을 확인할 수 있었다. 이상의 결과들과 함께 파단면 분석을 통해 강화 메커니즘과 파단 거동을 규명하였으며, Ti, Si의 첨가로 제조된 Al7075 합금의 구조용 소재로서의 적용 가능성을 제시하고자 하였다.

[적층7-3 | 14:30]

Process Strategies to Enable Ti-6Al-4V Fabrication by Digital Light Processing: Gal Chang Woo*(Korea Institute of Materials Science), Yeong-Jin Choi (Korea Institute of Materials Science,Korea University of Science and Technology), Honghyun Park (Korea Institute of Materials Science), Hui-suk Yun *(Korea Institute of Materials Science,Korea University of Science and Technology)

Keywords: Ti-6Al-4V, Photopolymerization, Digital Light Processing, Debinding, Sintering

Digital Light Processing (DLP) has emerged as a promising additive manufacturing technique, offering advantages such as high precision, smooth surface quality, and the ability to fabricate complex geometries. Despite these merits, its application to metallic materials remains limited, primarily due to the difficulties in achieving sufficient curing of metal-containing resins and final properties of component. These challenges hinder the reliable fabrication of defect-free metal components. To address these issues, this study focused on the development of a tailored slurry system and optimized process conditions for Ti-6Al-4V in DLP printing. A photocurable resin system was designed to improve slurry stability and printability, enabling the successful DLP fabrication of Ti-6Al-4V components. Through systematic evaluation of rheology, debinding, and vacuum sintering conditions, the process yielded structures with stable flow behavior, uniform densification, controlled interstitial content, and reliable interlayer bonding. Furthermore,

cytotoxicity testing confirmed the biocompatibility of the sintered Ti-6Al-4V, indicating its suitability for biomedical applications. Overall, the results demonstrate that rational resin system design and process optimization can mitigate the inherent challenges of metal DLP, underscoring the potential of DLP as a viable route for producing metallic components, with broad implications for biomedical, aerospace, and industrial applications.

[적층7-4 | 14:45]

레이저 클래딩 기반 타이타늄-텅스텐 카바이드 복합재의 하드페이싱 특성 연구: 이승민(한국생산기술연구원,부산대학교), 박석희(부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

Keywords: 레이저 클래딩, 타이타늄-텅스텐 카바이드, 희석률, 미세조직, 기계적 특성

상업용 순수 타이타늄(CP Ti)은 우수한 내식성, 생체적합성, 비강도 등의 특성으로 항공 우주, 의료, 화학 공정 산업 등에서 널리 사용되고 있다. 그러나 낮은 경도와 내마모성으로 인해 가혹한 사용 환경에서는 적용에 한계가 존재한다. 특히 하드페이싱과 같이 표면에 우수한 기계적 특성이 요구되는 분야에서는 기계적 손상과 표면 피로에 취약하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 금속 매트릭스 복합재(MMC)를 개발하는 다양한 연구가 주목받고 있으며, 특히 높은 경도와 강성을 갖는 텅스텐 카바이드(WC)를 첨가한 Ti 기반 복합재가 유망한 대안으로 제시되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 CP Ti(Grade 2) 기판 위에 CP Ti 분말과 WC 분말을 두 개의 호퍼를 통해 동시 공급하여 직접 에너지 융착(Direct energy deposition, DED) 기반의 레이저 클래딩 공정을 진행하였다. 공정 시 주요 변수인 레이저 파워, 스캔 스피드, 분말 공급량, 분말 혼합 비율을 다양한 조건으로 정밀하게 제어하여, 각각의 공정 조건에 대한 희석률을 도출하였다. 특히 본 연구는 기존 연구와 달리 DED 기반 공정에서 조건별 희석률을 체계적으로 분석하고, 이를 기반으로 WC 함량 변화에 따른 기계적 특성 평가를 수행하였다는 점에서 차별성을 갖는다. 최적의 희석률 범위 내에서 WC 함량에 따른 시편을 제작하여, OM 및 SEM/EDS/EBSD 분석을 통해 미세조직 및 강화상 분포를 관찰하였다. 또한 경도, 볼 온 디스크 마모 시험을 통해 기계적 특성을 정량적으로 분석하였다. 결과적으로 WC 함량이 증가함에 따라 기지의 상 변화 및 강화상의 석출 거동에 뚜렷한 차이가 나타났으며, 경도 향상을 확인하였다. 그러나 내마모 특성은 코팅층 내 미용융된 WC 입자가 연마마모로 작용하여 COF 수치가 증가하였고, 그 결과 경도 향상에 비해 제한적으로만 개선되는 경향을 확인하였다. 본 연구는 적절한 희석률을 설정함으로써 기판과의 우수한 금속학적 접합성을 사전에 확보할 수 있었으며, 강화상 함량과 공정 조건의 조합이 기계적 성능에 중요한 영향을 미침을 확인하였다. 따라서 CP Ti 기반 복합재의 하드페이싱 적용 가능성을 제시함과 동시에, WC 강화재의 함량 및 공정 변수 최적화 적용을 위한 기반 데이터를 제시하고자 한다.

[적층7-5 | 15:00]

합성곱 신경망(CNN)을 이용한 Ti6Al4V 합금 다공체의 기계적 특성 예측: 김성진, 손승배, 이석재*(전북대학교)

Keywords: 합성곱 신경망, 기계적 특성 예측, Ti6Al4V 합금 다공체

최근 연구에서 다공성 재료의 기계적 특성 예측을 위해 딥러닝을 적용하려는 시도가 증가하고 있다. 본 연구에서는 CT 이미지를 통해 Ti6Al4V 합금 다공체의 기계적 특성을 예측하기 위해 합성곱 신경망(CNN)을 적용했다. 모델 학습을 위해 40~70% 범위의 기공도 및 기공도에 따른 압축강도 데이터를 준비하였다. CT 이미지와 기공도 및 압축강도를 조합한 후 기공도와 압축강도를 각각 학습시켰다. 작성된 모델은 0.9707 및 0.9906 이상의 높은 결정계수의 값으로 정확하고 효율적인 기공도 및 압축강도 학습이 진행되었다. 검증을 위해 44, 55, 66%의 기공도를 가진 Ti6Al4V 합금 다공체를 제작하여 CT 이미지 촬영 및 압축시험을 진행하였다. 작성된 모델을 통하여 검증을 위해 제작된 다공체의 기공도 및 압축강도를 예측하였다. 그 결과, CT 이미지를 통해 실제 기공도와 압축강도에 대해 높은 정확도를 나타내는 예측 결과가 나타났다. 추가로, Grad-CAM 기법을 신경망의 압축강도 예측 과정을 시각화함으로써 Ti6Al4V 합금 다공체의 압축강도 예측 시 신경망의 작동원리를 규명했다. 이 연구는 압축 시험 없이 기계적 특성을 예측할 수 있는 이점을 얻을 수 있음을 보여준다.

[적층7-6 | 15:15]

Directed Energy Deposition(DED) 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V와 산화물 분산 Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 특성 비교: 정재우, 이윤선, 성지현, 김건우, 김다혜*(한국생산기술연구원)

Keywords: DED, 산화물 분산 강화합금, Ti-6Al-4V, 미세조직, 기계적 물성

Ti-6AI-4V 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성을 바탕으로 항공·우주, 방위산업, 원자력등 극한 환경의 구조재로 널리 사용된다. 그러나 장시간 고온환경에서는 결정립 성장 및 기계적 특성 저하가 발생하는 한계가 있다. 산화물 분산 강화는 나노 크기의 안정한 산화물을 기지 내에 분산시켜 고온에서도 조직 안정성을 유지하고 강도 및 크리프 저항성을 향상시키는 방법으로, 주로 초합금이나 내열강 분야에서 활용되어왔다. 하지만 기존의 전통적인 산화물 분산 강화합금을 활용한 부품 제조 공정은 산화물 분산 제어가 어렵고, 성형·가공 자유도가 낮으며, 대형의 복잡한 형상의 부품 제작에 한계가 있다. 본 연구에서는 Ti-6A-4V 기반 산화물 분산 합금 분말과 DED(Directed Energy Deposition) 적층제조 기법을 이용하여 공정 중의 빠른 냉각속도와 다중 열이력을 활용한 산화물 석출·분포 제어 가능성을 검토하고, 우수한 물성의 부품 제조 가능성을 평가하고자하였다. 산화물 분산 Ti-6AI-4V 적층소재의 미세조직을 Ti-6AI-4V 적층소재와 비교 분석을 통해 산화물 입자에 의한 미세조직 변화를 분석하였다. TEM분석을 통해 수 나노미터 크기의 산화물이 기지내에 고르게 분포되어있음을 확인하였고, Columnar Structure 형성을 억제하고 보다 균일한 결정립 분포를 형성하는것을 확인하였다. 인장시험을 통해 약 11-13%의 강도 향상 효과를 확인하였으며, 고온 안정성을 비교 평가하였다. 이 논문은 2025년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.21-106-A00-006, 반응성 분말용 고증착률 DED적층제조 모듈 개발 및 대상 국방부품 최적보수기술개발)

[적층8-1 | 15:40]

Ti-6Al-4V 격자 구조의 L-PBF와 EB-PBF 공정 차이에 따른 파단 거동 및 기계적 특성 분석: 박유지(국민대학교), 강성민(가천대학교), 강성규(경상국립대학교), 이경준(가천대학교), 성효경*(국민대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, 적층제조, 격자구조, 표면형상, 압축거동

Ti-6Al-4V 합금은 우수한 비강도와 내식성, 생체적합성을 바탕으로 항공 및 의료 분야에서 핵심 소재로 활용되고 있으며, 최근 적층 제조 기반의 경량 격자 구조 설계가 주목받고 있다. 본 연구에서는 L-PBF(Laser Powder Bed Fusion)와 EB-PBF(Electron Beam Powder Bed Fusion) 공정을 적용하여 Auxetic, Dode-thin, Tesseract 격자 구조체를 제작하고, 공정·격자구조·표면 형상이 압축 특성과 파단 거동에 미치는 영향을 체계적으로 규명하였다. 압축 시험 결과, Auxetic 구조는 음의 푸아송비 변형을 통해 우수한 에너지 흡수 능력을 확보하였고, Dode-thin 구조는 하중 증가에 따라 굽힘 지배에서 신축 지배로 전환되며 점진적 강도 향상을 나타냈다. Tesseract 구조는 축방향 하중 전달 효율이 높아 초기 단계부터 높은 강성과 강도를 유지하였다. 변형 후 미세조직 분석 결과, L-PBF는 고밀도의 침상 α′ 마르텐사이트, EB-PBF는 조대한 α+β 집합조직을 형성하여 기계적 응답 차이를 유발하였다. 표면 형상 분석에서는 L-PBF가 상대적으로 낮은 거칠기(Ra ≈ 9.5 μm, Rz ≈ 53 μm)를, EB-PBF가 높은 거칠기(Ra ≈ 32.7 μm, Rz ≈ 203 μm)를 나타냈으며, 이러한 차이가 파단 에너지 및 파단 메커니즘에 직접적으로 작용함을 확인하였다. 측정된 형상 파라미터를 기반으로 MATLAB 난수 모델링과 ABAQUS 유한요소해석을 수행하여 스트럿 단위의 파괴 거동을 모사하였다. 해석 결과, 공정별 표면 기인 응력 집중과 비대칭 변형은 파단 개시 및 에너지 흡수 용량에 유의미한 차이를 초래하였다. 본 연구는 적층 제조 공정, 격자 구조, 표면 형상을 아우르는 다중 요인 분석을 통해 Ti-6Al-4V 합금 격자의 기계적 특성과 파단 거동을 정량적으로 규명하였다. 이러한 결과는 항공 및 고성능 구조체 설계를 위한 최적 격자 설계 전략 수립에 기초 자료를 제공한다.

[적층8-2 | 15:55]

Ti-6Al-4V 옥텟트러스 격자구조체의 구조 및 미세조직 변화에 따른 압축 변형 거동 분석: 차다은, 박준영(경상국립대학교), 김종형(국립부경대학교), Muhammad Ishtiaq, 강성규*(경상국립대학교)

Keywords: 타이타늄 합금, 격자구조체, 적층제조, 미세조직, 기계적특성

격자구조체는 내부 기공 채널과 규칙적인 재료의 배열 덕분에 높은 비강도와 우수한 충격흡수능을 가지고 있다. 적층제조에 용이하여 Ti-6Al-4V 합금을 사용한 격자구조체의 연구는 활발히 진행되어 왔으나 적층제조의 열이력으로 인한 a’ 마르텐사이트 미세조직이 발달하여 취성 파괴에 기반한 압축거동이 보고되었다. 본 연구에서는 열처리를 통해 취성 변형 특성을 가지는 미세조직을 제어하고 기하학적 형상인 스트럿의 두께를 변화시켜 격자구조체의 변형 거동을 분석하였다. 미세조직 제어를 위하여 적층제조 후 900도에서 열처리하여 a’ 상, a 상, 그리고 b 상의 분율을 다양화하였고 좌굴변형 제어를 위하여 옥텟트러스 격자구조체의 단위구조체의 크기는 3.3 mm로, 스트럿 두께는 좌굴 변형을 고려하여 0.4, 0.5, 0.6 mm로 각각 설정하였다. 계장화 압입시험과 압축시험을 통해 기계적 특성을 정량화하였으며 As-built 시편에서 strut 직경 0.4, 0.5, 0.6 mm의 항복강도와 에너지 흡수능은 각각 213.5 MPa·17.8 MJ/m^3, 282.9 MPa·24.1 MJ/m^3, 340.9 MPa·39.7 MJ/m^3으로 나타났으며, 900 ºC 열처리 후에는 각각 182.2 MPa·10.3 MJ/m^3, 262.7 MPa·20.7 MJ/m^3, 326.2 MPa·37.3 MJ/m^3으로 변화하였다. 본 연구를 통해 적층제조 기반 금속격자구조체의 기계적 특성 향상을 위한 전략을 제시할 수 있을 것이라 기대한다.

[적층8-3 | 16:10]

Effect of Compositional Intermixing on the Mechanical and Biological Properties of the DLP 3D printed Titanium Alloy (Ti64) and Hydroxyapatite (HA): Bilal Muhammad(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Material Science (KIMS)), Chang Woo Gal(Korea Institute of Material Science (KIMS)), Hui suk Yun*(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Material Science (KIMS))

Keywords: DLP Processing, Cross Contamination, Mechanical Properties, Bioactivity

Bone implants are required to support the mechanical loads while also promoting the biological functions, balancing adequate stiffness with bioactivity for bone integration. Combining metallic and ceramic phase through multi-material printing offers a pathway to achieve this balance. Among the various approaches, Digital Light Processing (DLP) is particularly promising as it enables precise control over material compositions, allowing customized mechanical and biological properties. However, the most challenging aspect of this process is cross contamination between materials, which can impair both mechanical performance and biological functions. At the same time extensive cleaning to prevent it, increase process time, raising concerns about the acceptable contamination levels. This study investigates the mutual effect of compositional intermixing between Ti-6Al-4V (Ti64) and Hydroxyapatite (HA) to determine the tolerable contamination limits that preserve performance while enhancing fabrication efficiency. Slurries were formulated by optimizing dispersant content, solid loading, and photo initiator (PI) concentration to ensure smooth printability using DLP. Composites systems with low weight fractions (0.1, 0.5, 1, 2, & 3 wt%) of HA in Ti64 and Ti64 in HA were fabricated, and their densification, mechanical response, and bioactivity were systematically evaluated. Results showed that the increasing intermixing reduced compressive strength in both systems, while apatite formation in simulated body fluid confirmed the effect of small additions on the bioactivity. The findings highlight the influence of low-level intermixing on densification behavior, dimensional stability, mechanical properties, and apatite-forming ability offering insights for designing bioactive, multi-material implants.

[적층8-4 | 16:25]

A Study on Photocurable Resin Systems to Enhance the Additive Manufacturing Perfomance of Ti-6Al-4V: Cho Haejoo(Korea University,Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Chang Woo Gal(Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Joonho Lee(Korea University), Hui-suk Yun*(Korea Institute of Materials Science (KIMS), University of Science and Technology (UST))

Keywords: Digital Light Processing, Ti-6Al-4V, Photocurable resin system

Recent advances in metal additive manufacturing (AM) have driven demand for rapid production of fine, complex structures, particularly in biomedical and aerospace applications. This trend has increased interest in photopolymer-based processes that cure entire resin layers simultaneously, in contrast to laser-based methods that melt powder point-by-point. Digital Light Processing (DLP) offers micron-level resolution determined by projector pixel size, faster build speeds, and compatibility with diverse photocurable resins. It also allows in-process resin replacement for multi-material structures and recovery of unused resin for reuse, reducing waste and cost. In contrast, powder bed fusion (PBF) processes such as selective laser melting require high energy input (efficiencies of only 10-20%) and inert gas atmospheres, while directed energy deposition (DED) faces high equipment costs and material constraints. However, applying DLP to metals presents challenges, including sedimentation and phase separation resulting from density mismatch between powder and resin, as well as cracking, oxidation, and reduced mechanical properties caused by residual carbon and oxygen after incomplete binder removal. This study addresses these issues through resin system design. Various acrylate and methacrylate monomers were screened for low post-debinding residue and suitable photocuring ability, identifying TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate) as a promising alternative to conventional TMPTA systems. Ti-6Al-4V (Ti64) slurries with identical 50 vol% powder loading were formulated, printed via DLP, and processed by water debinding, thermal debinding, and sintering. The sintered bodies were characterized in terms of density, oxygen and carbon content, and mechanical properties. The results indicate that TEGDMA-based resin exhibits lower residual content after debinding and suitable photocuring ability, suggesting its potential for Ti64 fabrication via DLP printing. The goal of this research is to develop a resin formulation that minimizes oxidation and porosity while maintaining printability, thereby enabling the fabrication of high-purity, high-density Ti64 alloys. Ultimately, this approach could serve as a framework for extending DLP-based metal AM to other alloy systems, enhancing both process reliability and material performance in advanced manufacturing applications.

[AW-4 | 16:40] 세이해암학술상 수상기념강연

금속복합재료의 in situ alloying 기반 적층제조: 류호진(한국과학기술원)

최근 항공우주, 국방, 조선해양, 에너지, 의료 등 다양한 산업 분야에서 구조용 금속 부품의 적층제조(AM) 적용이 확대되고 있으며, 이는 복잡 형상의 최적 설계 구현과 신속한 생산이라는 장점에 기인한다. 그럼에도 불구하고, 응고 균열 민감성이나 본질적으로 낮은 레이저 흡수율과 같은 요인으로 적층제조성이 제한된 고성능 합금들은 공정 결함 발생으로 인해 현장 적용에 어려움을 겪는다. 금속기지에 강화재를 도입하는 금속복합재료(MMC)는 기존 상용 합금의 한계를 넘어선 성능을 제공할 수 있으나, 강화재 도입 공정이 표준 적층제조 공정과 양립성이 낮아 본격적인 적용이 제한되어 왔다. 본 연구에서는 상용 금속 분말에 다양한 세라믹 강화재를 첨가해 복합 분말을 제조하고 레이저 적층제조를 수행함으로써, 공정 중 금속 기지에서 발생하는 in situ 합금화(in situ alloying) 메커니즘을 규명하였다. 아울러 in situ 합금화가 적층제조된 합금 및 금속복합재의 미세조직과 강화 기구에 미치는 영향을 분석하였으며, 특히 초내열합금의 고온 기계적 특성 변화를 중점적으로 평가하여 부족한 적층제조성을 개선할 수 있는 방안을 모색하였다. 향후 복합 분말 제조의 스케일업이 이루어져 in situ 합금화 기술이 다양한 합금계의 적층제조에 폭넓게 적용된다면, 금속복합재료는 극한 환경용 구조재료의 성능 한계를 돌파하는 대안으로 자리매김할 것으로 기대된다.

에너지재료
Room 2층 208, 10월 30일

[에너지1-1 | 09:00]
Tracking the Atomic-Scale Origin of the Overpotential-Driven Water Oxidation Mechanism on $LaCoO_3$: Park Chang Hyun, Lim younghwan(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), CHOI Jin-Seok(KAIST Analysis Center for Research Advancement), CHUNG Sung-Yoon*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))
Keywords: 수전해, 산소발생반응, 에너지재료

The quest for highly durable oxygen evolution reaction (OER) catalysts for green hydrogen production necessitates a systematic understanding of surface dynamics under varying overpotentials. In this work, we present an atomic-scale investigation into the structural and compositional evolution of heteroepitaxial (001) $LaCoO_3$ thin films (20 nm). We reveal two distinct degradation pathways: at moderate overpotentials (≤1.65 V vs. RHE), Å-scale atomic displacements occur within a single unit cell, driving catalytic deactivation even without significant elemental loss. Conversely, at higher voltages (≥1.67 V), we observed a more severe degradation characterized by significant Co leaching and surface amorphization. Multi-technique analysis (EELS, ToF-SIMS, XAS) and DFT calculations confirm that this high-voltage instability is rooted in the oxidation of lattice oxygen, which in turn destabilizes the cobalt-octahedral framework. These findings highlight a new design principle for durable OER catalysts: they must be engineered to resist lattice oxygen oxidation and maintain structural integrity.

[에너지1-2 | 09:15]
Influence of Filler Dimension on the Electrochemical Performance in Composite Solid Electrolytes for All-Solid-State Lithium Metal Batteries: BAEK SEUNGJU, PARK CHANJIN*(Chonnam National University)
Keywords: Composite solid electrolyte, LLZO filler, UV polymerization, Solid-state batteries

The increasing demand for high-energy-density and safe energy storage systems has accelerated the development of solid-state batteries (SSBs). Composite solid electrolytes (CSEs) have attracted significant attention by integrating the mechanical robustness of ceramics with the flexibility of polymers. However, their practical application is still hindered by limited room-temperature ionic conductivity and poor interfacial stability. In this study, we addressed these limitations by introducing a three-dimensional (3D) garnet-type $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ (LLZO) nanofiber network and employing in-situ UV polymerization of a vinyl ethylene carbonate (VEC) matrix. The interconnected ceramic framework provided continuous Li^+ pathways and significantly enhanced room-temperature ionic conductivity. The UV-polymerized matrix formed a uniform polymer phase that ensured intimate filler–polymer contact and improved interfacial compatibility with electrodes. For comparison we also prepared 0D LLZO nanoparticles and 1D LLZO nanorods through sol–gel and electrospinning methods to evaluate the influence of filler dimensionality. Electrochemical analysis revealed that filler dimensionality strongly influenced Li^+ transport. The 3D LLZO-CSE exhibited the highest ionic conductivity of 0.9488 mS cm^{-1} and the widest electrochemical stability window (5.29 V vs. Li/Li^+), owing to its continuous ion-conduction pathways and dendrite-suppressing architecture. In contrast, 0D and 1D LLZO-CSEs showed moderate improvements over the filler-free solid polymer electrolyte (SPE). A Li|3D LLZO-CSE|NCM811 full cell delivered an initial discharge capacity of 191.8 mAh g^{-1} at 0.1 C and retained 72% capacity after 400 cycles at 0.5 C. These results demonstrate that dimensional control of LLZO fillers, combined with UV-polymerized VEC matrices, provides a versatile strategy to optimize ionic conduction and interfacial stability for high-performance SSBs operating at room temperature.

[에너지1-3 | 09:30]
Influence of CeO_x Support Size on Catalytic Performance of Pt/CeO_x-TiO_2 for CO Oxidation: Jieun Yun, Eunji Kang, Ju Hyeok Lee, Hongjin Park, Minkyeong Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National Univ.)
Keywords: Support Size, Pt single atom, CO oxidation

Herein, we elucidate the size effect of oxide materials for catalytic reaction over the Pt single-atom catalysts. Our group provided a rational design of single-atom catalysts in previous research. We found high stability and superior activity of Pt single-atom catalysts anchored at the CeO_x-TiO_2(CT) interfaces. Based on the previous study, we deposited CeO_x nanoclusters on a TiO_2 support to form a CeO_x-TiO_2(CT) hybrid support system and Pt to CT using the set impregnation method. The loading amount of Ce was set to 1 to 6 wt%, and 0.05wt% of Pt was added to CT support. TEM (Transmission Electron Microscope) and XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) confirmed the size difference and structure of CeO_2 on TiO_2. We performed CO oxidation reaction to figure out the effect of activity depending on nCeOx nanocluster (n=1~6 wt%) size. Our results show that the size of ceria clusters adjacent to a single Pt atom plays a crucial role in low-temperature CO oxidation. A combination study of experiment and DFT (Density Functional Theory) calculation revealed that the catalytic performance significantly degrades as the content of Ce increases. The light-off curve indicates that the temperature reaching 100% conversion was the highest. To understand the behavior of Pt single-atom catalyst, we performed a

DFT calculation. In DFT calculation, we constructed the nCeOx-TiO_2 models, which are CeO_2-, Ce_2O_3-, and $Ce_{14}O_{28}$-TiO_2, CeO_2 (100), respectively. Compared with other CT models, large particles of CeO_x, which corresponds to CeO_2 (100), show a somewhat high oxygen vacancy formation energy, indicating that the CO oxidation reaction is not facilitated on a high-loading Ce sample. Based on the combined results of the experiment and theory, We found the inversely proportional correlation between the size of the CeO_x nanocluster and catalytic activity, which is derived from the reactivity of oxygen in $nCeO_x$. Thus, we suggest that the reactivity of oxygen in oxide support, which catalyzes CO via the MvK mechanism, is pivotal to estimating the catalytic activity.

[에너지2-1 | 09:45]

Strain-Engineering of Layered Transition Metal Dichalcogenides for Water Electrolysis: Lee Won-Kyu*(홍익대학교)

Keywords: Transition Metal Dichalcogenides, Strain-Engineering, Water Electrolysis, Catalysis

Transition metal dichalcogenides (TMDs) are promising alternatives for platinum (Pt)-based hydrogen evolution reaction (HER) electrocatalysts used in water electrolysis due to their low cost and high per-site HER activity. The edge sites of MoS2 were verified to be highly active catalytic sites, and various MoS2 HER catalysts have been synthesized via vapor-based (or solution-based) methods, which enhance the density of edge sites through incorporation of nanosized flakes, porous structures, and vertically aligned structures. While effective, these strategies for active site engineering in MoS2 require expensive vacuum equipment and complex synthetic conditions and fabrication processes, limiting their ability to enable scalable water electrolysis [1]. In this talk, I will discuss a general approach to convert mechanically exfoliated TMDs, including MoS2, MoTe2, and PtSe2, into ultraefficient and scalable HER catalysts. For this methodology, the layered van der Waals crystals were dry-transferred onto gold thin films deposited on prestrained thermoplastic substrates. Then, by relieving the prestrain in a tunable manner, spontaneous formation of surface micro- and nanowrinkles caused either the 2H to 1T phase transitions (for the cases of MoS2 and MoTe2) or band structure modulations with overlapped conduction band minimum and valence band maximum (for the case of PtSe2), giving rise to HER greater than Pt in acidic conditions [2-3]. For the first section of this talk, I will focus on the mechanism how the phase transitions over the local areas of wrinkled Mo-based TMDs, due to the internal lattice strains, form heterophase boundaries with charge accumulations in which improved catalytic (re)activity of the materials is possible. Second, the strain-induced band structure engineering will be discussed both with experimental and theoretical analyses, in particular for the Pt-based TMDs and other dirac semimetals [4]. Finally, I will demonstrate the technical advances to integrate these electrocatalysts into proton membrane electrolyzers for the mass production of molecular hydrogen. [1] J. Park, I. Cho, H. Jeon, Y. Lee, D. Lee, J. Zhang, M. K. Cho, D. J. Preston, B. Shong, I. S. Kim, and W.-K. Lee, Advanced Materials 36, 2314031(2024). [2] Y. Lee, S. H. Lee, S. Hahn, J. Park, D. Lee, D. J. Preston, I. S. Kim, M. C. Hersam, Y. Kwon, B. Shong, and W.-K. Lee, ACS Energy Letters 8, 4716(2023). [3] D. Rhuy, Y. Lee, J. Y. Kim, C. Kim, Y. Kwon, D. J. Preston, I. S. Kim, T. W. Odom, K. Kang, D. Lee, and W.-K. Lee, Nano Letters 22, 14, 5742(2022). [4] H. Jeon, J. Lee, S. Hahn, H. Kim, J. Heo, J. Han, S. Shin, J. Park, M. K. Cho, D. J. Preston, I. S. Kim, M. Kim, and W.-K. Lee, ACS Nano 19, 9107(2025).

[에너지2-2 | 10:00]

Nanoscale Graded Nitrogen-Doping of TiO_2 via Pulsed Laser Deposition for Enhancing Charge Transfer in Perovskite Solar Cells: Jung Yonghoon, Kyung Tak Yoon(Seoul National University), Junhyoung Park(Istituto Italiano di Tecnologia), Hanseul Choi, Seongheon Kim, Hee Dong Kwak(Seoul National University), Seong Ho Cho(Massachusetts Institute of Technology), Taehoon Kim, Jieun Lee, Yun Seog Lee*(Seoul National University)

Keywords: Pulsed Laser Deposition, Titanium Oxynitride, Nanoscale doping gradation, Perovskite Solar Cells

The electron transport layer (ETL) in high-efficiency perovskite solar cells (PSCs) must possess excellent charge transport properties and optimized energy band alignment with adjacent layers to enable efficient extraction of photogenerated carriers. Nitrogen-doped TiO_2 (TiO_2:N) exhibits higher electrical conductivity than TiO_2 prepared by conventional spray pyrolysis, thereby facilitating smoother electron transport and emerging as a promising alternative ETL material. However, TiO_2:N with a high nitrogen doping level often suffers from energy band misalignment with adjacent layers and reduced optical transmittance, which limit its applicability in PSCs. In this study, we present a novel approach utilizing pulsed laser deposition (PLD) to precisely control nanoscale doping gradation in TiO_2:N films. This method maintains the enhanced electrical conductivity of TiO_2:N relative to pristine TiO_2, while simultaneously optimizing the energy band alignment with neighboring layers. In particular, the formation of a continuous nanoscale doping gradient creates a stepwise conduction band alignment, thereby promoting efficient charge transport from the perovskite absorber to the FTO electrode. As a result, our optimized ETL achieved a power conversion efficiency (PCE) of 22.98%, representing an ~11% improvement compared to PSCs employing spray-pyrolyzed TiO_2. This work introduces a new strategy for structural and electronic optimization of ETLs in high-efficiency PSCs and offers an innovative approach to enhancing charge transport in a wide range of heterojunction-based optoelectronic devices, including LEDs, optical amplifiers, and photodetectors.

미래수소기술 특별세션
Room 2층 208, 10월 30일

[에너지3-1 | 10:15] 초청강연

Interface Engineering for Highly Efficient and Stable Perovsktie Solar Cells and Their Applications: Kim Heejoo*, Yong-Ryun Kim, Ju-Hyeon Kim, Sanghan Lee, Kwnaghee Lee(Gwangju Institute of Science and Technology)

Keywords: perovskite, organic passivation layer, photoelectrochemical

Interface engineering is crucial for achieving highly efficient and stable perovskite solar cells (PSCs). Here, we present a unified strategy that employs organic passivation layers at interfaces in both n–i–p and p–i–n device configurations. In the n–i–p configurations, a newly synthesized bathocuproine-based polyelectrolyte (poly-BCP) was introduced between the SnO_2 electron transport layer (ETL) and the perovskite absorber. This interlayer effectively passivated oxygen-vacancy defects at the SnO_2 side while simultaneously scavenging ionic defects at the perovskite side, thereby suppressing both bulk and interfacial nonradiative recombination. As a result, the modified PSCs achieved a power conversion efficiency (PCE) of 24.4% with an open-circuit voltage of 1.21 V, and retained 93% of their initial efficiency after 700 hours of continuous one-sun irradiation under inert conditions without encapsulation. For the p–i–n configuration, amine-functionalized organic small molecules (e.g., PBN) were employed as passivation layers at the interface between the PCBM electron transport layer and the copper electrode. Strong Cu–N coordination facilitated the dense growth of Cu electrodes with strong adhesion, effectively blocking moisture ingress. Consequently, non-encapsulated devices retained 90% of their initial PCE after 200 days under ambient air (25 °C, 20–40% relative humidity), and showed negligible degradation even under harsher conditions such as high humidity or direct water immersion. Furthermore, we extended this approach to quasi-two-dimensional Ruddlesden–Popper perovskites (RPPs), which are inherently more stable but typically less efficient than their 3D counterparts. By applying a multifunctional organic molecule as a surface passivation treatment on RPP films ($PEA_2MA_4Pb_5I_{16}$, ?n? = 5) in p–i–n devices, both surface and deep-level traps were effectively suppressed through electrostatic interactions, while preferred out-of-plane crystal orientation was induced. These effects facilitated efficient carrier transport, leading to a PCE of 20.05% with negligible hysteresis. The optimized devices maintained 88% of their initial efficiency after 1000 hours of continuous one-sun operation under maximum power point tracking, without encapsulation or UV filtering. Finally, we demonstrate the applicability of PSCs into the photoelectrochemical (PEC) system, where PSCs used as a both photochathode and anode to enable unassisted solar water splitting.

[에너지3-2 | 10:40] 초청강연

Design of H2-selective permeable polymeric membranes: 김효원*(한국에너지공과대학교/KENTECH)

Keywords: Polymeric membrane, Gas separation, H2 purification

Polymeric gas separation membranes are limited by the intrinsic trade-off between permeability and selectivity, rooted by free volume theory. The concept of free volume has long been regarded as a central paradigm in understanding gas transport behavior in polymeric membranes. While the solution-diffusion model and free volume concepts have been instrumental in guiding membrane material development, they are no longer sufficient to fully explain discrepancies between measured pore sizes and observed gas permeability. For instance, polyimide (PI), which is one of the high selective polymers, shows its cavity size ranging from 4.0 to 5.5 Å. However, H 2, with a small kinetic diameter (~2.89 Å), exhibits high permeability, whereas CH 4 (~3.84 Å) is well below the measured cavity size yet shows much lower permeability. This highlights that they are no longer sufficient to describe exactly discrepancies between measured pore sizes and selective gas permeabilities. To this end, our group recently developed a breakthrough technology to give an answer mentioned above. To do so, I will give a talk dealing with the veiled correlation between the free volume elements and gas separation performances using common polymeric membranes.

[에너지3-3 | 11:05]

Facet-Engineered Co_3O_4 Nanocrystals Assembled via Marangoni Flow for Selective Photoelectrochemical Nitrate Reduction: Hwang Jun Beom, Sanghan Lee*(광주과학기술원)

Keywords: Facet engineering, Self-assembly, Marangoni effect, Nitrate reduction

Photoelectrochemical (PEC) nitrate reduction offers a sustainable approach to convert nitrate pollutants into valuable ammonia, yet most reported systems suffer from limited selectivity and stability. These issues largely stem from the absence of well-defined catalytic surfaces that can selectively mediate nitrate reduction pathways and from the challenge of integrating such catalysts into efficient solar-driven systems. Facet-engineered nanocrystals, which enable precise control over active surface sites, can address the selectivity limitation, while coupling with organic photovoltaic (OPV)-driven PEC platforms allows low-bias operation under sunlight. Here, we report facet-engineered Co_3O_4 nanocrystals exposing predominantly {100} and {111} surfaces, assembled into binder-free, crack-free arrays via a Marangoni flow-guided self-assembly method. This architecture ensures high facet exposure and strong interfacial stability, enabling direct integration with OPV photocathodes for solar-powered nitrate-to-ammonia conversion. Electrochemical and

spectroscopic analyses (EPR, in-situ Raman, operando EIS) reveal that the {111} facet exhibits superior nitrate adsorption and reduction activity, driven by Co^{3+}-rich sites and abundant surface oxygen vacancies. Density functional theory (DFT) calculations confirm that the oxygen vacancy formation energy is intrinsically lower for {111} than for {100}, explaining the experimentally observed higher vacancy density and enhanced catalytic performance. The {111}-rich catalyst delivers an ammonia production rate of 33.7 $mg \cdot h^{-1} \cdot cm^{-2}$ with >90% Faradaic efficiency across a wide potential range. This work not only establishes a clear structure–function relationship at the facet level but also presents a scalable and reproducible strategy for PEC device integration. These findings lay the groundwork for practical solar-to-chemical nitrogen conversion technologies targeting environmental remediation and green ammonia production.

[에너지3-4 | 11:20]

Unveiling Fe-NiP Bifunctional Catalysts for High-Efficiency and Large-Area Photoelectrochemical Hydrogen Production with Organic and Perovskite Photoelectrodes: Kim Yejoon, Lee Sanghan*(광주과학기술원 (GIST))

Keywords: water splitting, transition metal catalyst, halide perovskite, photoelectrochemistry

The realization of a sustainable hydrogen economy requires efficient and stable technologies that can directly convert abundant solar energy into hydrogen. Unlike intermittent renewable sources such as solar and wind power, hydrogen can serve as a storable and transportable energy carrier, thereby overcoming the intrinsic intermittency and environmental dependence of renewable energy generation. In particular, photoelectrochemical (PEC) water splitting has been recognized as one of the most promising approaches, yet practical commercialization demands systems that can achieve solar-to-hydrogen (STH) efficiencies above 10% while also being scalable to large-area photoelectrodes. In this study, we developed a PEC system by addressing two major challenges. First, to move beyond the limitations of noble metal catalysts, we designed a bifunctional catalyst composed of non-precious Fe-NiP. While NiFe-based materials are well established and highly active for the oxygen evolution reaction (OER), they typically show limited activity toward the hydrogen evolution reaction (HER), making it difficult to realize true bifunctionality. By introducing phosphorus into the Ni-Fe system, we successfully modulated the electronic structure and interfacial properties, which enabled both enhanced HER activity and sustained OER performance. In addition, the Fe-NiP catalyst exhibited excellent surface hydrophilicity, providing improved interfacial contact and stable catalytic operation. As a result, the catalyst maintained high activity for both reactions over extended operation times without significant performance degradation. Second, we integrated this catalyst with promising and scalable light absorbers, namely organic semiconductors (OSs) and organo-metal halide perovskites (OHPs), to construct high-performance photoelectrodes. These materials were selected not only for their outstanding photovoltaic properties under solar illumination but also for their compatibility with scalable fabrication processes. When coupled with the Fe-NiP catalyst, both types of photoelectrodes achieved STH efficiencies exceeding 10%, without external potential bias, thereby meeting the critical threshold for practical applications. Furthermore, Faradaic efficiencies above 95% were consistently observed, confirming selective and efficient hydrogen production. Overall, this work demonstrates a PEC platform in which both anode and cathode employ the same Fe-NiP catalyst, offering a unified strategy that combines cost-effectiveness, stability, and scalability. Notably, the system operates bias-free under solar illumination, highlighting its practical potential. We believe this approach provides a significant step toward the development of commercially viable solar-driven hydrogen production systems and contributes to the broader realization of a sustainable hydrogen society.

[에너지3-5 | 11:35]

Control of Crystallization Dynamics via Vanadium–Polyethylene Glycol Interactions toward High-Performance $BiVO_4$ Photoanodes : Min Jihong, Byungha Shin*(한국과학기술원)

Keywords: $BiVO_4$, Photoelectrochemistry, Crystallization

$BiVO_4$ is a promising photoanode material for photoelectrochemical (PEC) water splitting, but its short hole diffusion length significantly limits charge separation efficiency in thick films, which otherwise offer superior light absorption. To overcome this limitation polyethylene glycol (PEG) assisted metal-organic deposition (MOD) has been widely employed to create nanostructured $BiVO_4$ films. However, reproducibility of morphology and PEC performance under identical PEG conditions remains challenging. Here, we reveal that such reproducibility issues stem from changes in PEG-V ion interactions due to variations in the vanadium oxidation state ($V^{4+} \rightarrow V^{5+}$), affecting crystallization kinetics. By developing an Acoustic Energy Assisted Aging (A.E.A.) process to precisely control V oxidation states, we achieved reproducible morphology control from nanoporous structures to isolated large-grain morphologies under identical PEG conditions. Optimized isolated large-grain $BiVO_4$ films exhibited outstanding crystallinity, ideal composition, enhanced optical absorption, and superior charge transport, delivering high photocurrent densities of 5.8 mA cm^{-2} (SOR, 1.23 V vs. RHE) and 5.4 mA cm^{-2} (OER with NiFeOOH catalyst). These results represent the highest PEC performance reported for MOD-derived $BiVO_4$ films, highlighting a novel strategy for highly reproducible and efficient nanostructured photoanodes.

[에너지3-6 | 11:50]

Nanoscale Graded Nitrogen-Doping of TiO_2 via Pulsed Laser Deposition for Enhancing Charge Transfer in Perovskite Solar Cells: 정용훈, 윤경탁(Seoul National University), 박준형(Istituto Italiano di Tecnologia), 최한슬, 김성헌, 곽희동(Seoul National University), 조성호(Massachusetts Institute of Technology), 이지은, 이윤석*(Seoul National University)

Keywords: Pulsed Laser Deposition, Titanium Oxynitride, Nanoscale doping gradation, Perovskite Solar Cells

The electron transport layer (ETL) in high-efficiency perovskite solar cells (PSCs) must possess excellent charge transport properties and optimized energy band alignment with adjacent layers to enable efficient extraction of photogenerated carriers. Nitrogen-doped TiO_2 (TiO_2:N) exhibits higher electrical conductivity than TiO_2 prepared by conventional spray pyrolysis, thereby facilitating smoother electron transport and emerging as a promising alternative ETL material. However, TiO_2:N with a high nitrogen doping level often suffers from energy band misalignment with adjacent layers and reduced optical transmittance, which limit its applicability in PSCs. In this study, we present a novel approach utilizing pulsed laser deposition (PLD) to precisely control nanoscale doping gradation in TiO_2:N films. This method maintains the enhanced electrical conductivity of TiO_2:N relative to pristine TiO_2, while simultaneously optimizing the energy band alignment with neighboring layers. In particular, the formation of a continuous nanoscale doping gradient creates a stepwise conduction band alignment, thereby promoting efficient charge transport from the perovskite absorber to the FTO electrode. As a result, our optimized ETL achieved a power conversion efficiency (PCE) of 22.98%, representing an ~11% improvement compared to PSCs employing spray-pyrolyzed TiO_2. This work introduces a new strategy for structural and electronic optimization of ETLs in high-efficiency PSCs and offers an innovative approach to enhancing charge transport in a wide range of heterojunction-based optoelectronic devices, including LEDs, optical amplifiers, and photodetectors.

마그네슘
Room 2층 208, 10월 30일

[마그네슘1-1 | 14:00]
EPT 공정변수에 따른 난연성 Mg-Al-Ca 합금의 온도 및 미세조직 변화: 이승엽, 이정훈, 유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), Shinichi Inoue, Yoshihito Kawamura(Kumamoto University), 이태경*(부산대학교)
Keywords: Magnesium, Nonflammable, EPT

마그네슘 합금은 높은 비강도, 큰 연성 등 우수한 기계적 특성으로 인해 자동차, 항공우주, 국방 등 다양한 산업에서 사용된다. 순수 마그네슘은 비교적 낮은 강도를 가지지만 합금 원소를 추가함으로써 강도를 증가시킬 수 있다. Al 및 Ca을 포함하는 Mg-Al-Ca 계열 마그네슘 합금은 고강도 특성을 가지며, 해당 합금에 Mn이 추가된 경우 내식성까지 가져 우수한 물성을 나타낸다. 또한 합금 표면에 생성된 CaO 및 MgO film이 합금 내부에 산소가 확산됨을 막음으로써 발화점을 높인다. 금속 재료의 고온 거동을 관찰하는 방법으로 열처리가 있는데, 열처리를 통해 합금 물성의 개선이 나타날 수 있으며 고온에서 사용성을 연구할 수 있다. 긴 가열 시간과 비효율적인 에너지 사용의 단점을 가지는 전기로 열처리와 달리, electropulsing treatment (EPT)은 금속에 직접 전류를 가함으로써 줄 가열 효과(Joule heating effect)를 활용한 효율적이고 빠른 열처리가 가능하다. 해당 방식은 직접적인 에너지 전달로 인해 높은 에너지 효율성, 공정 시간 단축 등의 장점을 가진다. 본 연구에서는 Mg-Al-Ca-Mn 합금에 EPT를 가하여, EPT 공정 변수에 따른 합금의 온도 및 미세조직 변화를 관찰한다. 전류 밀도, duration, frequency를 변인으로 하여 합금 시편의 부위별 온도를 관찰하고 미세조직을 확인한다. EPT 조건과 온도 변화 간의 메커니즘을 규명함으로써 EPT 후 난연재 합금이 가지는 효과와 특수성을 논한다.

[마그네슘1-2 | 14:15]
AZ31 합금의 선변형후 열처리를 통한 열전도도 제어 연구: 천세호, 이승엽, 이정훈(부산대학교), 구현곤, 안재웅(한화에어로스페이스), 이태경*(부산대학교)
Keywords: 마그네슘, 열전도도, 선변형

마그네슘 합금은 뛰어난 경량 특성으로 인해 항공우주 소재로 각광받고 있다. 하지만, 고온 환경에 노출될 경우 열전도도 제어가 필수적이며, 본 연구진은 이 부분을 해결하기 위해 기계적 변형을 활용하는 새로운 접근법을 제시한다. 본 연구는 상용 AZ31 합금 열연재를 활용하여, 인장 트윈이 유도되는 압연 방향(RD) 선압축과 인장 트윈 생성이 억제되는 수직 방향(ND) 선압축을 각각 2%, 4%, 7%, 10%, 12%의 다양한 변형률로 수행하였다. 변형 후 시편의 상온 열전도도와 기계적 물성 변화를 측정하여 미세조직 변화와의 상관관계를 분석하였다. 이어서, 변형 후 시편을 250°C에서 1시간 동안 열처리한 후 시편의 상온 및 고온에서의 열전도도와 기계적 물성 변화를 분석함으로써 고온 환경에서의 소재 거동을 심층적으로 평가하였다. 특히, RD 선압축은 인장 트윈을 유도하여 열전도도와 물성에 뚜렷한 변화를 보였고, ND 선압축과 비교하여 분석하였다. 본 연구는, 합금의 조성을 바꾸지 않으면서 열전도도와 물성을 동시에 제어하는 기술적 가능성을 보여주며, 열 관리가 필수적인 차세대 경량 합금의 설계 및 개발에 중요한 기초 연구가 될 것으로 기대된다.

[마그네슘1-3 | 14:30]
Grain Refinement and Tensile Property Enhancement in Bimodal-Structured Mg Alloy Sheet via UNSM and Subsequent EPT: Won Pyo Hong(Kyungpook National University), Hyun Ji Kim(Agency for Defense Development), Taekyung Lee(Pusan National University), Jongbin Go(Max Planck Institute), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)
Keywords: AZ31 alloy, Ultrasonic nanocrystalline surface modification, Electropulsing treatment, Mechanical properties, Digital image correlation

This study investigates the effectiveness of combined ultrasonic nanocrystal surface modification (UNSM) and electropulsing treatment (EPT) for microstructural refinement and mechanical property enhancement in a rolled Mg–3.0Al–0.8Zn–0.3Mn (AZ31, wt.%) sheet exhibiting a bimodal microstructure with numerous coarse grains near the surfaces. The UNSM process introduced severe plastic deformation at the surface, generating high stored strain energy and forming a gradient microstructure comprising a nanoscale-grained surface layer and an underlying twinned region. Subsequent EPT induced static recrystallization in the surface layer, producing a fine and uniform microstructure, while the twinned region underwent strain-induced boundary migration and recovery. EPT also facilitated the release of excessive residual strain energy, improving microstructural stability. As a result, the UNSM–EPT-treated sheet achieved concurrent increases in tensile yield strength (158 MPa), ultimate tensile strength (252 MPa), and elongation (21.9%) compared with the as-rolled sheet (144 MPa, 245 MPa, and 15.9%, respectively). Digital image correlation (DIC) analysis revealed that the as-rolled sheet exhibited localized deformation due to surface microstructural heterogeneity, whereas the UNSM–EPT-treated sheet demonstrated a uniform strain distribution during tensile loading. These findings confirm that integrating UNSM and EPT is an effective approach for tailoring surface microstructures and simultaneously improving strength and ductility in coarse-grained Mg alloys.

[마그네슘1-4 | 14:45]

Effect of UNSM scanning direction on texture evolution and bending formability of annealed AZ31 alloy sheet: An gunwoong, Seoung-yooun Yu, Sung Hyuk Park *(Kyungpook National University)

Keywords: AZ31 alloy, Ultrasonic nanocrystalline surface modification (UNSM), Annealing, Texture evolution, Bending formability

Ultrasonic nanocrystal surface modification (UNSM) induces severe plastic deformation in the surface layer of metallic materials, resulting in a high density of stored strain energy. Subsequent annealing utilizes this strain energy to promote static recrystallization, leading to significant changes in surface microstructure and texture. The present study investigates the effect of UNSM scanning direction—applied along either the rolling direction (RD) or the transverse direction (TD)—on the microstructural characteristics and bending formability of AZ31 magnesium alloy sheets. UNSM was conducted on both surfaces of rolled sheets, followed by annealing at 300 °C for 5 min. The resulting microstructure exhibited a broadened and tilted basal texture, with the extent and orientation of texture modification dependent on the UNSM scanning direction. These texture changes resulted in distinct variations in bending formability. The deformation behavior under bending mode was analyzed based on the evolved microstructural and textural features. The results demonstrate that combining UNSM with subsequent annealing provides an effective approach for tailoring grain structure and texture, thereby enhancing the bending formability of rolled Mg alloy sheets.

[마그네슘1-5 | 15:00]

Microstructure of Porthole-die Extruded Hollow Magnesium Alloys and Their Deformation Characteristic: Kim Do-hyeon(Korea Institute of Materials Science,Kyungpook National Univ.), Ma Ying(Korea Institute of Materials Science,Pusan National Univ.), Lee Jun-Ho(Korea Institute of Materials Science,Korea Univ.), Yang Kyung Sun(Massive Lab Inc.), Moon Byung-Gi, Kim Young Min(Korea Institute of Materials Science), Park Sung Hyuk(Kyungpook National Univ.), Suh Byeong-Chan*(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Keywords: Magnesium alloys, Porthole extrusion, Rotary Swaging, Microstructure, Welding

The demand for lightweight materials has been increasing in order to reduce CO_2 emissions, leading to growing interest in magnesium alloy, which is the lightest structural metal. In addition to the use of lightweight materials, further efforts are being made to reduce weight through the utilization of hollow structures. Nevertheless, the researches on hollow magnesium structural components rarely have been conducted. The present study aims to conduct a detailed analysis of the microstructure of hollow magnesium alloy fabricated by porthole-die extrusion, and to investigate the effects of this microstructure during subsequent thermo-mechanical treatment, especially forming and rotary swaging processes.

[마그네슘2-1 | 15:25]

High-speed co-extrusion of Mg–5Bi–3Al / Al–0.7Mg–0.4Si alloys: influence of billet volume ratio on microstructure and mechanical properties: Seoung-yooun Yu, Gun Woong An, Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

Keywords: Mg/Al hybrid material, Co-extrusion, Bimetallic interface, Microstructure, Mechanical properties

Mg alloys are increasingly considered for lightweight structural applications due to their low density and high specific strength. However, their broader industrial applications are still constrained by inherent limitations, including poor weldability, high surface reactivity, and the limited industrial feasibility of surface treatments. These factors collectively complicate joining, corrosion protection, and long-term performance under service conditions. To address these challenges, clad-type hybrid materials that integrate Mg with corrosion-resistant light metals such as Al have attracted growing attention. Mg–5Bi–3Al (BA53) is a recently developed Mg alloy exhibiting excellent extrudability and high strength, while Al–0.7Mg–0.4Si (AA 6063) is a widely used Al extrusion alloy with good surface finish and high corrosion resistance. This study investigates the high-speed co-extrusion behavior of bimetallic billets composed of a BA53 core and a AA 6063 sleeve. Two bimetallic billets, with Mg:Al cross-sectional area ratios of 25:75 and 60:40, were extruded at 400 °C with a die-exit speed of 15 m/min to fabricate Mg/Al hybrid round rods. The resulting microstructures were analyzed with a particular focus on interfacial microstructural evolution and the formation of intermetallic compounds at the Mg/Al interface. Mechanical properties were evaluated through compression and microhardness testing. The findings provide valuable insights into the processability, interface characteristics, and mechanical integrity of co-extruded Mg/Al hybrid systems, offering a promising pathway for developing next-generation lightweight structural materials.

[마그네슘2-2 | 15:40]

Microstructural control and hardness enhancement of 3D bicontinuous Mg–Ti composites via Co and Mo alloying of Ti–Cu precursors: Su-rin Cho, Bo-hyun Park, Hyun-jun Youn(Kyungpook National University), Jee-eun Jang(KITECH), Soo-hyun Joo(Dankook University), Sung-hyuk Park*(Kyungpook National University)

Keywords: Liquid metal dealloying (LMD), Mg–Ti composite, Precursor alloying, β-Ti stabilization, Hardness

Three-dimensional (3D) bicontinuous metal–metal composites have attracted significant interest as next-generation structural and functional materials owing to their superior mechanical performance and high electrical and thermal conductivities, derived from a continuous dual-phase architecture. Among the available fabrication methods, liquid metal dealloying (LMD) uniquely enables the

formation of such structures by selectively dissolving miscible elements from a solid precursor into a molten metal, thereby generating a 3D interconnected network. Mg–Ti composites produced via LMD are particularly promising for transportation and biomedical applications due to the excellent specific strength and biocompatibility of both constituent metals. However, conventionally fabricated Mg–Ti composites typically consist of α-Mg and α-Ti phases. In this study, a compositional tailoring strategy was employed to transform the Ti phase constitution from a single α-Ti phase to either a dual α-Ti + β-Ti structure or a predominantly β-Ti structure through minor alloying of the precursor. Specifically, Co and Mo—known β-Ti stabilizers—were incorporated into a Ti–Cu precursor to promote β-Ti formation, and the Co- and Mo-alloyed precursors were subjected to LMD via immersion in molten Mg, and the resulting composites were characterized using scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray spectroscopy, X-ray diffraction, electron backscatter diffraction, and Vickers hardness testing. The results demonstrate that precursor alloying effectively modify the Ti phase morphology, adjusts the α/β-Ti phase balance, and improves the hardness of the 3D bicontinuous Mg–Ti composites. This work highlights a viable microstructural engineering approach for enhancing the mechanical performance of LMD-fabricated bicontinuous Mg–Ti systems through targeted precursor alloying.

[마그네슘2-3 | 15:55]

시효경화성이 향상된 마그네슘 합금의 제조 및 시효경화 메커니즘에 관한 연구: 이상봉*, 강민혁, 김성제, 김경택(국립금오공과대학교), Jose Victoria-Hernandez(Helmholtz-Zentrum hereon GmbH)

Keywords: 금속, 마그네슘, 시효경화

마그네슘은 우수한 제진 특성, 높은 비강도, 낮은 밀도 등의 이점을 바탕으로 차세대 경량 구조재료로 많은 주목을 받고 있다. 그러나 알루미늄과 같은 기존의 경량 금속에 비해 시효 경화 속도가 느리고 석출 강화 효과가 상대적으로 낮아, 산업적 활용에는 한계가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 시효 경화 특성이 향상된 마그네슘 합금의 개발이 필수적이다. 최근에는 적은 양의 합금 원소를 첨가한 저합금 마그네슘 계열이 우수한 성형성과 더불어 뛰어난 석출 강화 특성을 동시에 확보할 수 있는 소재로 주목받으며 활발히 연구되고 있다. 본 연구에서는 알루미늄, 아연, 망간, 칼슘, 이트륨을 소량 첨가한 Mg–Al–Zn–Mn–Ca–Y 계 마그네슘 합금의 시효 경화 거동을 체계적으로 분석하였다. 해당 합금이 나타내는 향상된 석출 강화 효과의 원인을 규명하기 위하여, 광학현미경(OM)과 주사전자현미경(SEM)을 이용한 미세조직 관찰, 에너지 분산형 분광기(EDS)를 이용한 화학 조성 분석, 그리고 X선 회절(XRD), 전자 후방산란 회절(EBSD), 투과전자현미경(TEM)을 활용한 결정 구조 및 미세조직 분석을 수행하였다.

[마그네슘2-4 | 16:10]

2단 압출을 통한 생분해성 마그네슘 미세튜브 제조와 Mn, Sr 동시 첨가에 따른 기계적 물성과 생분해 거동의 변화: 김재성, 김재연, 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식*(한국재료연구원)

Keywords: 생분해성 마그네슘 합금, 미세튜브, 압출, 기계적 물성, 생분해 거동

혈관질환 치료용 생분해성 소재는 미래 생체 삽입형 의료기기의 핵심 기술로 주목받고 있다. 현재 사용되는 혈관질환용 스텐트는 Ti 합금과 Co-Cr 합금과 같이 영구적으로 체내에 잔존하는 소재로 제작되어 혈전증, 재협착, 지속적 염증 등의 부작용을 초래한다. 이를 해결하기 위해 생분해성 스텐트가 대안으로 제시되고 있으며, 마그네슘은 우수한 생체적합성과 생분해성을 바탕으로 유망한 스텐트용 소재로 평가된다. 그러나 마그네슘 합금은 빠른 분해 속도, 낮은 기계적 강도, 가공성의 제약 등으로 임상 적용에 한계가 있으므로 합금화, 소성가공, 열처리 등을 통한 성능 개선 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 기준 합금으로 Mg-1Zn-0.1Ca를 사용하여 2단 직접 압출 공정을 통해 스텐트 제작에 필요한 미세튜브를 제조하였으며, 여기에 Mn과 Sr을 각각 0.5 wt%씩 동시 첨가하여 형상 정밀도, 기계적 물성 및 생분해 거동을 비교, 분석하였다. 그 결과, 미량 원소 첨가에 따른 결정립 미세화와 집합조직 강화가 일어나 강도는 향상되었으나 연신율은 감소하였으며, 입계 밀도 증가와 $Mg_{17}Sr_2$ 이차상 형성으로 인한 갈바닉 부식의 발생으로 생분해 속도가 가속화되는 경향을 확인하였다.

[마그네슘2-5 | 16:25]

Comparative study on the effect of Al content on corrosion behavior and mechanical properties of mold-cast and die-cast Mg alloys: Liu Hongxiu(한국재료연구원,창원대학교), Bae Jun-ho, Moon Young-hoon, Kim Jae-yeon*, You Bong-sun *(한국재료연구원)

Keywords: Mg alloy, High Al content, Cooling rate, Corrosion behavior.

The Al content in Mg–Al alloys plays a crucial role in determining their chemical and mechanical properties. Although these properties have been widely studied, the effects of high Al contents above 9 wt.% on corrosion behavior, mechanical properties, and their relationship have not been clarified. In this study, we investigated the influence of Al content (6, 9, 11, 13 wt.%) on both the corrosion and tensile properties of Mg–Al–Zn–Mn–Ca–Y alloys manufactured via mold casting (lower cooling rate) and high-pressure die casting (higher cooling rate). Particularly, the tensile properties were evaluated before and after the salt spray test (SST). The corrosion rates are consistently lower in die-cast alloys than in mold-cast alloys. In mold-cast alloys, corrosion rate continuously increases with increasing Al content. In contrast, die-cast alloys show a distinct trend: the corrosion rate increases from 6 wt.% Al to 9 wt.%, and then decreases at higher Al content. The corrosion behavior was revealed to be related to the fraction and continuity of the β-$Mg_{17}Al_{12}$ phase, and the Zn contents within this phase. Regarding mechanical properties, both their initial-state and SST-exposed die-cast alloys exhibit improved strength with increasing Al content. After SST exposure, the mechanical properties remained unchanged, indicating that the degree of corrosion was insufficient to compromise mechanical properties.

제14회 터빈 소재 및 내열합금 심포지엄
Room 2층 209/10, 10월 30일

[터빈1-1 | 09:00] 초청강연 Canceled
항공용 가스터빈엔진 신합금 개발 적용성 평가 및 사례: 손인수*(한화에어로스페이스)
Keywords: 항공용 가스터빈, 내열합금, 신합금, Application, 산화성
항공용 가스터빈엔진 신합금 개발과 그 적용성 평가에 대한 발표를 수행

[터빈1-2 | 09:20] 초청강연
항공엔진용 터빈 모듈 핵심소재 개발 성과: 우한별*, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스)
Keywords: 항공엔진, 가스터빈, Master Ingot, 정밀주조품, Material Characterization
항공엔진의 성능과 신뢰성 향상을 위해서는 고온·고하중 환경에서 장기간 안정적으로 동작할 수 있는 터빈 모듈 핵심소재의 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 국내 기술 기반으로 Ni계 초내열합금 Master Ingot과 이를 활용한 주조 부품을 개발하고, 기계적 및 물리적 특성에 대한 체계적인 Material Charcterization을 수행하였다. 이를 위해 진공유도용해(VIM) 공정을 최적화하여 합금의 청정도와 조성 균질성을 확보하였으며, 정밀주조품에 대한 MMPDS 요구도 기반 특성 평가 및 Database를 구축하였다. 본 발표에서는 소재 개발부터 Material Characterization 전 과정 및 결과를 소개하고자 한다.

[터빈1-3 | 09:40] 초청강연 Canceled
Brazing Technology for Gas Turbine Hot Gas Path Components: Hyun-Ki Kang*, Jongyeob Lee, Samsub Byun(Turbo Power Tech Co., Ltd.), Hi Won Jeong, Seong-Moon Seo, Hyungsoo Lee*(Korea Institute of Materials Science)
Keywords: Gas Turbine Component, Diffusion Brazing, Microstructure–Property Relationships, Metallic Materials
Gas turbines operate under severe cyclic conditions involving elevated temperatures and pressures, with turbine inlet temperatures reaching up to 1600 °C. Nickel-based superalloys, owing to their excellent mechanical properties and superior resistance to creep, corrosion, and oxidation at high temperatures, are extensively employed in such environments. Among their alloying elements, aluminum and titanium promote the formation of γ′ (Ni_3(Al, Ti)) precipitates, which significantly enhance high-temperature strength through precipitation hardening. However, when crack-damaged components are repaired by fusion welding, strain-age cracking frequently occurs during arc welding if the combined aluminum and titanium content exceeds 6 wt.%. Consequently, repair technologies based on diffusion brazing, which involve lower heat input, have been widely adopted as alternatives. The objective of this study is to investigate the diffusion microstructures that develop between the base metal and the isothermal solidification zone of brazed joints, employing two different forms of brazing filler metals—paste and pre-sintered preform (PSP)—under various brazing heat treatment cycles, including different temperatures and hold times. The microstructural evolution of brazed joints in IN939 nickel-based superalloy using BNi-9 filler metal was characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimetry (DSC), and electron probe microanalysis (EPMA). The highest Vickers hardness was observed in the diffusion-affected zone (DAZ), attributed to the precipitation of various metal carbides and chromium borides within this region.

[터빈1-4 | 10:00] 초청강연
1.5% 레늄을 함유한 저비용 단결정 초내열합금 주조재의 결정방위에 따른 크리프 특성: 구지호(한화에어로스페이스), 장익제(창원대학교), 정중은, 김인수(한국재료연구원), 이재현*(창원대학교)
Keywords: Single crystal, CMSX-8, Creep properties, Crystallographic orientation
미국 Cannon-Muskegon사에서 개발한 CMSX-8은 레늄을 1.5% 함유하는 니켈기 단결정 초내열합금으로써 3.0% 레늄을 함유하는 2세대 초내열합금 CMSX-4의 고온성능을 목표로 개발된 저비용 합금이다. 터빈 블레이드는 고온/고응력 환경에서 사용되므로 크리프 및 피로 특성이 중요한 평가 기준이 되고, 응력 방향에 따른 수명 차이가 크게 발생한다. 본 연구에서는 CMSX-8 단결정 주조합금의 결정방위에 따른 크리프 특성을 분석하였다. 단결정 주조시편은 Bridgman 방식의 정밀주조로를 이용하여 <001> 및 <111> 방위를 갖는 봉상형태로 제작하였다. 크리프 파단시험은 중온 및 고온에서 변형거동을 관찰하기 위하여 750ºC 및 950ºC에서 실시하였고, 각 시험편의 결정방위는 주방위 대비 +/- 10도 이내의 편차를 갖는 시험편을 선택하여 실험오차를 최소화하고자 하였다. 그 결과, 750ºC 중온 조건에서는 크리프속도가 시간이 경과함에 따라 감소하는 1차 크리프 영역이 뚜렷하게 관찰되었으며, <001>방위가 <111> 방위에 비해 약 2배의 긴 파단수명을 갖는 것이 확인되었다. 반면, 950ºC 고온 조건에서는 3차 크리프 현상이 뚜렷하게 관찰되었고, 중온 조건과 반대로 <111>방위의 파단수명이 약 2배까지 증가한 것이 확인되었다. 미세조직 분석결과, 결정방위 및 시험온도에 따른 크리프 파단수명은 중온에서는 감마프라임 강화상의 Shearing 정도, 고온에서는 Rafting 조직의 형성속도에 의해 크크게 영향을 받는 것으로 판단된다.

[터빈2-1 | 10:30] 초청강연

항공우주 부품용 Ni기 초내열 합금 고청정-고수율 분말 제조 기술: 전창우*, 김충수, 이주호(주식회사 이엠엘 (R&D센터)), 김정재(한밭대학교 (기계공학과)), 박은수(주식회사 이엠엘 (R&D센터))

Keywords: 고청정, 금속분말, 고수율, 가스아토마이징, CFD해석

항공우주용 핵심 부품에 적용되는 Ni기 초내열 합금은 고온 기계적 특성과 내산화성이 요구되며, 이의 제조에는 고청정 분말 기반의 고밀도 부품 형성이 필수적이다. 특히, 등방가압공정 (Hot Isostatic Pressing, HIP) 공정 또는 적층제조(Additive Manufacturing, AM) 공정을 활용한 항공우주 분야 고온용 부품 제조 시 분말의 산소·질소 함량, 입도 분포, 구형도 등이 최종 부품의 품질과 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 고청정 Ni기 초내열 합금 분말을 고수율로 제조하기 위한 기술을 개발하였다. 분말 제조에는 EIGA(Electrode Induction Melting Gas Atomization) 공정을 적용하였으며, 도가니를 사용하지 않고 전극 용융을 통해 고온 금속을 불활성 분위기에서 직접 분무함으로써 오염원을 최소화하였다. 고진공 아토마이징 환경을 조성하고, 불활성 가스를 활용한 분위기 제어형 분급 기술을 도입함으로써 산소 흡착을 최소화하고 위성 입자 및 미세분말을 효율적으로 제거하였다. 그 결과, 제조된 분말은 산소 함량 100ppm 이하, 구형도가 우수한 특성을 보였으며, 항공우주용 부품 제조를 위한 고품질 분말로의 적용 가능성을 확인하였다. 또한, 분말의 입도 제어 및 수율 향상을 위해 Discrete Model 기반의 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 수행하였다. 노즐 형상, 용탕 직경, 가스 흐름 조건 변화에 따른 온도, 압력, 유동장 변화를 분석하고, 이를 통해 입도 분포 경향성을 예측하였다. 예측 결과는 실제 실험을 통해 검증되었으며, 시뮬레이션과 실험의 연계 분석을 통해 목표 입도 범위 내 분말 수율을 효과적으로 향상시킬 수 있었다. 본 연구를 통해 CFD 해석 기반 분말 제조 공정에서 핵심 공정 변수의 영향을 확인하고 실험을 통해 결과를 검증함으로써 항공우주 부품용 Ni기 초내열 합금 분말의 우주항공 산업 적용 가능성에 대해 검토하였다.

[터빈2-2 | 10:50] 초청강연

Multi-scale alloy design strategy for additive manufacturing of non-weldable CM247LC via electron beam melting : 김태형, 이아름(국립창원대학교), 이찬희(한국과학기술원), 고원석(인하대학교), 이병수, 이해진(한국생산기술연구원), 홍현욱(국립창원대학교)

Keywords: CM247LC, Electron beam melting, Alloy design, Hot cracking, Lattice misfit

Additive manufacturing (AM) has emerged as an essential technology for the gas turbine and aerospace sectors, providing an alternative route to conventional investment casting in the fabrication of Ni-based superalloy components. These casting alloys with γ′ fractions above 40–50% are prone to severe hot cracking due to the rapid thermal cycles inherent in AM processes. In this work, a multi-scale alloy design strategy was applied to overcome the cracking tendency of the baseline superalloy CM247LC, with the dual objective of lowering the content of costly elements while retaining high-temperature strength. Rather than relying on the conventional trial-and-error method of sequential compositional tuning, this study employed large-scale thermodynamic simulations in combination with density functional theory (DFT) calculations. This approach enabled high-throughput screening of potential alloy systems based on critical thermodynamic parameters, including solidus temperature, γ–γ′ lattice misfit, TCP phase fraction, γ′ volume fraction, and overall alloy cost. To specifically suppress cracking during additive manufacturing, two anti-cracking indicators—CSC index and the final Scheil solidification range—were adopted as primary selection criteria. From 36,450 candidates, one optimized composition was identified and designated as Cost-reduced and Weldable (CW) 247, following validation through experimental ingot screening. The CW247 alloy was successfully produced using selective electron beam melting (SEBM), showing no hot cracks, porosity, or lack-of-fusion defects. Importantly, no significant cracks were detected in CW247. After heat treatment, the alloy exhibited a γ′ volume fraction of 61%, comparable to the reference CM247LC. Moreover, long-term thermal exposure confirmed the absence of detrimental TCP phases, demonstrating excellent microstructural stability. The superior tensile properties of CW247 at both room temperature and 871°C were further analyzed in relation to its deformation mechanisms.

[터빈2-3 | 11:10] 초청강연

Weldability-Driven Control of Solidification Cracking in CMSX-4 for Additive Manufacturing: Shin Min Chang, Chun Eun Joon*(국립부경대학교)

Keywords: CMSX-4 superalloy, additive manufacturing (AM), solidification cracking, solidification brittle temperature range (BTR), epitaxial growth, columnar-to-equiaxed transition (CET)

To enhance gas turbine efficiency, turbine inlet temperatures have continuously increased. The high-temperature components, such as turbine blades, are made of single-crystal superalloys containing more than ten alloying elements. Single-crystal turbine blades are high-value-added components, enabling economical operation compared to replacing them with new ones through a repair-additive manufacturing (AM). However, during welding and AM of these alloys, complex solidification behavior and severe solidification cracking occur, and they are classified as difficult-to-weld alloys. From this perspective, the authors evaluated the solidification cracking susceptibility quantitatively, BTR(solidification brittle temperature range) of CMSX-4 alloy welds using the GTAW (gas tungsten arc welding) Varestraint test. Differences in single-crystal growth rates were introduced by varying welding conditions such as arc current and oscillation under the same heat input. As a result, the BTR of the CMSX-4 alloy GTA welds were evaluated a minimum of 28K to a maximum of 434K depending on the welding conditions. A BTR deviation of approximately 400K was found to be closely correlated with the single-crystal growth rate of the weld metal. In particular, completely epitaxially grown weld metal showed a minimum BTR value of 28K. The weldability of the alloy can be improved or deteriorated depending on the single-crystal growth rate of the weld

metal, suggesting that crack-free and single-crystal weld metal can be simultaneously achieved. Based on these results, we aim to propose welding metallurgical/process solutions for crack-free and single-crystal repair-AMed components through columnar-to-equiaxed transition (CET) behavior calculations using laser welding and the thermodynamic simulation.

[터빈3-1 | 14:00] 조청강연

레이저 용융 증착 공정을 활용한 난용접-고강도 IN738LC 합금의 무균열 적층: 강호성, 성예찬(경상국립대학교), 서성문, 이형수(한국재료연구원), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: 초내열합금, 적층제조, 공정최적화, 열처리, 기계적특성

초내열합금 기반 적층제조는 극한 고온환경에서 활용되는 부품의 제조 및 유지에 필수적임에도 불구하고, 높은 균열 민감성에 의해 고등급의 초내열합금 활용은 제한적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 균열 민감성을 최소화하기 위해 상대적으로 낮은 레이저 출력과 빔 크기를 적용해 열영향부를 감소시킨 조건에서 IN738LC 초내열합금의 조형 결과를 분석하였다. 그 결과, 상대적으로 작은 열영향부로 인해 균열 형성이 크게 억제될 수 있음을 확인할 수 있었고 후열처리 이후에도 무균열 상태의 IN738LC 조형체를 확보할 수 있음을 밝혀내었다. 아울러, 적층제조 중 형성된 미세편석은 조성 불균일성을 유발해 열처리 이후 탄화물과 이차상 형성에 영향을 미치며, 이들 이차상 분포의 차이로 인해 소재의 기계적 특성 차이가 나타남을 확인하였다. 다양한 열처리 조건 중 용체화 없이 직접 시효를 수행한 IN738LC 초내열합금은 높은 이차상, 탄화물 분율에 의해 높은 항복강도와 우수한 크리프 저항성을 확보하였다. 상기 결과를 통해 적층제조 공정 중 열이력 제어 시 무균열 초내열합금 조형 및 미세조직 제어가 가능함을 확인했으며, 관련 기술을 활용한 고강도 초내열합금 조형체 제조가 가능할 것으로 기대된다.

[터빈3-2 | 14:20] 조청강연

인공지능을 이용한 석출경화형 단련용 니켈기 초내열합금의 개발: 윤대원*, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수(한국재료연구원)

Keywords: 초내열합금, 인공지능

니켈기 초내열 합금은 우수한 고온 기계적 물성과 내환경성으로 에너지플랜트와 가스터빈 등 고온용 구조재로 널리 사용되고 있다. 특히, 석출강화형 니켈기 초내열합금은 고용강화형에 비해 더 높은 기계적 물성을 확보할 수 있는 이점이 있어 고온 물성이 더욱 향상된 새로운 석출강화형 니켈기 초내열 합금의 개발에 대한 요구는 지속적으로 제기되고 있다. 그러나 이러한 합금에 첨가되는 합금 원소의 종류가 다양하고 고온 강도, 크리프 강도, 내산화성 등 여러가지 물성을 동시에 충족해야 하기 때문에 새로운 합금의 개발에 많은 시간 및 비용이 소요되며 실패의 가능성 또한 매우 높다. 이에 따라 인공지능을 이용한 합금 개발 방법이 최근 많은 연구자들에 의해 시도되고 있으나 인공지능 학습에 필요한 양질의 데이터를 문헌을 통해 습득하는 것에는 한계가 있어 예측능력이 높은 모델 구축에 어려움이 있다. 따라서 단기간에 실험을 통해 데이터를 확보하는 것이 인공지능을 이용한 합금 개발에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 실험계획법을 활용하여 실험을 설계하고 vacuum arc melting을 활용하여 다양한 조성의 시편을 제작 및 평가하여 단기간에 인공지능 학습에 필요한 양질의 데이터를 확보하려 하였다. 실험데이터와 열역학 계산 결과를 결합한 데이터로 Bayesian artificial neural network를 학습하여 조성에 따른 물성 예측에 대한 상관계수가 0.98 이상인 모델을 얻었다. 학습된 인공지능 모델은 고온 물성이 우수한 합금의 조성을 도출하는데 활용하였다.

[터빈3-3 | 14:40] 조청강연

Temperature dependence of TCP phase on the deforamtion behavior in the Ni-based single-crystal superalloy: 이상원*(KIMS,KAIST,Karlsruhe Institute of Technology), 도정현, 최백규, 정중은, 김인수(KIMS), Ujjval Bansal, Christopher Kirchlechner(Karlsruhe Institute of Technology), 최벽파(KAIST), 이수빈(Karlsruhe Institute of Technology)

Keywords: Ni-based superalloy, TCP phase, deformation behavior, Micropillar compression

The mechanical responses and deformation mechanisms of plate-like μ phases precipitated in Ni-based single-crystal superalloys were systematically investigated across a range of temperatures through multi-scale compression tests. Macro-scale tests provided insights into overall mechanical performance, whereas micro-scale tests allowed for local mechanical properties containing single μ phase and in situ observations of μ phase deformation. The results demonstrated that at room temperature, the μ phase undeformed and acted as a barrier to {111}γ/γ' {111} slip propagation. However, at elevated temperatures (>≥ 500°C), the μ phase underwent distinct deformation modes including bending and shearing along non-basal planes. In contrast to the temperature-dependent deformation behavior, the critical resolved shear stress (CRSS) consistently decreased in the presence of μ phases, irrespective of temperature. This indicates that the observed CRSS reduction likely originated from microstructural changes in the surrounding γ/γ' rather than from deformation of the μ phase itself. This work clearly demonstrates temperature-dependent deformation behavior of the μ phase formed in Ni-based single-crystal superalloys and provides insights into a guidance for microstructural control and enhanced material reliability in high-temperature applications.

[터빈4-1 | 15:10] 조청강연

수소가스터빈용 고온부품 소재의 수소취성 영향평가: 송진영(두산에너빌리티), 윤희수, 남승훈(한국표준과학연구원), 김두현, 서진유(한국과학기술연구원), 마영화(두산에너빌리티)

Keywords: Hydrogen Gas turbine(수소가스터빈), Hot Gas Path(고온부품), Hydrogen embrittlement(수소취성), Thermal Desorption Spectroscopy(열탈착분석)

최근 친환경 에너지 전환과 탄소중립 에너지 솔루션에 대한 수요가 증가함에 따라 수소연료기반 가스터빈 개발이 주목받고 있으며, 이에 개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 수소환경에서의 금속재료신뢰성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 수소가스터빈 연소기 고온부품소재로 사용되는 스테인리스강과 터빈 고온부품소재로 사용되는 니켈기 초내열합금에 있어 수소취성 영향을 평가하였다. 열탈착분석(Thermal Desorption Spectroscopy, TDS)과 인장시험을 통해 수소장입특성 및 트래핑 거동, 사이트의 특성을 정량적으로 분석하였으며 가열속도에 따른 TDS분석결과, 다양한 수소 트래핑 사이트가 확인되었다. 특히 니켈기 초내열합금의 경우, 동일한 수소장입조건에서 스테인리스강보다 높은 Hydrogen Embrittlement Index를 나타내었다. 이는 합금의 미세조직 특성과 밀접한 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 수소와 미세조직간 상오작용에 대한 이해를 제공하는 동시에 수소 가스터빈용 고온부품 소재의 신뢰성 평가기술개발에 기여할 수 있을 것으로 생각됩니다.

[터빈4-2 | 15:30] 조청강연

실험계획법과 인공지능에 의한 니켈계 초내열합금의 조성에 따른 hot corrosion 저항성 분석: 장희진(조선대학교), 서성문, 정희원, 유영수(한국재료연구원), 김희수*(조선대학교)

Keywords: 고온 부식, 니켈기 초내열합금, 실험계획법, 인공지능

700ºC에서 니켈기 초내열합금의 고온 부식(hot corrosion)에 미치는 합금원소의 영향을 평가하고 그 결과를 기계학습(machine learning, ML)과 설명 가능한 인공지능(explainable AI, XAI)을 활용하여 분석하였다. 순환 고온부식 실험으로부터 얻은 무게 변화량을 데이터로 하여 머신러닝 모델을 구축하였으며, XAI 기법을 적용하여 각 합금원소의 영향을 정성적 및 정량적으로 평가하였다. 연구 결과, 알루미늄이 내식성 향상에 가장 크게 기여하며 Co, Cr, Ti, Ta의 순으로 부식 억제에 도움이 되고, Mo과 W은 부식을 오히려 가속할 수 있는 것으로 나타났다. 원소 간의 교호 작용 측면에서는, Al, Ti, Ta의 양이 증가하면 Co와 Cr의 기여는 상대적으로 감소하였고 Mo, W의 부정적인 효과는 Al의 함량이 높은 합금에서는 잘 나타나지 않았다.

[터빈4-3 | 15:50] 조청강연

900 °C급Inconel 738LC의 Creep물성 향상 및 변형기구 규명의 연구: Jae Bok Seol(Kookmin University), Jong Bae Jeon(Dong-A University), Joong Eun Jung(Korea Institute of Materials Science)

The dynamic interplay between solutes and planar faults has determined the high-temperature properties of superalloys. However, quantification of twin boundaries formed during creep tests of $L1_2$ particle-hardened superalloys, with their impact on the materials, has not been proven experimentally. We conduct scanning transmission electron microscopy and atom probe tomography to provide direct evidence of physio-chemical features responsible for the high-temperature twin boundaries, including Cottrell atmosphere and Suzuki segregation-associated phase transformation inside $L1_2$ particle, for a Ni base superalloy upon creep loading at 930 °C. Further, we will show that twin boundary initiates the pipe diffusion along energetically dissociated dislocations within $L1_2$-ordered structure.

[터빈4-4 | 16:10] 조청강연

H급 가스터빈용 Ni기 초내열 합금 물성 데이터베이스 구축: 남승훈*(윤희수(한국표준과학연구원/수소에너지 그룹))

Keywords: Ni기 합금, 고온 물성, 기계적 물성, 피로 수명, 데이터베이스

가스터빈의 성능을 결정하는 주요 요소 중 하나는 터빈 입구 온도(turbine inlet temperature, TIT)로, 이를 높이기 위한 노력이 계속되고 있다. H급 가스터빈은 약 1600-1700ºC의 TIT를 목표로 하며, 이 온도를 유지하기 위해 블레이드나 베인 소재에 열 차폐 코팅(Thermal Barrier Coating, TBC) 및 냉각 기술을 적용하여 500-600ºC의 표면온도를 낮출 수 있다. 그러나 약 1100ºC의 고온 환경에서 우수한 내열성을 지녀야 하므로, Ni기 초합금, 특히 단결정 또는 일방향 응고 초합금이 사용된다. 가스터빈의 운용 및 유지보수를 위해서는 이러한 초합금 소재의 물성 데이터 확보가 매우 중요하다. 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술 평가원의 지원을 받아, 6종의 Ni기 초내열 합금에 대한 인장, 크리프, 저주기/고주기 피로, 열적-기계적 피로 등 10여 종류의 물성 데이터를 생산하였다. 이를 바탕으로 데이터베이스 시스템을 구축하여, 국내 연구자들이 자유롭게 접근하고 활용할 수 있도록 데이터를 제공하는 시스템을 개발하였다. 본 데이터베이스는 효율적인 검색이 가능하며, 각 합금의 소재 정보와 시험 물성, 시험 절차서 등을 포함하여 물성 데이터와 함께 제공한다. 또한, 생성된 물성 데이터에 대한 세부 사항에도 손쉽게 접근할 수 있다.

전산재료과학
Room 2층 211, 10월 30일

[전산1-1 | 09:00]
Phase-field Simulation of Grain Growth in U-7Mo Nuclear Fuel Considering Zener Pinning Effects: Jung Woo-Jin, Chang Kunok*(Kyung Hee Univ.)
Keywords: U-7Mo, phase-field, grain growth, second-phase particle, Zener pinning

U-7Mo is a representative low-enriched uranium (LEU) alloy widely employed in research reactors. The grain size and distribution of U-7Mo critically influence thermal conductivity and mechanical strength, making the understanding of grain growth behavior essential. In practice, U-7Mo exists as dispersed particles embedded in an Al matrix, where annealing leads to the formation of interaction layers at the interface. To suppress the formation of interaction layer, Si or N additions are typically introduced to form protective coating layers. However, the penetration of Si and N into U-7Mo generates second-phase particles, which hinder grain growth through Zener pinning. Experimentally, annealing at 1000ºC for 1 hour results in grain growth from 3μm to 32μm in pure U-7Mo, whereas Si additions limit the growth to 15μm. Furthermore, U-7Mo frequently exhibits a bimodal initial grain size distribution, which is expected to influence the effect of Zener pinning on U-7Mo grain growth. In this study, a phase-field model incorporating Zener pinning is conducted to simulate grain growth in U-7Mo with bimodal initial grain size. The simulations aim to clarify how bimodal initial grain size influence Zener pinning effects and to provide guidance for the microstructural optimization of U-7Mo nuclear fuel.

[전산1-2 | 09:15]
Phase field Simulation of β-Nb Precipitation Behavior in Zr – Nb Alloy: LEE HWANHUI, Kunok Chang*(Kyung Hee University)
Keywords: Zirconium Alloys, Segregation, Interface Energy

Zirconium (Zr) alloys have excellent corrosion resistance and a low thermal neutron absorption cross section. For this reason, Zr alloys are widely used as cladding materials. Zr alloys contain various additive elements, among which niobium (Nb) and iron (Fe) are widely added to significantly improve the corrosion resistance of Zr alloys. As a result, Nb and Fe elements are frequently added to Zr alloys, and related research is actively conducted. In nuclear power plant, the target temperature for cladding materials is below 400 degrees Celsius. At this temperature, the representative phases of Zr-Nb-Fe are α-Zr and β-Nb phases. The Fe element exhibits low solubility in α-Zr and β-Nb phases. As a result, the Fe element tends to segregate at the interface. Fe segregation has the characteristic of changing the local chemical composition within an alloy. Additionally, Fe segregation phenomenon can have various effects on the properties of zirconium alloys, such as interface stability, β-Nb precipitation, and corrosion resistance. Although the possibility that Fe has various effects on Zr-Nb-Fe alloys has been repeatedly suggested, further investigation is needed on how Fe segregation affects the alloy. This study analyzed and presented the degree of segregation of Fe at different concentrations at the α-Zr and β-Nb interfaces in Zr–Nb–Fe alloys using the MOOSE framework, calculated the relationship of Fe segregation on interface energy, and compared it with Gibbs adsorption equation. By analyzing the effect of segregation on the interface energy of Zr-Nb-Fe alloys, this study is expected to provide valuable insights for alloy design and cladding performance optimization. In particular, it will be useful in terms of interface stabilization, phase transformation, and the formation of intermetallic compounds.

[전산1-3 | 09:30]
제일원리계산 및 기계학습 기반 γ-Fe 결정립계 특성에 따른 합금원소의 편석 예측 및 산화물 생성 저감: 이호, 김상태*(한양대학교)
Keywords: 제일원리, 기계학습, 결정립계, 편석

합금 결정립계에서 형성되는 산화물은 취성화를 유발하여 재료 건전성을 저하시킨다. 오스테나이트계 스테인리스강은 크로뮴 (Cr) 첨가를 통해 표면에 산화막을 형성하여 모재의 산화 및 결정립계에서의 산화물 생성을 억제하지만, 용융염 환경에서는 결정립계 내 Cr이 선택적으로 용출됨이 관찰되었다. 본 연구는 γ-Fe 기반 스테인리스강 결정립계 내부에서 산화물 형성을 억제할 수 있는 미량 합금 원소를 발굴하기 위해, 결정립계 특성에 따른 합금 원소의 편석 경향성을 예측하였다. 밀도범함수이론 기반 Vienna Ab Initio Package(VASP)를 사용하여 γ-Fe의 5종 결정립계를 모델링하고, 12종 전이금속 원소 치환에 대한 총 708개의 편석 에너지를 계산하였다. 각 치환 위치의 원자 구조 및 전자 구조를 정량화 하여 학습 인자를 구성하고, gradient boosting 알고리즘을 적용하여 합금 원소를 치환하지 않은 결정립계데이터를 기반으로 합금 원소의 편석 에너지를 예측하는 기계학습 모델을 개발하였다. 학습된 모델은 22종 결정립계에서 4620개의 편석에너지를 예측했으며, 예측 결과는 다양한 온도 조건에서 보고된 오스테나이트계 스테인리스강에서 4종 합금 원소의 결정립계 편석 경향성과 일치하였다. 또한, 합금 원소가 치환되지 않은 결정립계에서의 산소 편석 에너지와 합금 원소가 치환된 결정립계에서의 산소 증분 분리에너지, 상호작용 에너지 비교한 결과, 편석 된 합금 원소가 산소에 척력을 작용하여, 산소 편석 경향을 감소시키는 것으로 나타났다. 본 연구는 합금 원소 치환이 없는 결정립계 구조 정보만으로 합금 원소의편석 경향을 예측하며, 이에 따른 산소의 편석 경향성 변화를 예측할 수 있어, coincidence site lattice(CSL) 분류를 활용해 파악한 결정립계 정보를 통해 산화물 억제 합금 설계에 기여할 것으로 기대된다.

[전산2-2 | 09:55]

Fe–Mn 불순물이 포함된 알루미늄 주조합금의 응고 미세조직 형성에 대한 Calphad 기반 상장 모델 시뮬레이션: 장형욱, 조휘재, 김동욱, 차필령*(국민대학교)

Keywords: 알루미늄, 상장모델

알루미늄 주조합금의 응고 미세조직을 정확히 예측하기 위해서는 α-AlMnSi 상과 β-AlFeSi 상의 열역학적 거동을 반영한 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 Al–Si–Fe–Mn 4원계 시스템을 대상으로 Calphad 기반 열역학 데이터를 활용한 상장(phase-field) 시뮬레이션을 구축하였다. 각 상에 대해 조성 의존적인 자유에너지 함수를 정의하여 응고 과정에서 α상과 β상의 경쟁적 성장과 조직 형성을 모사하였다. 시뮬레이션 결과는 기존 문헌의 실험 미세조직과 비교되었다. 이러한 결과는 실험적 관찰을 해석하는 데 유용할 뿐만 아니라, 다성분 알루미늄 주조합금의 미세조직 형성을 예측하는 기초 자료로 활용될 수 있다.

[전산2-3 | 10:10]

Phase-Field Model을 활용한 Q&P 강의 미세조직 및 계면 특성 분석: 조휘재, 장형욱, 김동욱, 성효경, 김성균, 차필령*(국민대학교)

Keywords: Q&P, 미세조직, Phase-Field Model

Q&P 공정은 고강도와 연성을 동시에 구현할 수 있는 차세대 강재 개발의 핵심적인 열처리 기술로 널리 주목받고 있다. 본 연구에서는 Phase-Field Model을 활용하여 담금질 온도(QT), 분배 온도(PT), 그리고 분배 시간이 미세조직 형성과 원소 거동에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 특히 탄소와 치환원소의 재분배 거동, 마르텐사이트/오스테나이트 계면의 이동 특성을 모사함으로써 복합적 열처리 조건과 미세구조 간의 상호작용을 규명하였다. 시뮬레이션 결과는 실험과 비교·검증되었으며, 이를 통해 공정 변수들이 오스테나이트에 잔류하는 탄소 함량, 마르텐사이트 및 잔류 오스테나이트의 체적 분율, 그리고 최종 미세조직 구조에 어떠한 영향을 주는지를 정량적으로 분석하였다. 시뮬레이션과 실험을 결합한 본 연구의 접근법을 통해 고성능 Q&P 강 설계를 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[전산2-4 | 10:25]

Order-disorder transition in 2D MC Potts model: I. simulation vs. mean field theory: Park MinSeong, Minguk Jang, Sukbin Lee*(Ulsan National Institute of Science and Technology)

Keywords: Two dimensional square-lattice Potts model, Order-disorder transition, Critical temperature, Next nearest neighbor, Excess free energy

The order–disorder transition in the Ising model, two-spin case of the Potts model, has been extensively studied to predict the transition temperature and to elucidate its thermodynamic nature. This is because the Ising model was found to give a simple yet powerful description of the ferro–para magnetic transition at the Curie temperature. In contrast, the Potts model has found broader applications in predicting microstructural evolution during coarsening processes such as grain growth, recrystallization, and sintering. Unfortunately, the order–disorder transition of the Potts model has not been as broadly investigated, largely because its transition is analogous to melting (or solidification in reverse) in microstructural evolution. Furthermore, the Potts model accommodates multiple spin states, making the prediction on its transition behavior inherently more complex than that of the Ising model. In this study, we investigate the characteristics of the order–disorder transition in the 2D Potts model on a square lattice via a Monte Carlo Potts model simulation. Also, the simulation results are verified against the mean field theory. We begin this talk by presenting the computational methods in detail. From the simulations both the nature of the transition and the critical temperature are obtained. It is found that the critical behavior of the Potts model has a strong dependence on the number of spin states (Q), which in turn is in accordance with the mean field theory predictions. In addition, one can find how excess free energies influence the variation in the critical transition temperature. Some thermodynamic interpretations on these phenomena is also presented.

[전산3-1 | 10:50]

Strain Engineering Effect on HER Activity through EMSI and Electronic Structure Tuning: KIM TAIHOON, Chung yongchae*(한양대학교)

Keywords: LDH, 수소 생산 촉매, strain engineering, EMSI,

Electron metal-support interaction (EMSI) plays a pivotal role in determining the activity of single-atom catalysts (SACs). In this study, we investigate how strain modulates EMSI and the electronic structure of a single Pt atom supported on CoFe layered double hydroxide (LDH), using density functional theory (DFT) calculations. Charge density difference (CDD) and Bader analysis reveal that strain redistributes electron density around the Pt site, suppressing electron depletion during hydrogen adsorption. Notably, the hydrogen adsorption energy drops sharply from +2% to +3% strain, which is attributed to strain-induced geometric optimization: the OH groups in the LDH support reorient toward the Pt atom, thereby enhancing EMSI. This structural reorientation and the associated electron redistribution, as confirmed by CDD analysis, strengthen the interaction between Pt and the support. Furthermore, the correlation between the OH–Pt distance and the Gibbs free energy of hydrogen adsorption (ΔG_H^*) demonstrates that the geometric configuration of the support plays a decisive role in adsorption behavior. d-band center analysis shows that, within the strain range of −3% to +4%, the d-band center shifts monotonically upward, whereas beyond +4%, it unexpectedly downshifts due to structural instability of the CoFe-LDH support. At +3% strain, ΔG_H^* approaches zero, indicating optimal catalytic activity. A strong linear correlation is also observed

between the d-band center and ΔG_H*, confirming the d-band center as a key descriptor for HER activity in this system. Notably, without structural deformation, it is challenging to achieve a substantial improvement in hydrogen adsorption energy. However, strain-induced geometric optimization alters the bonding environment between the LDH support and the Pt active site, leading to a sharp enhancement in adsorption energy. These findings demonstrate that structural deformation triggered by strain is a critical indicator for determining hydrogen evolution performance and highlight the significance of fine-tuning EMSI and electronic structure via strain engineering to achieve high-performance hydrogen evolution.

[전산3-2 | 11:05]

Synergistic Metal-Support Effects in CO_2 Hydrogenation on Pd/Oxide Catalysts: Yejung Choi(Chungnam National University), Hyuk Choi(Nanyang Technological University), Suin Hwang, Seona Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National University)

Keywords: Thermocatalytic CO_2 hydrogenation, Density Functional Theory, Activation of *C-O bonding

Hydrogenating CO_2 into clean fuels and hydrocarbons such as methane, formic acid, and C_2^+ products is a viable strategy for mitigating anthropogenic carbon dioxide. Based on density functional theory calculations, we elucidate the mechanism of CO_2 hydrogenation by Pd nanoparticles supported on MgO or CaO. To provide fundamental insight into the rational design of active and selective CO_2 hydrogenation catalysts, we combined Pd, a hydrogen activator, and MgO or CaO, a CO_2 binder. We found that Pd preferentially binds and dissociates H_2, and the Pd-oxide interface activates CO_2, completing a bifunctional CO_2 hydrogenation reaction. The Pd-CaO interface strongly binds CO_2 compared to the Pd-MgO interface. Therefore, the weakened C-O bond enables hydrogenation of the oxygen of CO_2, activating the carboxyl pathway of CO_2 hydrogenation and producing CO and methanol. In contrast, the formate pathway through direct hydrogenation of the carbon of CO_2 operates in the Pd-MgO catalyst due to the relatively weak interaction with CO_2. Producing formic acid and methanol is thermodynamically more accessible in Pd/MgO. Our results show that the catalyst-CO_2 interaction steers the overall reaction pathway of thermocatalytic CO_2 hydrogenation by metal/oxide class heterogeneous catalysts.

[전산3-3 | 11:20]

Lithium Polysulfide Adsorption on Transition Metal-Nitrogen-Doped Graphene for Advanced Cathode Hosts in Li-S Batteries: Lee Soyun, Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

Keywords: Lithium-sulfur battery, Lithium polysulfide, Shuttle effect, Density functional theory

Lithium-sulfur (Li-S) batteries are considered promising candidates for next-generation energy storage owing to their high theoretical capacity. Hoever, their practical application is severely limited by the polysulfide shuttle effect. In this study, we employ density functional theory (DFT) calculations to investigate lithium polysulfide adsorption on nitrogen-doped graphene containing transition metal-nitrogen sites (Fe, Co, Ni, Cu). Among the investigated adsorption sites, Fe-N_4 exhibits the strongest binding, indicating superior capability for polysulfide immobilization. Furthermore, nudged elastic band (NEB) calculations reveal the diffusion barriers across different sites, elucidating the mechanisms of shuttle suppression. These findings provide atomistic insights into adsorption and transport dynamics, providing practical guidelines for the rational design of advanced cathode hosts in Li-S batteries.

[전산3-4 | 11:35]

Moisture-Induced Surface Degradation Mechanism of Argyrodite Li_6PS_5Cl Under Dry-Room Conditions: Kim Yoon-Seong, Seo Dong-Hwa*(KAIST)

Keywords: Solid-state electrolytes, sulfide argyodite, DFT calculations, surface degradation mechanism, dry room

In response to the global request for superior energy storage systems with enhanced safety and higher energy densities, all-solid-state batteries (ASSBs) have received attention due to the less flammable characteristics of their inorganic solid-state electrolytes (SSEs) and usage of Li metal as an anode. Recently, the sulfide argyrodite Li_6PS_5Cl (LPSC) has been one of the promising materials among various candidates for SSEs due to its good ductility and high ionic conductivity (~10 mS cm^{-1}). However, the poor moisture stability of sulfide materials has emerged as a critical bottleneck in attaining a commercialization level. Herein, we investigate the surface degradation and detailed mechanisms under the industrial dry room condition (-60 ºC ~ -70 ºC dew point) by exploiting first-principles calculations and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) depth profiling. The dual reseach approach reveals a five-step mechanism: (i) H_2O adsorptions on LPSC surface, (ii) thermodynamically favorable S-O substitutions, (iii) O penetration into the subsurface layers through polyhedral rotations of O-substituted PS_4 tetrahedra, (iv) formation of O-rich surface, and (v) finally phase separations into smaller decomposition products The resulting porous surface layer is insufficient to prevent damage to the internal pristine LPSC, which causes continuous surface deterioration as exposure time elapses. The suggested decomposition mechanism provides new insights into the moisture instability, which lead to the reinterpretation of previous studies and novel design strategies for enhancement in dry room compatibility via control of PS_4 tetrahedral rotations and induction of high-volume decomposition phases.

[전산4-1 | 14:00] 초청강연

Phase-field modeling of the Laves phase during solidification of 7000 series aluminum alloys: 김근우(고려대학교), 김성균, 김동욱, 차필령*(국민대학교.)

Keywords: Phase-field simulation, Laves phase, Solidification

The $(Al,Cu,Mg,Zn)_2(Al,Cu,Mg,Zn)$ Laves phase, which plays an important role in enhancing high-temperature strength, often forms in as-cast microstructures of Al 7000 series alloys. To incorporate this phase into a phase-field model, the site fractions of each constituent element were determined by composition-dependent energy minimization during solidification based on a relaxation method, ensuring equal diffusion potentials between sublattices in the compound energy formalism. The thermodynamic data obtained from the CALPHAD method were directly linked to the phase-field model, enabling simulation of nucleation and growth behavior of the Laves phase. In this presentation, we demonstrate the implementation of Laves phase into a phase-field model and discuss the microstructural evolution of solidification microstructures containing Laves phase.

[전산4-2 | 14:25]

전산모사를 통한 열연코일의 재질편차 예측 및 개선: 김동완*(포스코 기술연구원)

Keywords: 전산모사, 열연코일, 열처리, 재질예측

열연공정을 통해 생산되는 열연코일 내에서는 코일의 위치 및 열처리 이력에 따라 재질 편차가 발생하며, 이는 이후 공정에서 불량의 주요 원인이 된다. 본 연구에서는 유한요소해석을 기반으로 열연코일의 위치별 온도 분포를 해석하고, 이를 통해 코일 내 위치에 따른 온도 이력을 분석하였다. 분석된 온도 이력은 템퍼링 파라미터를 활용하여 특정 값으로 변환하였으며, 이를 바탕으로 강도 예측 모델을 개발하여 코일 폭 방향의 재질 편차를 정량적으로 모델링하였다. 최종적으로, 개발된 모델을 활용하여 코일 내 재질 편차를 최소화할 수 있는 최적의 공정 변수를 도출하였다.

[전산5-1 | 14:50] 초청강연

분자동역학을 활용한 생체기능성 소재 연구: 기계공학적 관점: 윤태영*(국립창원대학교/기계공학부)

Keywords: 분자동역학, 실크, 효소기반 바이오 연료 전지t

소재–생체 계면에서의 생체기능성 소재 성능 향상은 차세대 바이오전자 및 바이오에너지 시스템 개발에 핵심적이다. 본 연구에서는 분자 수준 설계, 소재 표면 공학, 외부 장 조절을 결합한 다각적 전략을 통해 생체분자와 고체 기판 간 기능적 결합을 강화하는 방안을 제시한다. 분자 동역학(MD) 시뮬레이션을 활용하여 부위 특이적 단백질 공학과 기판 표면 기능화가 결합 안정성, 배향, 전자 전달 효율에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 그래핀 기반 소재는 기존의 탄소 및 금속 전극에 비해 우수한 고정화 능력과 계면 특성을 나타냈으며, 특히 외부 전기장이 가해질 때 분자의 유리한 배향을 촉진하였다. 전기화학 분석 결과, 최적화된 구성은 촉매 활성과 신호 전달 능력을 크게 향상시키는 것으로 확인되었다. 동시에, 물리적·화학적 변형 조건에서 생분해성 생체고분자인 실크 단백질의 구조적·기계적 거동을 연구하였다. 분석 결과, 실크의 2차 구조와 사슬 간 상호작용을 표적 강화하면 기계적 강성이 크게 향상될 수 있음이 확인되었다. 더 나아가, 실크가 반도체 공정 조건과 양호한 호환성을 보여, 친환경 전자소자 제조를 위한 바이오 기반 포토레지스트 소재로의 적용 가능성을 제시하였다. 종합적으로, 본 연구는 연성 생체 소재와 경성 전자 부품 간의 간극을 메우는 범용적 계면 설계 접근법을 제시하며, 바이오전자, 에너지 변환, 녹색 나노기술 등 다양한 분야에서의 활용 가능성을 입증하였다.

[전산5-2 | 15:15]

전기장 매개 아밀로이드 K16 변이체의 기계적 안정성 저하: 임송희, 신홍철, 윤태영*, 염준빈(국립창원대학교)

Keywords: 전기장, 기계적 물성, 아밀로이드 변이체

Amyloid-β(K16) 단백질은 높은 기계적 강성과 구조적 안정성으로 인해 물리적 분해가 어렵고, 이로 인해 알츠하이머병에서 병리학적 축적을 촉진하는 주요 인자로 알려져 있다. 본 연구에서는 wild-type(WT) K16과 돌연변이체(K16D)를 대상으로, 전기장 인가 전후의 구조적 및 기계적 특성을 분자동역학(MD) 시뮬레이션을 통해 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 변이체의 구조적 타당성을 검증하고, 전기장이 기계적 물성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다. 우선 전기장 인가 전 결합 및 구조 분석을 통해 두 모델의 안정성을 검증하였다. 수소 결합 수, RMSD, β-sheet 비율, 결합 자유에너지(MMPBSA) 분석 결과, K16D 변이체는 WT와 유사한 수준의 내부 수소 결합 네트워크와 60% 이상의 β-sheet 비율을 유지하였다. 이는 변이체가 전기장 없이도 고유의 2차 구조를 안정적으로 보존함을 의미한다. 라마찬드란 플롯 분석에서는 두 시스템 모두 95% 이상의 잔기가 허용 영역 내에 위치하여, backbone 수준에서 구조적 왜곡이 거의 없음을 확인하였다. 이러한 결과는 변이체 모델이 생체 환경에서도 붕괴되지 않고 기능적 구조를 유지할 수 있음을 뒷받침한다. 기계적 물성은 Steered Molecular Dynamics(SMD) 기반 인장 시뮬레이션을 통해 Young's modulus를 산출하여 평가하였다. WT의 영률은 3811.67 MPa, K16D는 3873.01 MPa로 측정되었으며, 변이체가 WT보다 높은 강성을 가짐을 확인하였다. 이는 β-sheet의 높은 비율과 안정적인 수소 결합이 기계적 강성을 뒷받침한다는 앞선 구조 분석 결과와 일치한다. 기존 연구(Knowles et al., Nat. Nanotechnol. 2007)에 따르면, 아밀로이드 섬유의 높은 기계적 강성은 분해 저항성을 높여 병리학적 축적을 촉진하는 핵심 요인으로 작용한다. 따라서 K16D 변이체는 WT보다 물리적 제거가 어려운 병리 구조로 기능할 가능성이 크다. 이후 전기장(0.1 V/nm) 인가 후의 기계적 물성을 분석한 결과, 본 실험 조건에서는 명확한 강성 완화 경향이 나타나지 않았다. 이는 전기장의 크기, 방향, 인가 시간, 그리고 변이체의 고유 구조 특성이 상호작용하여 기계적 물성 변화의 양상을 결정함을 시사한다. 향후 연구에서는 전기장 조건의 최적화를 통해 기계적 강성 저하 효과를 극대화하는 방안이 필요하다.

본 연구는 전기장 인가 전후의 아밀로이드-β(K16) 단백질에 대한 구조·물성 분석을 통해, 변이체의 기계적 저항성과 구조 안정성을 종합적으로 규명하였다. 특히, 높은 기계적 강성을 가지는 변이체는 물리적 분해가 어렵고 병리학적 축적이 촉진될 수 있으며, 이는 전기장 기반 치료 전략 설계 시 반드시 고려해야 할 요소이다. 본 결과는 알츠하이머병 치료 접근법 개발에 있어 전기장 활용 가능성과 한계를 동시에 제시하며, 향후 맞춤형 외부 자극 기반 치료법 개발의 기초 자료로 활용될 수 있다.

[전산5-3 | 15:30] Canceled

[전산6-1 | 15:55] 초청강연

Acceleration of quantum mechanical property prediction using deep learning: Yang Jeong Park*(한국과학기술연구원)

Keywords: Deep learning, quantum mechanics

Quantum mechanical calculations are essential for understanding structure-property relationships, but their high computational cost limits large-scale applications in materials science. Recent advances in deep learning, provide new opportunities to accelerate the prediction of quantum mechanical properties while maintaining high accuracy. In this work, we present several deep learning frameworks trained on extensive quantum mechanical datasets to predict key materials properties. Our approaches significantly reduce the computational time compared to traditional ab initio methods, achieving near–quantum chemical accuracy with orders-of-magnitude faster inference. This study underscores the promise of deep learning as a practical tool for accelerating quantum mechanical property prediction and advancing data-driven materials design.

[전산6-2 | 16:20]

Developing solid-state electrolyte using machine-learned potential: Lee Byungju*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: machine-learned potentials, solid-state electrolytes, molecular dynamics

The rapid development of solid-state batteries has driven the need for more accurate and efficient computational methods to explore solid electrolytes. While Density Functional Theory (DFT) has greatly advanced the understanding of material properties, its high computational demand poses limitations in large-scale screening and complex interfacial studies. In this work, we employ machine-learned potentials (MLPs) to overcome these challenges, enabling high-throughput screening of candidate materials for lithium and sodium solid-state electrolytes. Our approach allows us to probe both crystalline and amorphous phases, providing insights into ionic transport mechanisms and structural stability with near-DFT accuracy at significantly reduced cost. Furthermore, we extend our investigation to electrode–electrolyte interfaces, where the combination of MLPs with artificial intelligence–based analysis methods reveals key factors governing interfacial stability and ion mobility. This integrated strategy not only accelerates the discovery of promising solid electrolytes but also deepens the fundamental understanding of ion transport and interfacial behavior, offering a valuable framework for next-generation solid-state battery design.

[전산6-3 | 16:35]

Synthesis Simulation of Sulfide Solid Electrolytes with Machine Learning Interatomic Potential: Park Seonhye, Kang Joonhee*(Pusan National University)

Keywords: Li_2S-P_2S_5 system, Machine learning interatomic potential (MLIP), Computational synthesis

Sulfide-based solid electrolytes are promising for all-solid-state batteries due to their high Li-ion conductivity. The Li_2S-P_2S_5 binary system has been extensively studied, as it forms various phases depending on precursor composition and synthesis conditions. Here, we conducted synthesis simulations of Li_2S-P_2S_5 system using a machine-learning interatomic potential (MLIP). Molecular dynamics with MLIP reproduced reaction pathways and products consistent with theoretical and experimental reports, demonstrating the ability of machine learning molecular dynamics (MLMD) to capture solid-state synthesis. These results highlight MLMD as a powerful tool for safe, predictive synthesis emulation and efficient screening of materials.

[전산6-4 | 16:50]

Solid-Electrolyte Interphase Formation and Oxygen-Doping Effects at Li | Li_6PS_5Cl Interfaces Revealed by a Machine-Learning Framework: Yang Sojeong, Byungju Lee*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Argyrodite, Li_6PS_5Cl, GNN-MLIP, Solid electrolyte interphase, Oxygen doping

Argyrodite sulfide electrolytes (e.g., Li_6PS_5Cl) are attractive for all-solid-state batteries due to their high Li^+ conductivity, low-cost processability, and favorable mechanical compliance. However, a key bottleneck is interfacial performance at buried electrode-electrolyte interfaces, where chemical/electrochemical instability drives the formation of decomposition products (the solid-electrolyte interphase) that are difficult to characterize experimentally. We develop and validate a graph neural network (GNN)-based machine-learning interatomic potential (MLIP) spanning the Li-P-S-Cl-O chemical space. The model reliably reproduces equations of state and reaction energies and enables large-scale machine-learning molecular dynamics (ML-MD) of Li metal | Li_6PS_5Cl interfaces to probe

interfacial reactions at] the atomic scale. To identify the resulting phases, we introduce a machine-learning crystal-structure prediction workflow that predicts which decomposition products emerge during interphase formation. As a strategy to enhance interfacial performance, we examine oxygen doping in Li_6PS_5Cl. The ML-MD simulations reveal that oxygen doping yields an interphase with higher Li^+ conductivity than in the undoped case. Overall, our machine-learning framework provides atomistic insight into solid-electrolyte interphase formation, highlights the central role of kinetics, and offers guidance for engineering more stable, ion-conducting interfaces for solid-state batteries.

여성수상자 기념강연
Room 2층 212/13, 10월 30일

[여성1-1 | 09:10] KOFWST-KIM KJMM 젊은 연구자상

주증기배관용 SA508 Gr.1A 저합금강의 미세조직 변화가 파괴저항성에 미치는 영향: 현세미(한국원자력연구원), 배소영(한국원자력연구원,고려대학교), 홍석민, 김종민, 김민철*(한국원자력연구원)

Keywords: SA508 Gr.1A, 열처리, 미세조직, J-R 파괴저항성

원자력발전소의 배관은 고온/고압의 증기와 냉각수를 이동시키는 통로로써, 가동 환경에서 배관의 건전성을 향상시키기 위하여 우수한 파단전누설(Leak Before Break, LBB) 안전여유도를 확보하는 것이 필요하다. LBB 안전여유도는 인장특성과 J-R 파괴저항성에 주로 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 충분한 안전여유도를 확보하기 위해서는 소재의 항복강도와 J-R 파괴저항성을 향상시켜야 한다. J-R 파괴저항성에 영향을 미치는 미세조직적 요인으로는 결정립 크기, 석출물 크기, 상분율 등이 알려져 있으나, J-R 파괴저항성에 영향을 미치는 주요 요인을 체계적으로 분석한 연구는 수행된 적이 없다. 본 연구에서는 실제 배관에 적용된 SA508 Gr.1A 저합금강을 활용하여 오스테나이트화 온도 및 템퍼링 시간, 냉각속도, 이상영역 열처리 조건을 변화시켜 다양한 미세조직을 형성하고, J-R 파괴저항성에 영향을 미치는 주요 요인을 확인하고자 하였다. 인장시험 및 J-R 파괴저항성 시험을 통해 기계적 특성을 평가하고, 미세조직과 J-R 파괴저항성 간의 상관관계를 분석하였다. J-R 파괴저항성은 균열 선단의 소성영역 내에 포함된 유효결정립의 수와 선형적으로 비례하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 기반으로 유효결정립 크기, 소성영역 크기, 항복강도 및 인장강도를 고려한 J-R 파괴저항성 예측 모델을 제시하였다. 제시된 모델은 SA508 Gr.1A 저합금강의 다양한 미세조직으로부터 얻은 실험결과와 잘 일치하는 경향을 보였다.

[여성1-2 | 09:30] 초청강연 KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상

스피노달 강화기구 활용한 철계 중엔트로피 합금 강화: 박효진(포항공과대학교), Farahnaz Haftlang*(Northwestern University), 허윤욱*(포항공과대학교), 설재복(국민대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 스피노달 구조 기계적 물성

재료과학 분야에서는 높은 강도와 충분한 연신율을 동시에 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 일반적으로 석출상 강화가 가장 널리 활용되는 전략이지만, 미세한 석출상이 국소 응력 집중(local stress concentration)을 유발하여 연성 저하를 초래하는 한계가 있다. 본 연구에서는 스피노달 분해 현상을 활용한 새로운 강화 전략을 제안한다. 철 기반 중엔트로피 합금에 Cu와 Al을 도입하고, 시효 처리를 통해 나노스케일의 주기적 조성 변동을 유도하였다. 이렇게 형성된 스피노달 구조는 기지와의 높은 격자 정합성을 유지하면서 기존의 석출 강화 메커니즘을 넘어서는 강화 효과를 나타낸다. 그 결과, 변형 집중을 억제하여 연성을 유지하면서도 항복 강도가 약 두 배 가까이 향상되었다. 또한, 스피노달 분해는 소량의 조성 조정만으로 구현이 가능하여, 합금의 기계적 성능을 향상시키는 유망한 설계 접근법임을 확인하였다.

[여성1-3 | 09:50] 초청강연 KOFWST-KIM EML 젊은 연구자상

Flexible Transparent Conductive Electrodes with Enhanced Optoelectronic Performance via Electrodeposited Hierarchical Silver Networks: Eunyeong Yang, Choong-Heui Chung*(Hanbat National University)

Keywords: Transparent conducting electrodes, Self-cracking template, Hierarchical network, Electrodeposition

Mechanically flexible transparent conductive electrodes (TCEs) with high optoelectronic performance are essential for flexible and wearable optoelectronic devices. In this study, we fabricated hierarchical silver networks consisting of a silver micromesh and randomly distributed silver nanowires (AgNWs), followed by thermal treatment and electrodeposition to enhance their electrical and structural properties. In this architecture, the silver micromesh functions as a primary pathway for charge transport, analogous to a highway, while the AgNWs provide finer, secondary conduction routes that fill the gaps between the mesh lines. Without further processing, discontinuities and contact resistance at the intersections of these pathways can hinder charge transport. To address this, thermal annealing and electrodeposition were employed to smooth junction interfaces, weld the AgNW–AgNW and AgNW–micromesh contacts, and gradually adjust their dimensions. This process significantly improved both conductivity and optical transmittance, leading to an optimized figure of merit. The resulting electrodes exhibited superior performance compared to conventional indium tin oxide (ITO), maintaining excellent electrical stability even under repeated bending. These results demonstrate the potential of electrodeposited hierarchical silver networks as promising candidates for next-generation flexible and wearable optoelectronic applications.

[여성2-1 | 10:20] 초청강연

금속 부식 현상의 이해: 하헌영*, 이태호, 박성준(한국재료연구원)

Keywords: 금속. 부식, 전기화학

부식은 금속이 산화성 환경과 화학적 또는 전기화학적으로 반응하여 고유의 성질을 잃거나 손상되는 현상입니다. 부식에 따른 금속의 열화는 금속 의존도가 높은 산업 시설 및 사회 기반 시설의 안전을 위협하는 주요 원인 중 하나입니다. 부식으로 인한 경제적 손실 비용은 세계 GDP의 약 3.4%에 해당하며, 나아가 부식은 인명의 피해까지 유발할 수 있습니다. 따라서 금속 기반 시스템의

구조 안정성과 지속 가능성을 위해서는 부식 현상의 적절한 통제와 예측이 요구되며, 이를 위해 부식 현상에 대한 체계적인 이해가 필요합니다. 부식은 환경과 금속의 상호 작용의 결과입니다. 시간, 온도, 화학적 특성, 응력, 미생물 등의 환경적 요인과, 조성, 조직적 특성, 부품의 형태와 구조 등의 재료적 요인 모두 부식에 영향을 미칩니다. 환경과 재료적 요인의 조합에 따라 부식의 특징적인 형태가 결정되고, 부식의 개시 및 성장 양상에 따라 부식은 다양한 유형으로 분류됩니다. 본 발표에서는, 부식의 유형을 분류하고 주요 부식 유형의 기구를 개괄하고자 합니다. 다음으로 부식 현상을 이해하기 위한 대표적인 전기화학적 시험법과 이의 해석법을 소개할 예정입니다. 마지막으로 이를 이용한 부식 연구의 실제 사례를 공유하며 본 세미나를 마무리하고자 합니다.

[여성2-2 | 10:40] 초청강연

신재생 에너지를 활용한 탄소 저감 기술: 스마트 윈도우, 인공광합성, 탄자니아: 이선영*(한양대학교)

Keywords: 신재생 에너지, 탄소 저감, 건식 증착 시스템, 인공광합성, 탄자니아

신재생 에너지를 활용한 탄소 저감 기술: 스마트 윈도우, 인공광합성, 탄자니아 이선영 교수 한양대학교 첨단융합대학 차세대반도체융합공학부 신소재 반도체 공학 전공 기후변화 대응과 지속가능한 발전을 위해 전 세계적으로 탄소중립 실현이 절실히 요구되고 있다. 이 과정에서 인공광합성을 통한 이산화탄소 전환 기술은 대기 중 CO_2를 고부가가치 화합물로 변환함으로써 탄소 저감과 에너지 자립을 동시에 달성할 수 있는 잠재력을 지닌다. 또한 태양광·풍력 등 신재생에너지는 화석연료 의존도를 줄이며, 인공광합성 시스템 구동에 필요한 친환경 전력을 공급할 수 있다. 한편, 스마트윈도우와 같은 차세대 건축 외피 기술은 건물의 에너지 소비를 획기적으로 줄여 탄소 배출 저감에 기여할 수 있다. 이러한 다양한 기술을 융합적으로 활용하는 전략은, 에너지 생산·저장·소비의 전 과정을 저탄소화하여 실질적인 탄소중립 달성을 앞당길 수 있는 핵심 열쇠가 될 것이다. 이번 강연에서는 신재생 에너지를 활용한 탄소 저감 기술을 달성하기 위하여 현재 진행중인 저의 연구분야 3가지를 소개하고자 한다. 첫번째는 NPDS (Nano Particle Deposition System)라는 독특한 건식 증착 방식을 이용한 다양한 전기변색 소자의 지속적인 개발을 공유하고자 한다. 나노 입자 적층 시스템 (NPDS)는 최근 개발된 건식 증착 기술로, 압축 공기를 사용하여 저진공 상온에서 나노 및 서브 마이크론 크기의 금속 및 세라믹 입자를 증착할수 있다. 여기서 나노 입자는 압축공기를 운반 가스로 사용하여 초음속 노즐을 이용하여 가속되는 시스템으로 증착 메커니즘의 특성으로 인하여 전극의 표면을 개질할 수 있다는 장점이 있다 본 연구에서는 이러한 다양한 전극 표면과 전해질 내의 이온과 상호작용을 이용하여 소자 성능을 제어하는 사례를 발표하고자 한다 또한 상용화된 분말을 이용한 건식 증착은 용매 뿐 아니라 전처리, 후처리 또한 필요하지 않아 증착 공정이 간단하고 친환경적이다 이러한 건식 적층 기술을 통해 전체 태양 스펙트럼을 아우르는 다이나믹 스마트 윈도우부터 저전압 구동 다색 전기 변색 시스템, 그리고 전기변색 슈퍼 캐패시터에 이르는 다양한 전기 변색 소자 뿐 아니아 가스센서등에 응용되고 있어 소개하고자 한다 인공광합성은 외부 에너지가 추가적으로 필요 없이 오직 반도체 광촉매와 태양에너지만으로 이산화탄소와 물로부터 탄화수소 연료 생산이 가능해 각광을 받고 있는 기술 중 하나로 지속가능한 대체에너지 생산을 가능하게 하는 무한한 에너지원인 태양에너지를 이용하는 연구로 중요성이 커지고 있다. 그 중, 광 효율을 최대한으로 높이기 위해서는 효율적인 반도체 광촉매 재료를 디자인하여 경제적인 방법으로 제작하고, 열역학적 또는 역학적 요소들을 고려하여 개발해야 한다. 이번 강연에서는 귀금속이 없는 반도체 광촉매를 적용한 효율적인 인공 광합성 시스템 사례를 소개하고자 한다. 저차원 나노구조를 이용하여 조합한 헤테로구조를 인공광합성에 적용하여, 흡광도 범위를 조절하고, kinetic overpotential 및 활성화 면적을 최대한으로 확장하므로 빛을 이용하여 유해한 가스를 무해한 연료로 변환하는 사례를 발표하고자 한다. 마지막으로 2020년부터 수행하고 있는 국제협력 선도 대학 사업에 대하여 소개하고자 한다. 본 사업은 탄자니아내 아루샤 공과대학(ATC)의 신재생 에너지 활용 교육역량 강화사업이라는 이름으로 기계공학과 내에 메카트로닉스 및 재료공학 융합 학사과정을 신설하여 탄자니아 현지에서 필요한 신재생에너지 관련 분야의 역량을 강화하고자 하는 목적을 가지고 있다. 이 사업으로 탄자니아 현지에서 중요하게 생각되는 신재생 에너지 분야의 실무형 엔지니어를 배출할 뿐만 아니라 창업 프로그램 및 연합 봉사단 활동을 통한 현지 지역 봉사 활동을 수행하는 사례를 발표하고자 한다.

[여성3-1 | 11:00] 초청강연

From Submission to Success: An Advanced Perspective: 주소연(Deputy Editor of Advanced Materials, Wiley)

Discover the pathways to publication success in the competitive landscape of materials science. This session will take you behind the editorial curtain at Wiley's flagship journals—Advanced Materials and Advanced Science—revealing what truly separates accepted manuscripts from the thousands rejected each year. The session will begin with an overview of Wiley's journals, offering attendees an idea of the range of potential venues for their research submissions. We will then discuss the detailed editorial review process, covering how manuscripts are initially assessed and peer-reviewed, and clarify the reasons for desk rejections. Beyond topics of manuscript preparation, expect to gain an understanding of common issues in submitted manuscripts, recent publication trends, and digital innovations that are reshaping how research is disseminated and evaluated. Join us for this strategic session that transforms the often-mysterious publication process into a clear roadmap to amplify your scientific impact.

대학원생 때 알았으면 좋았을 것들
Room 2층 212/13, 10월 30일

[대학원생 1-1 | 14:00] 초청강연
철강에서 배터리로: 이준엽*(LG에너지솔루션)
Keywords: 대학원생, 회사생활
본 발표는 석사 졸업생이자 입사 2년차 사원으로서, 저의 대학원 생활을 돌아보고 현재의 회사 생활과 앞으로의 미래에 대해 이야기를 나누고자 합니다. 철강재료를 전공한 후 배터리 회사에 입사하여 용접 업무를 수행하면서, 전공과 다른 직무를 맡게 되며 느낀 어려움과 깨달음을 공유하고자 합니다. 이러한 경험들을 통해, 대학원에서 배웠던 것들을 회사 생활에 어떻게 적용을 할 수 있는지를 이야기하려 합니다. 또한, 제가 느낀 대학원과 회사 생활의 차이점에서 오는 고민을 통해 앞으로의 커리어 방향성에 대한 생각도 나누고자 합니다. 이러한 이야기들을 통해, 잠시 연구에서 벗어나 다른 시각과 영감을 얻으실 수 있기를 기대합니다. 감사합니다.

[대학원생 1-2 | 14:25] 초청강연
포기하지 않는 사람에게 기회는 온다: 이준민*(포항공과대학교)
Keywords: 연구자로서의 길, 박사과정, 포스닥 과정, 학계 진출
금속·재료 분야에서 대학원 과정을 밟고 있는 많은 학생들은 연구와 진로, 미래에 대한 고민을 동시에 안고 살아갑니다. 특히 박사과정 이후의 경로가 불확실하게 느껴질 때, '나는 과연 이 길을 잘 가고 있는가'라는 질문은 반복되기 마련입니다. 본 강연에서는 연구자로서의 길을 걸어오며 경험한 박사과정의 도전과 성장, 그리고 해외 포스닥 과정에서의 시행착오와 성취, 그리고 그 과정에서 얻은 현실적인 인사이트를 바탕으로 후배 연구자들에게 조언을 전하고자 합니다. 단기적인 성과에 연연하기보다 장기적인 관점에서 연구역량을 축적하고, 학문적 열정과 인간적인 꾸준함으로 기회를 만들어가는 과정 속에서 얻은 교훈을 공유합니다. 또한, 실패와 좌절의 순간마다 포기하지 않고 한 걸음씩 나아간 경험이 어떻게 국제 공동연구, 학계 진출 등 더 넓은 세상으로 이어졌는지도 소개할 예정입니다. 이 강연은 진로에 대한 불안 속에서도 연구자로서 자신의 길을 능동적으로 열어가고자 하는 대학원생들에게, 현실적이면서도 용기를 주는 시간이 되기를 기대합니다. "포기하지 않는 사람에게 기회는 온다"는 메시지가 각자의 위치에서 새로운 출발점이 되기를 바랍니다.

[대학원생 1-3 | 14:50] 초청강연
보통 사람이 걸어가는 연구자의 길: 김수민*(한국재료연구원)
Keywords: 연구자
연구자의 길은 각자의 선택과 환경에 따라 무한히 변화하는 여정입니다. 이 발표에서는 한 '보통사람'이 걸어온 박사 학위 취득 이후 대기업에서의 산업 현장 경험과 그 이후 정부출연연구소로의 이직 과정과 경험을 공유하고자 합니다. 대기업에서의 빠른 의사결정 구조와 실용 중심의 연구 문화, 그리고 정부출연연구소에서의 장기적, 기초적 연구 환경의 차이를 비교하며, 각 환경에서 얻은 배움과 성장의 계기를 함께 이야기하고자 합니다. 또한 경력 전환의 동기, 준비 과정, 그리고 이 과정에서 마주한 도전과 기회에 대해 솔직히 이야기함으로써, 향후 진로를 고민하는 대학원생들에게 실질적인 참고와 동기부여를 제공하고자 합니다.

[대학원생 1-4 | 15:15] 초청강연
다양한 경험으로 슬기로운 회사생활: 송덕용*(한화에어로스페이스(주))
Keywords: 철강, 항공, 연구개발
오늘날 빠르게 변화하는 산업 환경 속에서 개인의 전문성은 한 분야에 머무르면서 경험을 축적하기에는 한계가 있다. 본 발표자는 금속재료공학을 전공으로 철강산업, 소재부품산업, 항공방산산업 등 다양한 분야에서 연구개발, 프로젝트 기획 및 관리 등 여러 직무를 수행하면서 각각의 단계에서 획득한 역량을 바탕으로 장기적인 경력 성장과 전문성을 확장해 나가고 있으며, 연구자로서 급속한 산업 환경 및 연구개발 트랜드 변화에 적극적으로 대응하는 과정에서 여러 차례 이직을 통해 축적한 전문성과 지속적인 자기계발 과정을 소개하고자 한다. '이직'은 누군가에게는 심리적 혼란과 불안함에 망설여지겠지만, 또 다른 누군가에게는 도전과 새로운 기회를 열어주는 중요한 선택의 길이 될 수도 있다. 새로운 도전과 변화에 적응하기 위한 전략적 사고와 태도, 경력 전환 과정에서 고려해야 할 요소, 끊임없는 학습과 자기계발의 중요성을 강조하며, 본인의 경험을 바탕으로 대학(원)생 및 초기 경력 연구자들에게 실제 연구 현장에서 커리어 설계와 자기계발 방향을 모색할 수 있는 실질적인 제언을 통해 다양한 경험으로 전문 분야를 확장·심화시킬 수 있는 계기가 되었으면 한다.

[대학원생 1-5 | 15:40] 초청강연
재료공학 연구 결과를 기술이전, 국제표준, 그리고 창업으로: 김병준*(한국공학대학교)
Keywords: 창업, 국제표준, 기술이전
본인은 전자재료 신뢰성 연구 전문가로서 석박사과정, 박사후과정, 국가연구소, 교수로 이어지는 연구경력 동안 유연 전자 재료 신뢰성에 대한 연구를 집중적으로 진행하였다. 굽히고 펴는 동작을 반복하는 폴더블 스마트폰의 금속 배선 신뢰성을 주제로 피로수명의 미세구조 의존성, 굽힘 동작 조건에 따른 수명 변화 등을 연구하였다. 신뢰성 연구 결과를 바탕으로 유연 전자소자에서 발생하는

피로 파괴 메커니즘을 규명하였으며 이러한 피로 파괴 문제를 해결하기 위한 나노금속 소재를 개발하였다. 장기 신뢰성을 검증하기 위해 50만번 이상 동작하는 굽힘 피로 시험기를 개발하였으며, 안정적인 실험 평가법을 개발하였다. 이 과정 중에 평가장치를 계속해서 업그레이드하며 개발하였으며 실험법을 IEC 국제 표준으로 개발하였다. 그리고 최근에는 신소재 평가 장치 전문 회사를 창업하여 기술 실용화에 노력하고 있다. 본 발표에서는 재료공학 연구결과로부터 발생한 논문, 특허, 국제표준, 기술이전, 창업 등의 주제를 소개함으로써 재료공학을 전공하는 연구자들이 연구결과로부터 다양한 실용화 결과를 얻을 수 있도록 도움을 주고자 한다.

재료정책세션
Room 2층 214, 10월 30일

[정책1-1 | 10:00] 초청강연

AI 대전환의 시대! 나노소재산업이 가야 할 길: 조진우(한국전자기술연구원)

Keywords: Nano materials, Solution for the commercialization of nanotechnology

최근 국가 간 기술패권 경쟁이 심화되면서 첨단산업 분야에서의 기술 우위 확보가 국가 미래 경쟁력을 결정할 핵심 요소로 급부상하고 있는 가운데, 나노소재는 성능 한계를 뛰어넘어 기술적 난제를 해결할 핵심 도구로 주목받고 있습니다. 양자점을 활용한 QLED TV, 탄소나노튜브를 적용한 고용량 이차전지, 금나노입자를 적용한 실시간 코로나19 진단키트 등 첨단 산업분야에서 이미 기술 초격차를 달성한 다 수의 상용화 성공 사례가 창출되면서 산업계 관심이 고조되고 있으며, 향후 AI, 반도체·디스플레이, 에너지, 우주·국방, 모빌리티, 로봇, 바이오, 양자 등 다양한 응용산업분야로 적용 사례가 더욱 확대될 것으로 기대됩니다. 하지만, 나노소재는 초미세 입자크기에서 나타나는 높은 반응성과 불안정성으로 인해 기존 소재보다 대량생산이 어렵고, 수요산업의 요구 수준에 비해 여전히 높은 가격과 품질관리 미흡, 신뢰성 부족 등으로 인해 사용을 꺼리고 있으며 산업현장에 적용되기까지 상당 시간이 소요되고 있습니다. 특히 고성능을 발현하는 초물성 고품질 나노소재의 경우 해외 선진사에서 전량 수입에 의존하고 있어 나노소재 공급망 내재화 또한 시급히 해결해야 할 과제입니다. 오늘 이 시간을 통해 산업 대전환 시대로 급진전되고 있는 새로운 국제정세 변화속에서 우리는 과연 국가전략산업 초격차를 달성할 준비가 되어 있는지? 그 근간이 될 나노소재·부품산업 경쟁력을 확보하기 위한 지원 전략은 무엇인지를 심도 깊이 고민하고 해결 방안을 찾기 위해 학계, 산업계, 정부가 해야 할 일에 대해 대한금속재료학회 소속 전문가 여러분들의 소중한 고견을 듣고 컨센서스를 모으고자 합니다.

[정책2-1 | 10:40] 초청강연

제8차 산업기술혁신계획(2024~2028)의 비전과 전략: 이헌구(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

글로벌 기술패권 경쟁이 심화되고 공급망 블록화가 가속화되는 등 급변하는 산업 환경 속에서, 대한민국 주력 산업의 초격차 경쟁력 확보와 미래 신산업 창출을 위한 정부 R&D의 전략적 역할이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 이에 산업부의 과감하고 혁신적인 R&D 투자와 이를 통해 한국을 '글로벌 산업 강국' 도약하기 위한 정책들을 본 세션에서 설명한다. 2026년 산업부는 전년 대비 대폭 증액된 R&D 예산을 바탕으로, 특히 우리 산업의 미래 먹거리가 될 '초격차 프로젝트'에 신규 투자의 70%를 집중하는 등 선택과 집중에 기반한 전략적 투자를 강화할 계획이다. 본 특별세션에서는 이러한 정부의 강력한 정책 의지를 바탕으로, 향후 5년간의 대한민국 산업기술 혁신의 청사진과 2026년도 R&D 투자 방향을 상세히 공유하고, 금속재료 분야의 새로운 기회와 도전 과제를 심도 있게 논의하고자 한다. □ 주요 발제 내용 제8차 산업기술혁신계획(2024~2028)의 비전과 전략 (이헌구 수석전문위원) 향후 5년간 대한민국 산업기술 R&D의 나침반이 될 '제8차 산업기술혁신계획'의 핵심 내용을 소개한다. 이를 달성하기 위한 전략과제와 함께, 도전적·임무중심 R&D 시스템으로의 전환, 민간 주도 혁신 생태계 활성화, 글로벌 협력 강화 등 구체적인 정책 방향을 설명할 예정이다함으로써 대한민국 산업기술 혁신의 큰 그림을 제시할 것이다.

[정책2-2 | 11:00] 초청강연

2026년 산업통상자원부 R&D 투자 방향: 이지욱(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

글로벌 기술패권 경쟁이 심화되고 공급망 블록화가 가속화되는 등 급변하는 산업 환경 속에서, 대한민국 주력 산업의 초격차 경쟁력 확보와 미래 신산업 창출을 위한 정부 R&D의 전략적 역할이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 이에 산업부의 과감하고 혁신적인 R&D 투자와 이를 통해 한국을 '글로벌 산업 강국' 도약하기 위한 정책들을 본 세션에서 설명한다. 2026년 산업부는 전년 대비 대폭 증액된 R&D 예산을 바탕으로, 특히 우리 산업의 미래 먹거리가 될 '초격차 프로젝트'에 신규 투자의 70%를 집중하는 등 선택과 집중에 기반한 전략적 투자를 강화할 계획이다. 본 특별세션에서는 이러한 정부의 강력한 정책 의지를 바탕으로, 향후 5년간의 대한민국 산업기술 혁신의 청사진과 2026년도 R&D 투자 방향을 상세히 공유하고, 금속재료 분야의 새로운 기회와 도전 과제를 심도 있게 논의하고자 한다. □ 주요 발제 내용 2026년 산업통상자원부 R&D 투자 방향 제8차 산업기술혁신계획의 실행력을 담보하는 '2026년도 산업부 R&D 투자 방향'에 대해 상세히 설명한다. 한정된 재원의 효율성을 극대화하기 위해, 국가첨단전략기술 분야와 주력산업의 초격차 기술 확보에 투자를 집중할 계획이다. 특히, 민간의 투자가 어려운 차세대 원천기술 및 산업 공통 기반기술에 대한 정부 투자를 확대하고, R&D 성과가 혁신제품 구매 및 시장 창출로 이어지는 전주기 지원체계 강화 방안을 구체적으로 제시하여, 정부 R&D 투자의 파급효과를 제고하기 위한 전략을 공유할 것이다.

[정책2-3 | 11:20] 초청강연

초격차 프로젝트 추진 현황과 산업기술 혁신정책: 김무진(산업통상자원R&D전략기획단(OSP))

글로벌 기술패권 경쟁이 심화되고 공급망 블록화가 가속화되는 등 급변하는 산업 환경 속에서, 대한민국 주력 산업의 초격차 경쟁력 확보와 미래 신산업 창출을 위한 정부 R&D의 전략적 역할이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 이에 산업부의 과감하고 혁신적인 R&D 투자와 이를 통해 한국을 '글로벌 산업 강국' 도약하기 위한 정책들을 본 세션에서 설명한다. 2026년 산업부는 전년 대비 대폭 증액된 R&D 예산을 바탕으로, 특히 우리 산업의 미래 먹거리가 될 '초격차 프로젝트'에 신규 투자의 70%를 집중하는 등 선택과 집중에 기반한 전략적 투자를 강화할 계획이다. 본 특별세션에서는 이러한 정부의 강력한 정책 의지를 바탕으로, 향후 5년간의

대한민국 산업기술 혁신의 청사진과 2026년도 R&D 투자 방향을 상세히 공유하고, 금속재료 분야의 새로운 기회와 도전 과제를 심도 있게 논의하고자 한다. □ 주요 발제 내용 초격차 프로젝트 추진 현황과 산업기술 혁신정책 반도체, 디스플레이, 이차전지, 미래모빌리티, 핵심소재 등 11대 핵심 분야에서 도출된 45개 프로젝트의 구체적인 목표와 기술개발 로드맵을 소개하고, 이와 함께, 대규모 예타사업과의 연계, 부처 협업 R&D 확대, 글로벌 최고 수준의 연구기관과의 공동연구 활성화 등 초격차 프로젝트의 성공적 추진을 위한 범부처 지원 전략과 산업부의 전반적인 산업기술 혁신정책 방향을 설명할 것이다. 이를 통해 대한민국이 명실상부한 기술강국으로 도약하기 위한 구체적인 실행 계획을 확인할 수 있을 것이다.

[정책2-4 | 11:40] 초청강연

금속재료 분야 R&D 전략 및 사업 기획 방향: 이광석(한국산업기술기획평가원(KEIT))

글로벌 기술패권 경쟁이 심화되고 공급망 블록화가 가속화되는 등 급변하는 산업 환경 속에서, 대한민국 주력 산업의 초격차 경쟁력 확보와 미래 신산업 창출을 위한 정부 R&D의 전략적 역할이 그 어느 때보다 중요해지고 있다. 이에 산업부의 과감하고 혁신적인 R&D 투자와 이를 통해 한국을 '글로벌 산업 강국' 도약하기 위한 정책들을 본 세션에서 설명한다. 2026년 산업부는 전년 대비 대폭 증액된 R&D 예산을 바탕으로, 특히 우리 산업의 미래 먹거리가 될 '초격차 프로젝트'에 신규 투자의 70%를 집중하는 등 선택과 집중에 기반한 전략적 투자를 강화할 계획이다. 본 특별세션에서는 이러한 정부의 강력한 정책 의지를 바탕으로, 향후 5년간의 대한민국 산업기술 혁신의 청사진과 2026년도 R&D 투자 방향을 상세히 공유하고, 금속재료 분야의 새로운 기회와 도전 과제를 심도 있게 논의하고자 한다. 금속재료 분야 R&D 전략 및 사업 기획 방향 본 학회의 핵심 분야인 금속재료 분야의 차년도 R&D 기획 방향에 대해 집중적으로 다룰 것이고, 초격차 프로젝트와 연계한 전략적 중요성이 높은 분야에 대한 신규 과제 기획 방향을 제시할 것이다. 또한, 산·학·연 전문가들의 창의적이고 혁신적인 아이디어가 정부 R&D 과제로 원활히 연결될 수 있도록, 수요조사부터 과제 공고까지의 R&D 기획 프로세스 개선 방안을 상세히 안내할 예정이다.

[정책3-1 | 14:00]

국가전략핵심소재 연구과제 발표

[정책3-2 | 14:20] 초청강연

항공용 고비강도 Al-Zn-Mg-Cu 알루미늄 합금 판재 제조기술: 김형욱, 조용희, 김원경, 이윤수(한국재료연구원)

Keywords: Aluminum alloys, Al-Zn-Mg-Cu, sheet, strength, fatigue

알루미늄합금은 비강도가 우수하여 우주, 항공, 자동차 및 선박등 모빌리티의 핵심소재로 사용되고 있다. 특히 항공기의 경우 우수한 경량성 및 내구성이 요구되는 바 고강도 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄합금을 중심으로 기체구조체의 대부분에 활용되어 왔으며 다양한 엔진 구조용 부품으로도 활용되고 있다. 최근에는 전기차, UAM등 미래 모빌리티의 핵심소재로서 그 응용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 항공기에 사용되는 고비강도 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금 판재를 제조하기 위하여 강도 및 피로 특성이 우수한 새로운 합금설계 방안 및 미세조직 제어 방안에 대하여 연구하였다. 또한 개발된 소재가 산업적인 응용이 가능하도록 대형슬라브의 제작, 열처리 및 압연공정 개발, 조직제어를 통한 파괴인성 및 피로특성 향상 방법을 연구하였다. 기업과 연계하여 제조한 알루미늄 합금 판재는 인장강도 600MPa이상 피로강도 225MPa이상의 우수한 강도 및 내구특성을 나타내었다. 본 연구를 수행하면서 대형 슬라브 제조시 미세조직의 미세화를 위한 전자기적 처리방법, 열간압연성 개선을 위한 2단 시효처리방법, 고비강도 소재의 열간압연 방안, 가공 열처리를 통한 내구성 향상에 대한 기술이 확보되었으며 아직 국내에 확보되지 못한 항공용 알루미늄 합금 판재의 국산화 기술로 활용될 예정이다. 기업과 연계하여 제작한 고강도 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금 판재의 경우 현재 항공용 고비강도 알루미늄 합금으로 많이 사용되는 7075합금보다 우수한 항복강도 및 피로강도를 나타내므로 국내에 수입되고 있는 판재를 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

[정책3-3 | 14:35] 초청강연

차세대 극한 스케일링 반도체 배선 소재 기술개발: 손성현, 백대윤, 백승현, 김형준(한국과학기술연구원 차세대반도체연구소)

Keywords: 배선, 초저비저항, 위상금속, 전자산란, 크기효과

반도체 소자의 스케일링이 3 nm 공정 시대에 진입함에 따라 BEOL 배선 공정에서 기존 소재인 구리 (Cu)의 신뢰성 저하 문제가 제기되고 있음. 지난 20여 년간 낮은 bulk 비저항을 보이는 Cu가 활용되고 있지만, 배선의 최소 선폭이 bulk Cu의 전자평균자유이동거리(eMFP)인 39.9 nm 수준 이하로 줄어듦에 따라 Cu 배선 소재의 비저항이 급격히 증가하여 RC delay 등 신호전달의 지연 문제가 발생함. 동시에 미세 선폭에서 배선의 단면적 감소에 따라 고전류밀도에 의한 electromigration(EM)과 stress-migration(SM) 등이 야기하는 기계적 결함 발생으로 신뢰성 저하도 심각한 상황임. 따라서 확산방지막, 접착개선층, 배선금속, 표면보호막으로 구성된 다층 배선구조에서 벗어나 확산방지막이 필요없는 단결정 다성분계 금속간화합물 및 위상금속 기반의 초저비저항의 신규 배선 소재 개발을 통해 극한 스케일링에 대응하는 새로운 반도체 배선 구조를 제시하고자 함

[정책3-4 | 14:50] 초청강연

3차원 나노구조 인자를 활용한 재료 신물성 탐색: 전석우(고려대학교)

Keywords: PnP, 3D nanofabrication, 3D nanopattering, metamaterial

This talk will summarize the results achieved from the Mirae Sojae discovery project (finished in 2025) and Mirae kisuk yeongusil

(on going until 2027) for 재료정책session at 2025 Fall meeting of 대한금속재료학회. The mass production of precise three-dimensional (3D) nanostructures has long been an ultimate goal for fabrication technology. While interference lithography and proximity-field nanopatterning (PnP) provides partial solutions, their complexity of setup and limited range of realizable structures, respectively, remain as main problems. Here, we overcome these challenges by implementing an inverse design to the PnP process, as shown in Figure 1. Our inverse design platform based on the adjoint method can efficiently find optimal phase masks for diverse target lattices and motifs. 2D inverse design as a proof-of-concept study and further calculation of 3D inverse design will be discussed. Combined with material conversion techniques such as ALD and electroplating, New materials properties realized from the structural factor of materials includes mechanical, optical, electrochemical, thermoelectrical applications and more.

[정책3-5 | 15:10]
과기정통부 연구현장 포럼

[정책4-1 | 16:00] 초청강연

실패의 경험으로부터 배우는 기능성 소재의 상용화 전략: 송용설(아모그린텍)

지난 30여 년 동안 다양한 기능성 소재를 개발하고 상용화하기 위하여 노력해 왔다. 본 발표를 통하여 그동안의 실패와 성공의 경험으로부터 배운 기능성 소재의 상용화 전략에 대하여 나누고자 한다. 아모그린텍은 미래산업사회가 요구하는 제품에서 소재의 역할이 매우 중요하게 될 것이라는 믿음으로 2004년 설립된 이후, 정보통신, 자동차, 환경·에너지, 바이오산업이 필요로 하는 새로운 소재 및 부품을 개발 생산하고 있다. 특별히 비정질/나노결정립합금을 이용한 고효율 자성부품, 나노섬유 멤브레인을 이용한 방수용 벤트 및 무선충전용 차폐시트, 고주파화에 대응하는 방열/차폐 시트 등을 개발하여 4차산업혁명 시대를 이끄는 전기차, 휴대전화, 5G 통신, 환경·에너지 등의 산업에서 필요한 핵심 소재 및 부품을 공급하고 있는 글로벌 소재·부품 전문 회사이다. 기업은 지속가능성을 확보하기 위하여 우수한 인적 자원을 확보하고, 지속적인 투자를 통하여 새로운 부가가치 제품을 개발함으로 매출 및 수익을 창출하는 과정을 계속하여 추진한다. 일반적으로 기업이 매출 및 수익 창출을 위해 새로운 제품을 개발하고자 할 때, 기업은 개발 역량, 품질 수준, 생산 능력과 같은 내부 요인과 시장 및 고객의 범위 및 규모, 경쟁사와의 비교 경쟁력과 같은 외부 요인을 분석하여 상용화 전략을 수립하게 된다. 그러나 새로운 소재 또는 부품을 개발하는 경우, 특별히 연구자가 중심이 되어 개발하는 경우에는 개발하고자 하는 소재 또는 부품의 특성적 우수성 및 특성에 따른 시장 적용 가능성 등에 중점을 두고 개발하게 된다. 이러한 경우, 개발이 이루어져도 산업 및 시장에 대한 이해가 부족하여, 개발된 제품의 가치를 인정받을 수 있는 응용 분야의 발굴 및 개척 보다 우선 기존 시장에서 판로를 찾고자 하는 노력을 하게 된다. 그러나 기존 시장은 가격 경쟁력이 지배하는 시장으로 고객은 개발된 제품을 '꼭 필요한(must have)'제품이 아닌 '있으면 좋은(nice to have)'제품으로 여기게 되고 실제적인 매출로 이어져 수익을 창출하는 데 많은 어려움을 겪게 된다. 실패의 경험을 통하여, 개발한 제품이 고객으로부터 '꼭 필요한'제품으로 가치를 인정받을 수 있는 응용 분야를 찾아야 한다는 것을 깨달았다. 그 이후로 고객의 니즈에 집중하고 적합한 응용 분야를 찾기 위해 노력한 결과, 여러 응용 분야에서 동일한 소재가 새롭고 가치 있는 소재로 탈바꿈하게 되는 것을 경험할 수 있었다. 결론적으로 당사가 경험한 기술 사업화의 실패와 성공 경험을 바탕으로, 기업의 지속가능성을 위해 필요한 기술 사업화 전략 및 이를 위한 혁신의 방향 및 인적 자원의 조건에 대해 살펴보고자 한다.

인공지능재료과학
Room 3층 301, 10월 30일

[인공1-1 | 09:00]
LLM기반 소재 문헌 데이터베이스 구축을 통한 양방향 설계 방법론: 천재은(국민대학교.), 어광준, 조용희(한국재료연구원), 조기섭*(국민대학교.)
Keywords: 거대언어모델, 데이터베이스, 데이터 전처리, 기계학습, 역설계

최근 거대언어모델(LLM)을 활용한 학술 논문 데이터 자동 추출 기술이 소재 개발 분야에서 주목받고 있다. 본 연구에서는 LLM을 이용해 알루미늄 소재 관련 논문에서 조성–공정–구조–물성 데이터를 자동 추출하고, 이를 양방향 소재 설계에 활용하고자 하였다. 이를 위해 알루미늄 합금 공정의 다양성을 수용하는 유연한 데이터 템플릿을 설계하고, 키워드 기반 문헌 수집 후 연구 적합성과 목표 물성 포함 여부로 유효 문헌을 선별하였다. 이후 선별된 문헌에서 조성–공정–구조–물성 상관관계를 분석하여 레시피를 추출하였으며, 이때 추출된 데이터의 용어 및 단위 불일치, 결측값 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 피처 엔지니어링을 수행하였다. 최종 정제된 데이터셋을 활용하여 양방향 소재 설계 모델을 구축하고, 이를 통해 고성능 알루미늄 합금 후보군을 성공적으로 도출하였다.

[인공1-2 | 09:15]
PINN을 활용한 β-타이타늄계 초탄성 거동 분석: 유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), Shuanglei Li(경상국립대학교), 임진환, 남태현(Huaqiao University), 이태경*(부산대학교)
Keywords: physics-informed neural network, pseudoelasticity, phase transformation, titanium

초탄성 거동에 대한 정밀한 해석은 의료 및 항공 분야에서 활용되는 β-타이타늄 합금의 설계와 응용에 있어 핵심적인 요소이다. 특히 Ti-Nb계 합금은 오스테나이트-마르텐사이트 간 가역 변태에 기반한 초탄성 특성을 나타내며, 이때 변태 온도, 마르텐사이트 분율, 격자상수 등은 조성과 열처리 조건에 따라 크게 달라진다. 하지만 외부 하중 하에서의 마르텐사이트 분율은 실시간 정량화가 어렵다는 점에서 해석적 접근이 요구된다. 기존의 모델에는 재료의 복잡한 상변태 거동을 충분히 반영하지 못하거나, 실험적 보정에 과도하게 의존하는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 Helmholtz 자유에너지를 기반으로 마르텐사이트 분율의 증분을 예측하고, 반복하중에 따른 소성 변형 효과를 반영한 DeepONet 기반 AI 모델을 제안하였다. 도출된 미분방정식 해를 통해 마르텐사이트 거동을 정량화하였으며, 합금 조성과 집합조직에 따른 격자상수 변화, 다양한 초기 분율 및 경계 조건을 포함한 사례 연구(case study)를 통해 모델의 타당성을 실험적으로 검증하였다. 제안된 모델은 기존 해석 방법 대비 예측 정확도와 일반화 측면에서 우수한 성능을 보였으며, 향후 초탄성 재료 설계의 효율적인 도구로 활용될 것이 기대된다.

[인공1-3 | 09:30]
내화 고엔트로피합금의 탄성물성 예측을 위한 기계학습 모델과 불확실성 평가: 오창석, 장효선, 박지원*(한국재료연구원)
Keywords: 내화 고엔트로피 합금, 제1원리 계산, 탄성물성, 기계학습, 불확실성 평가

내화 고엔트로피 합금(RHEAs)은 우수한 기계적 특성과 열적 안정성으로 인해 고온 부품 적용을 위한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 방대한 조성 공간에서 제한적인 실험 데이터는 정확한 모델링과 설계에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 하나의 시도로서 불확실성 정량화를 포함한 머신러닝 프레임워크를 개발하여, 3–5원계 RHEAs의 탄성 특성을 예측하였다. 이를 위해 3,788개의 합금에 대하여 제1원리 기반 EMTO-CPA 계산을 통해 구축한 데이터셋을 사용하였으며, 데이터 불균형 문제를 해결하고 모델 신뢰성을 향상시키기 위해 XGBoost 회귀 모델에 밀도 가중 부트스트랩 샘플링 전략을 적용하여 단결정 및 다결정 탄성 특성 모두에서 높은 예측 정확도를 얻을 수 있었다. 1,000회 반복한 부트스트랩 집계를 통해 예측에 대한 95% 신뢰 구간을 신뢰성 있게 추정할 수 있었다. 불확실성 정량화와 함께 수행한 SHAP 분석 결과, 원자가 전자 농도(VEC), 전기음성도, 그리고 융점이 탄성 특성에 영향을 미치는 핵심 인자임을 확인하였다. 특히 VEC는 C11 및 Pugh 비와 강한 상관관계를 보였으며, Zr은 탄성계수에 영향을 미치는 중요한 조성 인자로 나타났다.

[인공1-4 | 09:45]
Intelligent Prompt Engineering for Literature Retrieval in Ni-Based Superalloys: Sejin Park, Yeji Won(Kookmin University), Youngbeum Song, Daewoong Kim(Agency for Defense Development), Kisub Cho*(Kookmin University)
Keywords: Ni-based superalloys, Natural Language Processing (NLP), Large Language Model (LLM)

Nickel-based superalloys are widely used in turbine disks and jet engines due to their excellent high-temperature strength, creep resistance, and oxidation resistance. Their properties depend on the interplay of composition, processing, and environmental factors, making quantitative optimization a central challenge. However, conventional trial-and-error approaches to experimentation are heavily constrained by the significant time and cost of repeated tests, and the amount of experimental data that can realistically be obtained remains limited. In contrast, literature data can greatly expand both the diversity and scope of accessible information, but it predominantly exists in unstructured forms, making direct analysis and practical utilization challenging. In this study, we present a Large Language Model (LLM)–based framework that automatically extracts Composition–Processing–Structure–Property (C–P–S–P) relationships from scientific literature and integrates them into a structured database. The framework analyzes PDF layouts, converts them into text, and employs multimodal LLMs to jointly process textual and figure data. Specifically, we introduce ALPO (Active

Learning for Prompt Optimization), a closed-loop active-learning method that selects prompts based on model uncertainty and a task-defined acquisition function, thereby enabling human-out-of-the-loop validation and optimization of preprocessing. Data from various forms of Ni-based superalloys—including single-crystal, cast, powder metallurgy, and additive metallurgy alloys—were subsequently extracted and consolidated into a standardized schema. Finally, ensemble cross-validation with multiple open-source LLMs was performed to quantitatively assess the reliability and applicability of the proposed methodology.

[인공2-1 | 10:00]

고차원 입력 공간에서의 GPR 기반 능동학습 한계 극복을 위한 매니폴드 제약 준지도 표현학습 프레임워크: 최준혁, 조기섭*(국민대학교)

Keywords: Active learning, Gaussian process regression, Representation learning, Manifold loss

Gaussian Process Regression(GPR)을 활용한 능동학습은 최소한의 데이터로도 효율적인 탐색이 가능하여 소재 설계 및 공정 최적화 등 소재 분야에서 널리 적용되고 있다. 최근 고성능 소재의 다목적 최적화에 대한 요구가 증가함에 따라 합금 조성이나 열처리 조건 등 동시에 고려해야 하는 입력 변수의 차원이 증가하고 있다. 그러나 입력 변수가 고차원일 경우 데이터 희소성이 심화되면서 탐색 성능이 저하되는 경향이 나타난다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 오토인코더 기반 표현학습(representation learning)과 매니폴드 손실(manifold loss)을 결합한 준지도(semi-supervised) 표현학습 프레임워크를 제안한다. 제안된 방법은 고차원 입력을 저차원 잠재공간으로 압축하고, 매니폴드 손실을 통해 국소 구조를 보존함으로써 잠재공간의 구조적 일관성을 유지한다. 또한 의사라벨링(pseudo-labeling) 기법을 통해 제한된 라벨 데이터를 보다 효과적으로 활용한다. 이를 통해 구축된 잠재공간을 활용한 GPR 기반 능동학습은 기존 비지도 오토인코더 기반 차원 축소 기법을 적용한 GPR보다 안정적이고 신뢰성 있는 탐색 성능을 확보하였다.

[인공2-2 | 10:15]

Generation of microstructures in high-elasticity aluminum casting alloys using a diffusion-based GAN architecture: Junyong Choi, Young-Hee Cho, Jaimyun Jung, Sehyeok Oh*, Ho Won Lee*(한국재료연구원)

Keywords: Aluminum alloys, Deep learning, Generative model, Microstructures, Morphology

Recently, various deep learning models have been used to generate metallic microstructures from inputs of chemical composition and processing parameter. Early convolutional methods were light but showed relatively low accuracy, whereas generative adversarial network (GAN)-based approaches achieved higher accuracy but suffered from training instability. Diffusion models developed thereafter exhibited good accuracy and stability, but they require high computational cost for both training and generation. To address these issues, in this study, a microstructure generation model is proposed that applies a noise injection from the diffusion model and a timestep-dependent discriminator within a GAN, thereby improving training stability while lowering the computational cost. Data consisting of Al-Si-Ni alloy with four different cooling rates and corresponding 7056 optical microscopic (OM) images were prepared for the training. The model reinforced data augmentation effects by learning to distinguish the diffused OM images and the diffused generated microstructures, and a higher level of training stability could be achieved with satisfactory generation results. The trained model generated realistic morphologies of Si single phase and Ni/Cu-based intermetallic compounds for a test dataset, and the Fréchet Inception Distance (FID), used to assess microstructure similarity, was measured to be near 50. In addition, quantitative morphology analysis confirmed that composition-dependent phase fractions and cooling-rate-dependent grain refinements were well predicted.

[인공2-3 | 10:30]

Natural Language Processing Based Automated Extraction of Ionic Conductivity Data for Proton-Conducting Ceramic Electrolysis Cells: Shin Gaheun, Lee Seongho, Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

Keywords: Proton-Conducting Ceramic Electrolysis Cells (PCECs), Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), ChatGPT, Unit

Efficient extraction of numerical data from scientific literature is critical for accelerating data-driven research and developing material databases. However, due to the complexity of specialized scientific texts, it remains a challenging task. In this study, we employ a Natural Language Processing (NLP) model to extract ionic conductivity information from literature on Proton-Conducting Ceramic Electrolysis Cells (PCECs). To enhance extraction efficiency, we focus on sentences containing conductivity units. Given the limited size of the initial dataset for model training, we perform data augmentation using ChatGPT to generate an additional 1,000 sentences. A Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) model is then trained on the augmented dataset and evaluated using original sentences extracted from scientific literature, achieving a test accuracy and F1-score of over 90% within just ten epochs. These results demonstrate the effectiveness of our approach in capturing conductivity-related information. The extracted data are systematically organized and analyzed, providing valuable insights into the development of proton-conducting electrolyte materials. This study highlights the potential of NLP-based approaches for automating the extraction and analysis of crucial scientific data, laying a foundation for more efficient electrolyte design and the broader application of big data in materials science.

[인공2-4 | 10:45]

Large Language Model-assisted feature extraction for Machine Learning driven design of Ni-based superalloys: Min Hyungi(Seoul National University), Jung Heechan, Kang Dongsoo(Hanwha Aerospace), Park Eun Soo*(Seoul National University)

Keywords: Machine Learning, Large Language Model, Superalloy

The development of Ni-based superalloys under extreme conditions necessitates simultaneous control of multiple microstructural and performance attributes. Although machine learning offers accelerated exploration, its impact is limited by poorly defined or heuristic descriptors, leading to inefficient sampling and suboptimal discovery. To overcome this, we employ large language models to systematically construct Olson-Flow Block Diagrams, capturing critical causal relationships in PSPP From scientific literature, the LLM-derived OFBD extracts physically meaningful features—such as lattice misfit, γ′ volume fraction, solvus temperature, and creep resistance—and structurally encodes them into the design space. These features then serve as robust inputs for downstream ML models, enabling more targeted and interpretable alloy screening. Our results show that LLM-assisted OFBD facilitates clear feature establishment and enhances ML model efficiency, reducing compositional search space while improving performance prediction accuracy. We discuss implications for inverse design, high-temperature alloy development, and AI-augmented materials engineering.

[인공2-5 | 11:00]

A Design Methodology for High-Ductility Refractory High Entropy Alloys via Metaheuristics and Bayesian Optimization with EMTO-CPA Calculations: PARK KI SEONG, JANG HYO SUN, PARK JI WON(Korea Institute of Materials Science), LEE JIN WOONG, LEE BYUNG DO(Sejong University), SON SU JUNG, LEE SHI WOO(POSTECH), SOHN KEE SUN(Sejong University), KIM HYOUNG SEOP(POSTECH), OH CHANG SEOK*(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: HEA, Refractory Alloy, Ducility, Optimization, DFT

Refractory high-entropy alloys(RHEAs) have emerged as promising candidates for next-generation structural applications owing to their excellent thermal stability and superior strength. However, their intrinsic brittleness at room temperature remains a critical barrier to practical utilization. Traditional alloy development strategies, which rely heavily on empirical compositional trials and limited experimental or computational data, are insufficient to efficiently explore the vast compositional space of HEAs. In particular, the simultaneous optimization of high-temperature stability and mechanical properties requires enormous time and cost under the conventional trial-and-error paradigm. This challenge highlights the urgent need for a systematic, computation and optimization-driven framework that can efficiently navigate compositional landscapes and quantitatively predict key mechanical properties related to ductility. In this work, we present an integrated design strategy that combines metaheuristic optimization techniques with electronic structure calculations. Genetic algorithm(GA), particle swarm optimization(PSO), and Bayesian optimization (BO) were employed to explore the compositional space. GA and PSO contributed to global exploration by generating diverse alloy candidates, while BO enabled precise local exploitation based on a surrogate model(SM), thereby achieving a complementary search strategy. Elastic properties, including Pugh's ratio(B/G) and elastic moduli, were systematically calculated as functions of chemical composition using the Exact Muffin-Tin Orbital method within the Coherent Potential Approximation (EMTO-CPA). Through this combined approach, three top-ranked high-ductility candidate alloys and one low-ductility alloy were identified. The selected alloys were fabricated by vacuum arc melting (VAM), and their compositions and room-temperature ductility were evaluated through compression testing to validate the computational predictions. The results revealed that the ductility of the alloys predicted through EMTO-CPA calculations and optimization techniques was in good agreement with the trends observed in actual compression experiments. This confirms that the predictions of the EMTO-CPA and optimization-based design approach are consistent with experimental outcomes. Moreover, a qualitative correlation between Pugh's ratio and the experimentally observed ductility was established, demonstrating that elastic property calculations can serve as reliable descriptors in alloy design. Overall, this study demonstrates a practical and accelerated pathway for the discovery of ductile RHEAs by integrating advanced optimization algorithms with EMTO-CPA. The proposed framework not only validates computational predictions with experimental evidence but also provides valuable guidelines for future alloy design targeting extreme-environment applications.

[인공3-1 | 11:15] 초청강연

Full-Cycle AI-Driven Materials Research: From Data Generation to Discovery: Kang Joonhee*(Pusan National Univ.)

Keywords: Materials Informatics, Data Mining, Knowledge Graph, Machine Learning Potential, Inverse Design

The integration of artificial intelligence (AI) technologies across the entire materials research pipeline has emerged as a transformative approach to accelerate materials discovery. This presentation presents a comprehensive framework that leverages language model-based literature mining, data visualization, correlation analysis, knowledge graph construction, materials inverse design, and machine learning potentials to establish a complete AI-driven research workflow. Our methodology begins with automated extraction of materials data from scientific literature using large language models, enabling systematic compilation of previously scattered information. The extracted data undergoes visualization and correlation analysis to identify patterns within complex materials datasets. These insights are structured into knowledge graphs that capture connections between material properties, processing conditions, and performance characteristics.Building upon this foundation, we implement materials inverse design strategies that utilize

the constructed knowledge base to predict optimal material compositions and structures for specific target properties. The approach is further enhanced through machine learning potentials that provide accurate and computationally efficient predictions of material behavior across multiple scales. The proposed full-cycle AI framework demonstrates significant improvements in research efficiency and discovery rate compared to traditional approaches. Case studies show successful identification of novel compositions and enhanced understanding of structure-property relationships. The integration of multiple AI technologies creates synergistic effects, resulting in a robust platform for materials research. This presentation establishes a new paradigm for materials science research that seamlessly combines data mining, knowledge representation, predictive modeling, and inverse design within a unified AI-driven ecosystem. The methodology presented here offers a roadmap for implementing comprehensive AI solutions in materials research, potentially revolutionizing the pace and scope of materials discovery across diverse applications.

[인공3-2 | 11:40]

Unsupervised EDS embedding resolves collapse of metastable chemical ordering in high-entropy chalcogenides: 장한회(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min-Wook Oh(Hanbat National University), Yeon Sik Jung(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

Keywords:

High-entropy chalcogenides (HECs) have recently emerged as a novel class of high-performance energy-conversion materials, attracting considerable research interest. These materials are often presumed to exhibit a uniform distribution of constituent elements due to their high configurational entropy. However, substantial enthalpic penalties can drive spontaneous ordering of specific elements within the matrix, resulting in pronounced atomic-scale chemical inhomogeneity. In this study, we employed an unsupervised embedding approach to analyze hyperspectral EDS data in conjunction with HAADF-STEM imaging, enabling atomic-scale identification of ordering states in HECs. Furthermore, we investigated the spatiotemporal evolution of these ordering patterns, revealing their metastable nature and the potential for enhanced configurational entropy over time. Our findings provide direct evidence of atomic-scale inhomogeneity in HECs and underscore the need for further in-depth investigations into ordering phenomena in high-entropy systems.

[인공3-3 | 11:55]

Data-Driven Prediction of Secondary Battery Health Indicators Using Self-Attention Mechanism: Lee Seongho, Joonhee Kang*(부산대학교)

Keywords: Machine Learning, Secondary Battery, Self-attention, SOH(State of Health)

The rapid adoption of lithium-ion batteries in electric vehicles, energy storage systems, and mobile devices heightens the need to predict and manage degradation with precision. While physics-based and equivalent-circuit approaches have long supported State of Health (SOH) estimation, they face limitations in parameter tuning, applicability across use conditions, and computational cost. Data-driven methods offer a complementary path. This work proposes a data-driven SOH prediction model built on a Transformer with self-attention. Using open-source lifetime data, we evaluate prediction performance through multiple tests, taking multivariate time-series signals as inputs. We further examine transfer learning to assess whether models trained on one set of cells can adapt to batteries with different active materials with minimal additional training. Across experiments, we confirm that the prediction strategy should vary with data characteristics and degradation patterns, and we discuss how such tailoring affects practical performance. The study also offers perspectives for future battery prognostics grounded in observed data patterns. Overall, the results indicate that a self-attention-based, data-driven approach can enhance SOH prediction fidelity while remaining responsive to heterogeneous operating conditions. These insights can inform battery management systems by supporting more accurate and timely health estimation.

마그넷
Room 3층 301, 10월 30일

[마그넷1-1 | 14:00] 초청강연
고성능 영구자석용 신소재 개발 지침: 권해웅*(부경대학교)

Keywords: futuristic permanent magnet, magnetic compound, shape barrier, rare-earth, transition metal

영구자석 중 최고의 성능을 보이는 Nd-Fe-B계 영구자석이 개발된 지 거의 반세기가 지나가고 있다. 이렇게 오랜 기간 동안 새로운 재료가 개발되지 않고 있는 것은 약 1세기가 넘는 영구자석의 발전 과정을 돌아볼 때 다소 이례적이라 볼 수 있다. 그동안 전 세계적으로 신소재 개발 노력이 부족했던 탓은 아니다. 수많은 새로운 화합물들이 제안되었으나 아직 까지는 우리의 기대대로 기존 자석의 성능을 뛰어넘는 전대미문의 고유물성을 갖춘 화합물을 발견하는데는 이르지 못하고 있다. 고성능의 새로운 영구자석용 화합물을 발견이 결코 쉬운 일이 아니다. 지금까지 인류가 개발해 상용하고 있는 자석들은 연구자들의 지혜와 엄청난 시행착오의 결과물이었다. 신산업 분야의 확대와 더불어 그에 따른 새로운 고성능 자석의 필요성은 인류의 문명이 지속되는 한 영구히 이어질 것이다. 역사적으로 영구자석 소재 발전과정 전체를 두고 볼 때 성능향상에 있어서 큰 획을 그은 것은 다름 아닌 자석 응용에서 '형상의 제약' (SHAPE BARRIER)을 극복한 것이다. 영구자석은 응용에 있어서 그 형상에 따라서 성능이 크게 좌우되는 특이한 기능성 재료이다. 형상에 제약이 따르는 것은 그 소재의 고유물성 불충분에 기인한다. 자석 소재는 응용에 있어서 형상에 구애 받지 않을 정도의 충분한 고유물성을 갖추어야 한다는 것은 앞으로 새로운 물질을 찾아 가는 과정에도 변함없이 적용되는 대명제가 될 것이다. 이러한 원리 하에 영구자석의 주요 구성 물질들의 원자 자성과 같은 기본적인 지식에서부터 시작해서 영구자석 관련 제반 지식 들을 바탕으로 한 새로운 영구자석 신소재 개발 지침에 대하여 토론해 보고자 한다.

[마그넷1-2 | 14:25] 초청강연
Microstructural and Magnetic Optimization of $SmFe_{12}$-Based Bulk Magnets via Vanadium Substitution and Thermal Processing: Park Jihoon*(한국재료연구원)

Keywords: Magnet, Rare-earth lean, Microstructure

$SmFe_{12}$-based magnets with the $ThMn_{12}$-type structure have gained considerable attention as potential next-generation permanent magnet materials due to their intrinsically high magnetization and strong magnetocrystalline anisotropy, while offering a reduced dependence on critical rare-earth elements. However, their practical use in bulk form has long been hampered by the thermodynamic instability of the $ThMn_{12}$ phase and the resulting difficulty in achieving sufficient coercivity. In this study, we address these critical challenges by implementing a dual approach: targeted compositional modification through vanadium substitution and carefully designed thermo-mechanical processing. We systematically substituted Fe with varying amounts of V to stabilize the $ThMn_{12}$ phase and to tailor the resulting microstructure. This approach enabled the suppression of competing secondary phases such as Sm_3Fe_{29} and α-Fe, and facilitated the formation of well-defined Sm-rich grain boundary phases. These intergranular regions play a crucial role in enhancing coercivity by impeding magnetic domain wall motion and reducing intergranular exchange coupling. To further optimize the grain structure and phase distribution, we employed a sequential processing scheme consisting of hydrogen decrepitation, high-energy ball milling, controlled pressure compaction, high-temperature sintering, and post-sintering aging. These processes contributed to improved crystallinity, refined grain sizes, and enhanced phase purity. Through this integrated compositional and processing strategy, we achieved a significant enhancement in coercivity and structural stability, while maintaining a reasonable level of overall magnetization. The optimized samples exhibited homogeneous microstructures with uniformly distributed magnetic and nonmagnetic phases, contributing to more favorable magnetization reversal behavior. Moreover, the systematic variation in V content provided insight into the delicate balance between structural stabilization, grain boundary chemistry, and magnetic exchange interactions. This work presents a comprehensive pathway for advancing $ThMn_{12}$-type $SmFe_{12}$-based magnets toward practical use in bulk form. The results highlight the effectiveness of vanadium as a dual-function element—simultaneously stabilizing the primary magnetic phase and modifying grain boundary characteristics. Our findings not only deepen the understanding of structure–property relationships in rare-earth-lean magnet systems but also provide a foundational processing framework for the development of high-coercivity permanent magnets with scalable manufacturability.

[마그넷1-3 | 14:50]
Effect of Reducing Agent Type on Reduction-Diffusion in Nd-Fe-B Magnet Sludge Recycling: Galkin Vitalii(DGIST,Kyungpook National University), Jong Wook Roh(Kyungpook National University), Dong Hwan Kim(DGIST), Dongsoo Kim(KIMS), Jeongmin Kim*(DGIST)

Keywords: recycling Nd-Fe-B magnet sludge, reduction-diffusion, Nd-Fe-B magnet, heavy rare earth

The growing demand for electric vehicles (EV) has driven a sustained increase in the production of Nd-Fe-B magnets, with annual growth rates of approximately 10% over the past decade. Conventional Nd-Fe-B magnet manufacturing via powder metallurgy methods generates substantial waste, with 20-30% of the material lost as sludge during cutting and machining. This sludge, composed primarily

of oxidized powder, cannot be directly reused via remelting or sintering due to its high oxygen content. However, it contains ~30 wt% rare earth (RE) elements, including critical heavy RE such as terbium and dysprosium, making its recycling highly desirable. Moreover, the life cycle of Nd-Fe-B magnets ranges from 2-3 years for consumer electronics to 10-20 years for EV magnets, resulting in a large potential recycling stream. Despite market growth and short product lifetimes, less than 1% of Nd-Fe-B magnets are recycled, the same rate as over the past two decades. Conventional hydrometallurgical methods face several limitations, including the use of hazardous chemicals, the inability to recover boron, and the separate recovery of iron and RE elements. Furthermore, molten salt electrolysis is typically required to convert RE oxides into metals, increasing process complexity. Consequently, alternative recycling strategies are attracting significant interest. Among these, the reduction-diffusion process using calcium (Ca) as a reductant is particularly promising. However, conventional Ca reduction-diffusion still face challenges such as incomplete reactions at high reactant loadings, excessive reductant consumption, and low recovery efficiency. One potential solution to these limitations is the use of calcium hydride (CaH_2) instead of calcium. Unlike ductile Ca, brittle CaH_2 can be milled into finer particles, enabling more uniform dispersion within the sludge and facilitating the reduction-diffusion process. In addition, CaH_2 has a lower melting point, which can promote faster and more efficient reduction at identical processing temperatures. In this study, calcium and calcium hydride were employed as reducing agents for recycling heavy rare-earth-containing Nd-Fe-B magnet sludge. Reducing agent to sludge ratios of 0.35, 0.55, 0.75, and 0.95 were investigated. Complete recycling was achieved at a 0.75 ratio for both reducing agents; however, CaH_2 not only improved recycling efficiency but also produced markedly smaller particles, with an average size of 0.75 μm compared to 2.34 μm for Ca. Considering the significant difference in particle size, further investigation of the unwashed powders confirmed that the uniform distribution of CaH_2 in the reactant mixture process prevented excessive Nd-Fe-B particle growth during the RD. The CaH_2-recycled powder exhibited a coercivity of 9 kOe, attributed to efficient heavy rare-earth recovery, high phase purity, and submicron particle formation. These submicron particles are expected to be advantageous for fabricating high-coercivity Nd-Fe-B magnets.

[마그넷1-4 | 15:05] 조청강연

교자성의 쓸모에 대하여: 제숭근*(전남대학교 물리학과)

Keywords: 교자성, 응력, 닐 벡터 제어

스핀트로닉스 분야에서 새롭게 등장한 교자성(altermagnetism)은 완전히 새로운 물질은 아니다. 기존에 알려진 반강자성체 들 중 특수한 결정 대칭성을 가지는 경우 스핀 전류를 만들어 내는 등 새로운 현상과 기능이 발현된다는 점에서 최근 높은 관심을 끌고 있다. 본 발표에서는 교자성이라는 물질에 대해 소개하고, 그 쓸모에 대해 논의하고자 한다. 또한 실제 물질에서 항상 존재할 수밖에 없는 응력이 교자성의 특성을 어떻게 바꿀 수 있는지[1] 간단히 소개한다. 참고문헌 [1] J.-H. Sim, C.-J. Kang, and S.-G. Je Physica B: Condensed Matte 714, 417475 (2025)

[마그넷1-5 | 15:30] 조청강연

연자성, 경자성 재료 기반 모터 설계 연구 동향: 박민로*(순천향대학교)

Keywords: 모터, 경자성체, 연자성체

모터 기술은 전기자동차, 가전제품, 산업용 장비, 풍력 발전, 로봇 및 드론 등 다양한 응용 분야에서 핵심적인 동력 변환 장치로 활용되고 있으며, 이에 따라 고효율화·소형화·고출력화에 대한 요구가 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 성능 향상을 실현하기 위해서는 전자기적 설계 최적화뿐 아니라, 이를 가능하게 하는 자성 재료의 물리적 · 자기적 특성에 대한 심도 있는 이해가 필수적이다. 특히 연자성재료(Soft Magnetic Materials)와 경자성재료(Hard Magnetic Materials)는 모터의 고정자, 회전자 철심, 영구자석 등 핵심 부품에 각각 적용되어 전체 시스템의 성능을 직접적으로 좌우한다. 연자성재료는 높은 투자율과 낮은 히스테리시스 손실과 와전류 손실이 요구되며, 대표적으로 규소강판(Silicon Steel)은 모터 코어에 가장 널리 사용되는 재료로, 규소 첨가를 통해 저항률을 높여 와전류 손실을 억제한다. 하지만 고주파 영역에서의 손실 증가로 인해 고속 모터에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 최근 활발히 연구 중인 절연 코팅된 분말 입자를 성형하여 제조되는 연자성 분말소재(Soft Magnetic Composite, SMC)는 등방성(Isotropic) 자기 특성을 가지며, 3차원 자속 경로를 자유롭게 설계를 가능하게 한다. 이를 통해, 모터의 소형화 및 경량화에 유리하며, 고주파 영역에서의 철손 및 와전류 손실을 줄여 효율 향상에 크게 기여한다. 따라서, 고속 모터 운전 시 코어 손실 최소화와 발열 억제를 동시에 달성할 수 있도록 한다. 경자성재료는 높은 보자력과 잔류자속밀도를 바탕으로 출력 밀도와 토크 성능을 결정짓는다. 대표적으로 희토류 영구자석(Nd-Fe-B, Sm-Co)과 비희토류계 대체 자석(Ferrite, Alnico 등)이 사용되고 있다. 특히 네오디뮴 자석은 현존하는 상용 자석 중 가장 강력한 자기 특성을 보유하여, 영구자석형 동기모터 (PMSM)의 성능을 극대화하는 데 필수적이다. 또한, 희토류 원소의 공급 불안정성과 가격 변동성 문제를 해결하기 위해 Ferrite 및 Alnico영구자석 등 비희토류계 자석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들은 성능은 다소 낮지만, 가격 경쟁력과 생산 안정성이 높아 일부 응용 분야에서 중요한 대안으로 부상하고 있으며, 최근에는 희토류 사용량을 줄이면서도 성능 저하를 최소화하는 새로운 조성의 영구자석 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 강연에서는 이러한 연자성 및 경자성 재료의 자기적 특성이 모터의 형상 설계, 전자기 해석, 출력 특성, 열적 안정성, 손실 최소화 등에 어떻게 반영되고 있는지를 종합적으로 고찰한다. 또한 최근 연구 동향을 기반으로, 고출력 밀도 및 고속 모터 설계에서 새로운 모터 구조 설계, 신합금 소재 적용, 복합 자성재료 활용 사례를 소개하며, 재료 선택과 설계 기법 최적화 간의 상호 연계성을 분석한다. 특히, 재료공학적 접근과 전자기 설계 기법의 융합이 효율 극대화와 신뢰성 확보에 중요한 역할을 한다는 점을 강조한다. 결론적으로, 연자성 · 경자성 재료는 단순한 모터 구성 요소를 넘어 성능 최적화와 기술 혁신의 핵심 요인으로 작용한다. 본 강연은 자성 재료의 특성 이해와 이를 활용한 모터 설계 기법이 향후 고효율·고출력 모터 개발 및 지속가능한 에너지 사회

구현에 중요한 기여를 할 수 있음을 보여주고자 한다. 이를 통해 모터 설계 연구에서 재료공학적 접근의 융합적 가치와 미래 발전 가능성을 강조하며, 새로운 모터 기술 방향을 제시하고자 한다.

[마그넷2-1 | 16:00] 초청강연

In-Situ LTEM Observation of Magnetic Phase Transition in a Chiral Magnet: Tae-Hoon Kim*(Chonnam National University)

Keywords: magnetic phase, magnetic topological materials, magnetism, defects

Strain engineering enables precise, energy-efficient control of nanoscale magnetism. However, unlike well-studied strain-dislocation interactions in mechanical deformation, the spatial evolution of strain-induced spin rearrangement remains poorly understood. Using in situ Lorentz transmission electron microscopy, we manipulate and observe helical domain reorientation under quantitatively applied uniaxial tensile stress. Our findings reveal striking similarity to plastic deformation in metals, where the critical stress for propagation vector (Q) reorientation depends on its angle with the stress direction. Magnetic defects mediate reorientation via “break-and-reconnect” or “dislocation gliding–annihilation” processes. Simulations confirm that strain-induced anisotropic Dzyaloshinskii-Moriya interaction may play a key role. These insights advance strain-driven magnetism and offer a promising route for energy-efficient magnetic nanophase control in next-generation information technology.

[마그넷2-2 | 16:25] 초청강연

Fabrication of fine-grained Nd-Fe-B anisotropic magnets using single-crystalline particles synthesized by reduction-diffusion process: Keunki Cho, Seol-mi Lee, Sumin Kim, Jung-Goo Lee, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))

Keywords: NdFeB, Permanent magnet, Reduction-diffusion

The global push for sustainable energy, accelerated by the Paris Agreement, has fueled the rapid expansion of electric drive technologies. Key examples include the growing adoption of electric vehicles (EVs) and the increased deployment of wind turbines under initiatives such as RE100. Correspondingly, the demand for permanent magnets, which are essential components in both EV and wind turbine motors, is expected to rise from 200 kt in 2022 to 450 kt by 2030, underscoring the need for high-performance magnetic materials. Among permanent magnets, Nd-Fe-B suffers notable loss of magnetic performance as temperature rises from room temperature to around 200 °C, while typical operating conditions of EV and wind turbine motors can reach similar temperatures. Thus, enhancing thermal stability—primarily through maximizing coercivity (Hc)—is crucial. A promising strategy to improve Hc without relying on heavy rare-earth elements involves microstructural engineering, particularly grain refinement, according to the statistical model proposed by Ramesh et al. (Hc = 1/lnDn, where D is grain size). Traditionally, industrial production has followed a “top-down” route: strip-cast alloys are broken down via hydrogen decrepitation and subsequently jet-milled. Despite decades of optimization, particle sizes have stagnated around ~2.7 μm, significantly larger than the ~300 nm necessary for single-domain behavior. Although previous studies have demonstrated ~1 μm powders via He-jet milling, practical industrial application is limited by the high cost of helium. To address this challenge, the reduction–diffusion (RD) method has emerged as a “bottom-up” approach capable of producing submicron Nd-Fe-B powders. In this process, Nd reduced from Nd2O3 by Ca, together with B, diffuses into Fe particles to form Nd2Fe14B intermetallics, with particle size largely determined by the initial Fe precursor size. While RD inherently favors finer powders compared with top-down methods, the washing step remains a critical bottleneck: conventional water washing removes CaO byproducts but also oxidizes Nd2Fe14B, degrading magnetic properties and sinterability. As a result, anisotropic Nd-Fe-B sintered magnets had not been successfully produced from RD powders. Here, we present a novel oxidation-suppressed washing strategy, combining ethylenediamine coating with acetic acid etching, to obtain low-oxygen Nd-Fe-B particles. Using this approach, we synthesized high-purity, single-crystalline Nd-Fe-B powders of ~1 μm exhibiting hard magnetic characteristics (4πMs ~ 15.9 kG, HcJ ~ 1.5 kOe), comparable to commercial products. Moreover, for the first time, we fabricated anisotropic Nd-Fe-B sintered magnets from RD powders, achieving 4πMr = 13 kG, HcJ = 11 kOe, and (BH)max = 42 MGOe. This study demonstrates that the RD process, coupled with oxidation-suppressed washing, provides a practical route to circumvent the particle size limitations of conventional top-down techniques and offers a new platform for producing fine-grained, high-performance Nd-Fe-B sintered magnets.

[마그넷2-3 | 16:50] 초청강연

Simultaneous improvement in coercivity and remanence of (Nd, Pr)-ultra-saving Ce-substituted RE-Fe-B sintered magnets by grain boundary diffusion process using low-melting Nd-Cu-Al-Ga alloy: Sujin Lee, Sumin Kim, Kyoung-Hoon Bae, Dong-Hwan Kim, Jung-Goo Lee, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science (KIMS))

Keywords: Nd-Ce-Fe-B sintered magnet, grain boundary diffusion process, coercivity, remanence, extensive critical rare-earth saving

The Nd-Fe-B-based magnets are widely employed in the various industries, including wind power generation, intelligent robotics, and electric/hybrid vehicles, due to their superior hard magnetic properties derived from high anisotropy field and saturation magnetization of Nd2Fe14B (2-14-1) grains. However, the increasing demand for the Nd-Fe-B magnets has led to a substantial depletion of critical rare earth elements (RE), particularly Nd and Pr, resulting in concerns on their cost and supply stability. Therefore, significant research efforts have been directed toward developing high-performance permanent magnets with reduced Nd and Pr3). Among potential substitutes, Ce have emerged as a promising candidate for partially replacing Nd/Pr in the magnets due to its abundant availability and

cost-effectiveness. However, the inferior intrinsic properties of Ce2Fe14B compared to Nd2Fe14B present a significant challenge in achieving high-performance (Nd,Pr)-saving magnets. In particular, excessive Ce substitution (>40 % of the total RE) severely degrades the hard magnetic properties, which creates a significant limit for increasing Nd/Pr-saving rate of the magnets. In this work, we demonstrate a simultaneous enhancement of coercivity and remanence in ~57 % (Nd, Pr)-saving magnets via the grain boundary diffusion process (GBDP) using a low-melting Nd-Cu-Al-Ga (NCAG) alloy as the diffusion source. To resolve the deterioration of magnetic properties induced by Ce in 2-14-1 grains, the Nd-based alloy (NCAG) was selected as the diffusion source satisfying two criteria: (1) RE in the GBD source should have a negative substitution energy for Ce in the 2-14-1 lattice to extract the Ce from 2-14-1 to Nd-rich GBP, and (2) the RE in the GBD source should be able to increase both the anisotropy field and saturation magnetization of 2-14-1 in Ce-substituted magnets. As a result, the coercivity of the as-sintered (Nd, Pr)-saving magnets substantially increased from 0.90 T to 1.52 T by the NCAG-GBDP, and it further increased to 1.60 T after the post diffusion annealing. Additionally, the remanence of the as-sintered magnets also improved to 1.07 T after NCAG-GBDP, exhibiting the gain of 0.03 T. In this presentation, we will discuss the microstructural changes induced by NCAG-GBDP to elucidate the mechanism behind the simultaneous enhancement of coercivity and remanence of (Nd,Pr)-saving magnets, focusing on compositional changes in the shell. Based on these results, we will suggest the key factors in the GBDP for improving the hard magnetic properties of high-Ce-content magnets to a level of commercial (Nd, Pr)-Fe-B sintered magnets.

[마그넷2-4 | 17:15]

다중 재료 압출을 통한 적층제조 기반 고규소 Fe–Si 연자성 코어의 절연 구조 설계 및 자기적 특성 평가: 임태협, 이강현, 김민종 (한양대학교 ERICA), 이동주(충북대학교), 김종렬, 이선영*(한양대학교 ERICA)

Keywords: 규소강, 적층 제조, 재료 압출법, 연자성 코어

고규소 Fe–6.5wt.%Si (Fe–6.5Si) 합금 기반 연자성 코어는 높은 투자율과 낮은 자기변형 특성으로 차세대 전자기 소자에 유망한 소재이다. 그러나 Fe–6.5Si 합금은 취성이 커서 기존의 냉간 가공 공정으로는 제조가 어렵다는 한계가 있다. 본 연구에서는 적층 제조 공정 중 하나인 듀얼 노즐 재료 압출 (D-MEX) 시스템과 스파크 플라즈마 소결을 결합하여 금속–절연체–금속 (MIM) 구조의 고밀도 연자성 코어를 제작하였다. 특히, 와전류 경로를 제한하기 위해 절연 구조를 프린팅 방향에 따라 수직형 (vertical-type)과 수평형 (horizontal-type)으로 구현하였으며, 절연체의 재료 조성, 적층 두께 및 배치 방향을 제어하여 구조적 변화를 설계하였다. 제작된 시편은 B–H 루프와 코어 손실 분석을 통해 자기적 특성을 평가하였고, 다양한 모터 형상 제작해보았다. 본 연구는 다중 재료 압출법을 통해 Fe–Si 연자성 코어의 절연 구조를 유연하게 설계할 수 있음을 보여주며, 고규소 합금 기반 연자성 코어 제조의 새로운 방향을 제시한다.

제34회 피로 및 파괴 심포지엄
Room 3층 302/3, 10월 30일

[피로1-1 | 09:00] 초청강연 Canceled
항공엔진 소재부품 피로파괴 사례 및 개발 방향: 손인수*(한화에어로스페이스)
Keywords: 항공엔진, 가스터빈, 피로 수명, 초내열합금, 타이타늄 합금

[피로1-2 | 09:25]
항공 엔진 소재의 주조품 등급별 피로특성 평가: 김동혁*(한화에어로스페이스)
Keywords: 항공용 소재, 피로특성, 주조/단조
항공용 가스터빈 엔진 부품은 고온 산화와 같은 극한 환경에서 운용되므로, 우수한 고온 특성을 지닌 합금소재가 적용된다. 특히 블레이드와 디스크를 포함한 항공기 엔진 여러 부품은 주조 및 단조 공정을 통해 제조되며, 이 과정에서 다양한 제조 결함이 발생할 수 있다. 이러한 결함은 비파괴검사 (NDI)를 통해 검출되며 규격에 의해 등급별로 분류된다. 본 연구에서는 결함 등급으로 분류된 시편을 기계적 물성을 인장 및 피로 시험을 통해 평가하였으며, 제조 결함 등급에 의한 영향성을 분석하였다.

[피로1-3 | 09:40] Canceled
항공용 가스터빈엔진 터빈 디스크 소재별 고온피로거동 연구: 김영무*, 강동수, 권혁준, 김동혁, 정희찬, 손인수(한화에어로스페이스)
Keywords: 니켈계 초내열합금, 터빈 디스크, 고온피로거동
항공용 가스터빈엔진의 터빈 디스크는 수명 제한 품목(Life Limited Part, LLP) 중 하나로서, 터빈 블레이드를 지지 및 고정하고, 이로부터 터빈 샤프트로 동력을 전달하는 허브 역할을 하는 부품이다. 특히, 엔진 추력 성능에 따라 차이가 있으나 최대 상기 구성품은 700ºC 이상에서 00톤 이상의 원심하중을 동시에 견뎌야 하므로, 엔진 운용 시간 (수만 시간) 동안 반복 회전 환경에서 피로 균열에 대한 저항성이 우수해야 한다. 이에 디스크 소재 선정 및 개발 시 이의 요구도를 반영하여 소재, 형상 설계 및 제작하여야 한다. 본 연구에서는 국외 항공엔진 터빈 디스크에 적용 중인 니켈계 초내열합금 단련재인 IN 718, UDIMET 720Li, Nimonic 90 등 부터 분말야금재인 Rene 95/88DT/104, RR 1000 등 소재 개발 현황을 기술하고, 이의 소재별 고온피로거동 관련 연구결과를 검토 및 분석하였다. 이를 통해 향후 국내 개발 중 혹은 예정인 항공용 가스터빈엔진의 터빈 디스크 개발 시 활용하고자 한다.

[피로1-4 | 09:55]
항공엔진 소재 LCF 특성 평가 Tool 개발: 안두홍*, 손인수, 이동엽(한화에어로스페이스), 이명규, 심규장(서울대학교)
Keywords: 항공엔진 소재, 피로수명 예측, GPR, CPFEM, FIP
항공엔진 소재는 다양한 조건에서의 피로수명 데이터 확보에 한계가 있어 이를 극복하기 위한 피로수명 예측 방법이 필요하다. 본 연구에서는 비교적 적은 데이터로 효율적 분석이 가능한 GPR(Gaussian Process Regressor) 기반 머신러닝을 활용한 피로수명 예측 시스템을 구축하였으며, CPFRM을 통해 FIP를 계산하고 대량의 SVE Set에 대한 자동 해석 및 통계분석을 수행할 수 있는 ABAQUS-PRISMS 프레임워크를 개발하였다. 향후 Ti6242 소재의 EBSD 기반 RVE 생성과 ABAQUS-PRISMS 적용을 통해 GPR 모델의 예측 정확도를 향상시킬 계획이다.

[피로1-5 | 10:10]
항공엔진 소재부품 Thermal Mechanical Fatigue 특성 평가: 김보희*, 이동엽, 주영규, 손인수(한화에어로스페이스)
Keywords: 항공엔진, Thermal Mechanical Fatigue
항공엔진 핵심 부품은 엔진의 기동 및 정지에 따라 발생하는 온도 상승/하강과 기계적 응력의 복합적인 사이클에 의해 열-기계 피로 (Thermal Mechanical Fatigue, TMF) 현상을 겪게 된다. 이러한 복합적인 환경은 재료 내부에 균열을 유발하여 부품의 수명을 단축시키므로 부품의 장기적인 신뢰성 확보를 위해서는 TMF 특성을 고려한 설계가 필수적이다. 일반적인 피로 시험인 저주기피로 (Low Cycle Fatigue, LCF) 시험과 달리, TMF 시험은 온도 사이클과 기계적 하중을 동시에 구현하는 부수 장비를 활용하여 실제 부품의 운용 환경을 모사한다. 본 연구에서는 항공엔진 터빈 베인 등에 사용되는 Ni기 초내열합금 IN738LC 재질로 TMF 시험을 수행한 결과를 설명하고, 그 결과가 TMF 수명 해석에 어떤 방향으로 적용되어야 하는지를 설명한다.

[피로2-1 | 10:35] 초청강연
미세조직 기반 일축 피로수명, 다축 피로수명 및 산포도 예측 기법 개발: 최윤석, 신종훈(부산대학교)
Keywords: 피로수명
본 발표에서는 아공석강(44MnSiVS6)의 미세조직 기반 피로수명 예측 기법 개발에 대해 다루었다. 아공석강의 주요 생성상인 초석 페라이트와 펄라이트에 대해 결정소성 기반 피로 구성모델을 개발하였으며, 이를 cellular automata 기법으로 생성된 통계적 대표성을 지닌 가상 미세조직의 대표체적요소(RVE)에 적용하여 결정소성 유한요소해석을 통해 미세조직 단위의 피로거동을 전산모사하고 피로수명을 예측하였다. 개발된 피로수명 예측 기법을 아래의 경우에 대해 각각 적용하고 예측능 및 확장성을 검토하였다. - 미세조

직 기반 일축 피로수명 예측 - 미세조직 기반 일축 피로수명 예측 기법을 이용한 다축 피로수명 예측 - 미세조직 기반 일축 피로수명 산포도 예측

[피로2-2 | 11:00] 초청강연

군용 가스터빈 엔진 고온부품의 결함사례 연구: 이홍철*(한화에어로스페이스), 김시호, 조형진(공군 항공기술연구소)

Keywords: 가스터빈 엔진, 고온 부품, 피로균열, 내구성 및 손상허용 평가

군용 항공기 가스터빈 엔진의 결함은 항공기 사고로 이어지는 경우가 많으므로 엔진 부품은 높은 신뢰성과 내구성이 요구된다. 특히, 상용 엔진보다 군용 가스터빈 엔진은 가혹한 조건에서 작동되므로 운영주기 동안에 엔진 부품의 내구성과 신뢰성을 확보하기 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 군용 가스터빈 엔진 결함이 항공기 사고로 이어지는 경우가 종종 발생되고 있다. 본 연구에서는 군용 가스터빈 엔진의 고온 부품에서 발생한 결함이 항공기 사고를 유발한 사례에 대한 근본원인과 파손 유형 분석 결과를 고찰하였다. 또한 사례 연구를 통해 얻은 경험 지식을 바탕으로 가스터빈 개발 단계에서 고려해야 되는 부품의 안전성과 신뢰성 향상 방안을 제시하였다.

[피로2-3 | 11:25]

자가치유를 고려한 열가소성 복합재 구조건전성 평가 방법: 이두열*(부산대학교)

Keywords: 열가소성 복합재, 자가치유, 구조건전성

항공기 구조재로 사용되는 복합재의 비율은 증가하는 반면 구조건전성을 유지하는 방법에는 아직 명확하지 않은 부분이 있다. 특히 손상을 예측하고 수리의 효과를 반영하는 것은 여전히 어려운 과제이다. 본 연구에서는 자가치유를 고려하여 주요 복합재 구조물의 건전성을 평가하고 검사 및 정비 계획을 최적화 하는 방법을 제시한다. 자가치유는 열가소성 복합재로 제작된 구조물을 대상으로 비행 후 검사를 통해 필요한 경우 열을 가하는 방법으로 이루어진다. 따라서 수리의 일종으로 볼 수 있다. 복합재 결함으로는 층간박리를 고려하였다. 제조 시 미탐지 결함 또는 운용 중 외부 충격에 의한 생성된 결함이 충격하중이나 반복하중에 의해 면적이 증가한다. 충격하중에 의한 층간박리의 성장은 크기가 커질수록 속도가 0에 수렴하는 특성이 있다. 반복적인 굽힘에 의한 층간박리의 성장에는 Mode II 하중의 기여가 크다. 이는 간단히 Paris 법칙과 같은 멱급수 형태로 표현이 가능하다. 검사는 레이저 초음파탐상검사와 위상배열 초음파탐성검사를 고려하였다. 검사의 신뢰도는 탐지확률곡선 형태로 표현하였다. 위험도는 파손 확률 형태로 표현하였고, 이는 임계 면적을 초과하는 확률을 의미한다. 확률 계산은 충격하중과 반복하중을 모두 고려한 베이지안 네트워크 모델을 사용하여 구하였다. 본 연구는 검사 및 정비 계획 최적화를 위한 기초 연구로 향후 복합재 수리를 고려한 구조 건전성 관리에 범용적으로 사용될 것으로 기대된다.

[피로2-4 | 11:40]

KT-100 항공기 엔진 상태분석검사(ACI) 수행사례: 김홍석, 김영찬, 김시호*(공군 군수사령부 항공기술연구소)

Keywords: 엔진, 상태분석검사, 창정비

항공기는 도입 시 기체와 엔진의 수명과 검사주기가 정해져있으며, 이를 통해 비행 안전성을 보장한다. KT-100 항공기는 공군 조종사들의 입문 비행훈련을 위해 2015년 도입된 항공기로, 약 10여년의 운영을 통해 기체의 잔여수명은 약 28년, 엔진은 약 4년 후 창정비가 필요하였다. 하지만 엔진 제작사의 창정비 중단 및 군창 대상 창정비 교육, 인증 불가로 인해 엔진 창정비가 불갛였다. 따라서 KT-100 항공기를 대체하기 위한 신규 항공기 구매를 추진 중이나, 대체 항공기 도입 지연에 대비하기 위해 상태분석검사를 통해 창정비 주기 재검토를 수행하였다. 관련 법령 및 창정비 주기 연장사례 분석을 통해 적절한 정비관리대책 수립 및 적용을 통해 엔진 창정비 주기 연장이 가능함을 확인하였고, 엔진 창정비 T.O 및 엔진 운영/결함자료 분석을 통해 상태분석검사 세부 계획을 수립하였다. 상태분석검사 수행절차는 초도검사, Dirty Inspection, Clean Inspection 및 결과정리 순으로 진행되었다. 검사 항목은 창정비 T.O 기준 검사 항목과 운영 간 발생한 결함 자료를 검토하여 추가 검사항목을 선정하였다. 상태분석검사 수행결과, 엔진 건전성에 영향을 줄 수 있는 주요한 결함은 확인되지 않았다.

[피로3-1 | 14:00]

항공기 무장발사 Adapter 결함원인분석 및 수리방안 연구: 권혁준*(항공기술연구소)

Keywords: 무장 Adapter, 피로균열, 유한요소해석, Blending 수리

무장 Adapter는 항공기 Pylon에 장착되어 Launcher와 Missile 하중을 지지하는 외장 구조물로서 결함은 Adapter를 Pylon에 장착하는 Attcah Hole 주변에 발생하였다. 해당부위는 기술도서상 균열을 허용하지 않으나, 미 공군은 균열 위치에 따라 한시적으로 비행지원을 수행하는 것이 확인됨에 따라 결함원인 분석과 함께 임시수리방안 연구를 진행하였다. 제작사는 Adapter에 사용된 재료의 부적절한 열처리를 의심하였으나, 미세조직분석, 경도 및 전기전도도 측정결과 Adapter 재료 Spec을 만족하는 것이 확인되었다. 실제 균열은 Hole 바깥쪽에서 시작되어 진행되었으며, 균열면 강제 개방 후 관찰결과 피로균열로 확인되었다. 비행 중 발생하는 동적하중 고려는 제한적이였으므로, 정적하중만을 고려하여 Hole 주변 유한요소해석을 수행한 결과, 해당 부위에서 응력이 집중됨과 동시에 최대 응력이 발생함이 확인되었다. 수리는 구조물의 최소한의 손상을 유발하는 Blending 기법이 적절하다고 판단하였으며, 균열길이에 따라 수리를 진행하였을 때 안전계수 1을 만족하는 최대 균열 허용길이를 유한요소해석을 통해 산출하였다. 그 결과, 최대 5 mm 균열까지는 수리가 가능한 것으로 판단하였으며, 분석 결과를 미 공군에 공유한 결과, 해당 수리 절차와 한계치 설정에 동의하였다.

[피로3-2 | 14:15]

항공기 엔진 Ejector 손상분석 사례 연구: 김영찬, 김홍석, 김시호*(항공기술연구소)

Keywords: 회전익, Ejector, Weibull 분석, 위험도 평가, 구조해석, 점검주기 설정, 항공기 가동률 향상

본 연구는 OOO-1 헬기의 엔진에 장착된 IRS(Intra-Red Suppressor) Ejector에서 반복적으로 결함이 발생함에 따라, 대체 장착 가능한 민항용 Ejector의 점검주기와 관리방안을 체계적으로 도출하기 위해 수행되었다. 민항용 Ejector는 본래 적외선 신호 저감 기능은 없지만, 평시 훈련 시에는 IRS Ejector의 사용을 줄여 결함 발생 가능성을 낮추고, 동시에 대체 운용을 통해 항공기 가동률을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라 실제 운용자료를 활용한 Weibull 수명분석과 위험도 평가를 수행하여 민항용 Ejector의 신뢰성 지표를 정량화한 결과, 평균수명은 약 2,277시간, 최소 보장수명은 약 1,264시간으로 도출되었다. 또한 구조해석과 손상형태 분석을 통해 응력집중 부위와 잠재적 결함 위치를 확인하고, 이를 근거로 점검 위치와 적정 주기를 설정하였다. 분석 결과를 종합하면 OOO-1에 적용되는 민항용 Ejector의 적정 점검주기는 약 1,200~1,500시간으로 제안되며, 이는 OO-60 및 OO-92 등 해외 유사 기종의 점검 기준과도 부합한다. 본 연구는 운용자료 기반의 통계적 신뢰성 분석과 구조 건전성 검토를 통합하여 민항용 Ejector의 점검체계를 과학적으로 정립하였다는 점에서 의의가 있으며, 평시 훈련 환경에서의 IRS Ejector 결함 저감과 항공기 가동률 향상에 기여할 것으로 기대된다.

[피로3-3 | 14:30]

고엔트로피합금의 미세조직이 피로 균열 전파 특성에 미치는 영향: 박윤지(국민대학교), 박상은(두산에너빌리티), 성효경*(국민대학교)

Keywords: 고엔트로피합금, 피로균열전파, 미세조직

본 연구에서는 FeCoCrMnNi 고엔트로피합금의 피로 균열 전파 거동에 미치는 결정립 크기와 결정립계 특성을 분석하였다. 열처리 제어를 통해 미세립과 조대한 결정립 미세조직을 제조하고, 결정립계를 고경각과 저경각으로 구분하여 FCP 거동을 분석하였다. 피로 시험은 모드 I 하중 조건에서 CT 시편을 이용해 수행하였으며, 응력확대계수 범위에 따른 균열 성장 속도를 평가하였다. 그 결과, 조대한 결정립 시편은 특히 임계응력확대계수 영역에서 미세립 시편보다 우수한 피로균열전파 저항성을 나타냈다. 이는 조대한 결정립에서 슬립 평면성이 높아져 입계 전위 활동이 억제되고, 그 결과 균열 첨단의 둔화가 촉진되어 균열 개시가 지연되었기 때문이다. 또한 고경각계와 전위 밀도가 높은 영역에서는 균열 전파 경로가 크게 굴절하며 전파가 저지되었으나, 저경각계와 전위 밀도가 낮은 영역에서는 경로 변화가 제한적이어서 전파 저지 효과가 나타나지 않았다. 이를 통해 HEA의 피로 성능 향상을 위해 결정립 크기 및 미세조직 제어가 중요함을 알 수 있으며, 피로 저항성이 우수한 HEA 설계를 위한 공정–미세조직–특성 관계를 확립하는 데 기여할 수 있다.

[피로3-4 | 14:45]

F.O. 제거 Sweeper 손상 메커니즘 연구: 이병현*, 조형진, 김보광, 손경숙(공군 항공기술연구소)

Keywords: 고분자, 피로파괴

본 연구에서는 차량견인식 F.O. 제거 Sweeper 손상원인 분석을 통해 고분자 화합물 피로파괴 메커니즘을 연구하였다. 활주로, 계류장, 정비시설 등에 방치된 외부 물체(Foreign Object)는 운영 중인 항공기에 치명적인 위험요소로 작용할 수 있다. 특히 Bolt, Nut, 콘크리트 조각 등 밀도가 큰 물체들은 고속으로 작동하는 항공기 엔진, 착륙장치, Tire 등의 주요부위를 충격하여 물적, 인적 손실을 초래할 수 있다. 이와 같은 손상(Foreign Object Damage)을 예방하기 위해 군 비행기지 및 민간공항에서는 다양한 장비를 활용하고 있다. F.O. 제거 Sweeper는 항공기 이동 구역을 대상으로 노면과 접촉 상태에서 차량으로 견인하여 F.O.를 수집하는 역할을 한다. 장비 공급 업체 변경 후 기존 장비에 비해 짧은 운용거리에서 마모, 균열, 파단 손상이 주요 구성품에 발생하였다. F.O.를 수거하는 Sweeper Mat는 열가소성 폴리우레탄 소재의 Scoop 및 고무코팅 나일론 섬유 소재의 Turf로 구성된다. Scoop 및 Turf 거시적 관찰 결과, 다수 부위에서 마모 및 소성변형이 확인되었고, 노면과 접촉되는 반대면에서도 손상 부위가 분포하였다. Turf를 구성하는 강모(Bristle)는 정상 사용품에 비해 곱슬한 형태로 제작되어 노면 접촉 증가에 의한 마모 가속화 요인이 되었다. Scoop 파단면 미시적 관찰결과, Polymer 소재의 취성파괴 특징인 Mirror Zone, Mist Region, Hackle Region을 확인하였다. 또한, Scoop 시료에 대해 FTIR 분석 결과, 정상품에 비해 연질성분(Polyol)이 부족하여 취성이 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 분석결과를 바탕으로 실제 장비 운용환경을 추적하고, 장비 공급 업체에 Scoop 및 Turf 재질 분석자료 요청을 권고하여 향후 F.O 제거 Sweeper 장비 품질향상을 도모하였다.

[피로4-1 | 15:10]

항공기 투명창 성형공정 개발: 정대호, 김덕성, 안교진, 이재훈, 김희성, 송민환, 정유인*(한국항공우주산업(주))

Keywords: 캐노피, 투명창, 스트레치드아크릴

본 연구는 항공기 투명창을 제작하기 위한 성형공정 개발을 목적으로 한다. 투명창용 소재는 우수한 투명도와 낮은 굴절률, 자외선 및 충격 저항성이 요구되며, 성형 과정은 잔류응력 및 두께 편차에 따라 발생할 수 있는 왜곡과 편각을 포함한 광학적 결함을 최소화해야 한다. 이에 따라 성형온도, 압력, 냉각 조건 등 주요 공정변수를 제어하므로써 고품질 투명창의 제작 가능성을 확인하였다.

[피로4-2 | 15:25]

국산 타이타늄 소재의 피로균열전파 시험을 통한 수명 적합성 통계적 분석: 안교진, 김예진, 송민환, 정유인*(한국항공우주산업(주))

Keywords: 피로균열전파, 타이타늄, 소재 국산화

본 연구는 항공용 구조 부재에 적용 가능한 국산 타이타늄(Ti-6Al-4V) 소재의 피로 수명 적합성에 대해 신뢰성을 정량적으로 검

증하기 위해, 외산 소재 기준 피로균열전파 특성 비교 평가를 수행하였다. 통계적 분석을 통해 기준 소재와 정량적 비교를 통해 수명 관점에서 동등 또는 동등이상임을 평가하였다. 그 결과, 본 연구에서 타이타늄 국산 소재 실용화를 실현하였으며, 수명 관점에서 통계적 분석을 통해 정량적 신뢰성 확인할 수 있었다.

[피로4-3 | 15:40]

항공용 저밀도 실란트 국산화 및 성능평가 고찰: 김희성, 강주현, 안교진, 송민환, 정유인(한국항공우주산업(주))

Keywords: 항공용 기능재, 저밀도 실란트, 소재 국산화

본 연구는 항공기용 구조 연료탱크 등 밀봉에 요구되는 저밀도 실란트의 국산화 개발을 목표로 하고 있다. 기존 수입 의존 소재를 대체하기 위해 저밀도 실란트 개발을 수행하고 있으며, 연료 저항성, 접착성, 내환경성 등을 중심으로 성능 평가를 진행하고 있다. 중간 시험 평가 결과, 국산 저밀도 실란트는 기계적 물성 및 내연료 특성에서 해외 상용 제품과 동등 이상 수준을 확보하고 있다. 본 연구에서는 개발 과정, 시험평가 결과, 그리고 항공 인증 절차와 적용 가능성에 대해 고찰한다.

[피로4-4 | 15:55]

항공용 표준품 개발 현황 및 향후 과제에 대한 고찰: 임종묵, 류호원, 정유인*(한국항공우주산업(주))

Keywords: 항공용 표준품, 소재 국산화

현재까지 국내에서 개발 완료 및 진행 중인 항공용 표준품의 현황과 이에 따른 효과를 분석하며, 개발 간 애로 사항과 극복해야 하는 상황에 대해 고찰하고 유관 기관 및 업계의 지원을 요청하고자 함.

가공-용접 및 접합
Room 3층 304, 10월 30일

[용접1-1 | 09:00]

SMR용 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 용접부 고온균열 민감도에 미치는 합금원소의 영향: 정혜은(한국재료연구원,국립부경대학교), 강용준*, 박기태, 송상우(한국재료연구원), 천은준(국립부경대학교)

Keywords: High-strength austenitic stainless steel, Alloying element, Solidification mode, Hot cracking susceptibility, Varestraint test, Instrumented indentation technique

에너지안보 강화와 탄소중립에 대응하기 위해 원자력 수요가 증가하고 있으며, 소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR)는 높은 안전성 및 경제성으로 인해 최근 전 세계적으로 주목받고 있다. SMR의 성공적인 개발을 위해서는 주요 부품 경량화가 필수적이며, 구조재료의 강도 향상이 요구된다. XM-19은 인장강도 690 MPa 급의 오스테나이트계 스테인리스강으로, 우수한 내식성과 중성자 취화 저항성을 동시에 갖추어 SMR 압력용기 및 격납용기 소재로 적용이 검토되고 있다. 그러나 강도 향상을 위한 질소(N) 합금화는 니켈당량(Ni_{eq})을 증가시켜 부품 제조 종단의 용접 공정에서 고온균열 민감도를 향상시킬 수 있다. XM-19의 제조 신뢰성 확보를 위해서는 용접재료 및 기술의 개발, 정량적 용접성 평가가 선행되어야 하나, 현재 관련 연구는 아직 초기 단계에 불과하다. 또한 소재는 전량 수입에 의존하고 있어 국산화 필요성이 제기되고 있다. 본 연구는 고온균열 저항성이 우수한 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 용접재료 개발을 위한 기초 연구로서, 합금원소가 균열 민감도와 기계적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 평가하였다. 소형 가압유도용해로(VTC-200V)를 이용하여 Ni, Mo, Nb, V을 변수로 한 약 30종의 용접재료용 합금을 제작하였다. 용접부 고온균열 민감도는 가스 텅스텐 아크용접(Gas Tungsten Arc welding, GTAW)을 적용한 Varestraint 시험을 통해 평가하였으며, 기계적 특성은 계장화 압입시험(AIS FS)으로 측정하였다. 다양한 미세조직적 분석을 통해 각 합금의 응고 거동을 확인하고 상 분율을 정량화 하였으며, 실험 결과는 열역학적 계산 결과와 연계하여 고찰하였다. 본 연구결과는 인공지능(AI) 기반 예측 모델 개발의 후속 연구에서 함께 최적 용접재료 조성 도출을 위한 기초 데이터로 활용될 예정이다.

[용접1-2 | 09:15]

듀얼 레이저 빔의 출력 제어에 따른 Al-Cu 겹치기 용접부의 특성 평가: 유채은, 윤성민(부산대학교), 김용(고등기술연구원), 이제인*(부산대학교)

Keywords: dissimilar welding, dual-beam laser, intermetallic compound, fatigue

배터리 팩에는 알루미늄과 구리의 전기적 연결이 필수적이다. 알루미늄과 구리의 경우, 열전도도가 높아 고에너지 열원인 레이저를 이용하여 접합한다. 하지만 알루미늄과 구리를 용융 접합하게 되면, 서로 다른 열물리적 특성으로 인해 다양한 결함이 발생한다. 기공, 균열, 취성의 금속간화합물 등은 용접부의 기계적, 전기적 특성을 저하시키므로 미세조직 및 결함을 최소화할 수 있는 레이저 용접 공정이 필요하다. 듀얼 빔을 이용하여 용융풀의 유동 제어를 통해 미세조직을 최적화하여 용접부 특성을 향상시키고자 하였다. 센터 빔의 출력을 700 W으로 고정하였고, 링 빔의 출력을 0 – 1100 W으로 조절하여 링 빔의 효과를 확인하였다. 링 빔의 출력이 700 W 이하일 때 구리 모재로의 부분 용입, 700 W 이상일 때 완전 용입이 관찰되었다. 링 빔이 300 W 조건에서의 좁은 비드폭에도 불구하고 용융부 내의 취성의 금속간화합물 분율의 최소화로 인해 최대의 인장 전단 강도와 피로 강도를 나타냈다. 본 연구에서는 듀얼 빔 레이저의 출력제어를 통해 취성의 금속간화합물 형성을 억제하여 기계적 특성을 향상시켰다.

[용접1-3 | 09:30]

Si_3N_4/Cu 이종 접합 방열 기판 개발 및 미세조직 평가: 권홍기(포항소재산업진흥원), 김준태, 이경훈(주식회사 코웰), 박상원*(포항소재산업진흥원)

Keywords: 방열 기판, Active Metal Brazing(AMB), 질화규소(Si_3N_4), 구리(Cu)

전 세계적으로 수송기기의 하이브리드화 및 전동화가 가속화됨에 따라 전자소자 및 반도체 시장이 급격히 성장하고 있다. 조사에 따르면, 전자소자의 주요 고장 원인 중 55% 이상이 과열에 기인하며, 이에 따라 효과적인 열 방출은 제품의 수명과 안정성 확보에 핵심적인 요소로 인식되고 있다. 특히, 높은 전기 절연성과 우수한 열전도성을 동시에 갖춘 세라믹 소재는 디바이스에서 발생하는 열을 신속하게 확산·방출할 수 있어, 전력 반도체 패키징 및 고집적 전자회로 기판 소재로 각광받고 있다. 다양한 세라믹 중에서도 질화규소(Si_3N_4)는 우수한 기계적 강도와 높은 열전도성을 보유하여, 전기자동차와 같은 첨단 산업 분야에서 안정성과 내구성을 동시에 충족할 수 있는 핵심 소재로 주목받고 있다. 그러나 Si_3N_4 소재의 생산 및 공급은 현재 일본이나 해외 선진사가 주도하고 있으며, AMB(Active Metal Brazing) 공정 또한 국내 연구소에서 여전히 연구개발을 진행하고 있다. 본 연구에서는 국산화 경쟁력 강화를 목표로 AMB(Active Metal Brazing) 기술을 적용하여 구리(Cu)와의 이종 접합을 통한 Si_3N_4/Cu 방열 기판을 제작하였다. 제조된 기판은 다양한 접합 조건에서의 미세구조 분석 평가를 진행하였다. 본 연구를 통해 개발된 Si_3N_4 세라믹 기반 방열 기판은 수송기기용 전력 반도체 패키징 기판 등 고열 환경에서 요구되는 전자소자 응용 분야에 활용 가능성을 제시한다.

[용접1-4 | 09:45]

Effect of Lotus Cu on thermal shock properties in Ag-Sintered joints: 김민수(Inha University), 김상욱(Lotus Materials Co., Ltd.), Hiroshi Nishikawa*(Osaka University), 현승균*(Inha University)

Keywords: Lotus copper, CTE mismatch, Thermal cycling reliability

This study examines the effect of unidirectional porous copper (Lotus Cu) on the thermal shock properties of Ag-sintered interfaces for Si/Cu bonding. In high-performance wide-bandgap semiconductor power modules, the large coefficient of thermal expansion (CTE) mismatch generates significant thermomechanical stresses, leading to interfacial degradation. Lotus Cu, with high vertical thermal conductivity and a low elastic modulus, was introduced as an alternative joining material. Si/Ag/Lotus Cu and Si/Ag/bulk Cu joints were fabricated via Ag sintering and evaluated through thermal cycling tests (−55 °C to 150 °C). After 500 cycles, bulk Cu joints exhibited extensive delamination, whereas Lotus Cu joints maintained partial bonding with only localized interfacial damage. These results suggest that the unique pore structure of Lotus Cu can redistribute thermal stress, provide more complex crack propagation paths, and potentially improve the reliability.

[용접1-5 | 10:00]

SS 304 확산접합부의 온도에 따른 수소취성 거동 분석: 최동현(부산대학교), 김현준, 손영훈(동화엔텍), 강남현*(부산대학교)

Keywords: 스테인리스, 확산접합, 수소취성

기후 변화에 대응하기 위해 화석 연료를 대체할 수소 에너지가 차세대 친환경 에너지원으로 주목받고 있으며, 이에 따라 수소 생산, 저장, 운송 및 활용 인프라 구축의 필요성이 증대되고 있다. 인프라 구축의 핵심 기자재인 열교환기는 고온 고압의 확산접합 공정으로 제작되며, 수소 재료의 후보군으로 알려진 300계열의 스테인리스강은 공정 도중에 $M_{23}C_6$, M_3C, Sigma 등 다양한 석출상이 형성된다. 석출상들은 재료의 기계적 물성을 저하시킬 뿐만 아니라, 수소의 확산을 촉진하거나 트랩 사이트로 작용하여 수소 취성 민감도를 증가시킬 가능성이 있다. 석출상 형성에 따른 기계적 물성 저하에 대한 연구는 활발히 진행되었으나, 석출상과 수소의 상호작용에 의한 수소취성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 확산접합된 SS 304 강재를 전기화학적으로 수소 장입 후 다양한 온도에서 저속인장시험을 실시하여 수소취서 거동을 평가하였으며, 변형거동, 석출상, 수소와의 상호작용 분석을 통해 매커니즘을 규명하고자 한다.

[용접2-1 | 10:25]

핵융합로 구조용 저방사화강 용접부 화학성분 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구: 김경환, 강용준*, 박기태, 송상우, 이창훈(한국재료연구원)

Keywords: Reduced Activation Ferritic/Martensitic(RAFM) steel, Gas Tungsten Arc Welding, Weld metal, Tempered Martensite, Post Weld Heat Treatment

지구온난화로 인한 생태계 변화가 전 세계적으로 심각한 우려를 낳고 있으며, 이를 해결하기 위해 전세계는 탄소 배출을 줄여 탄소 중립 달성을 목표로 하고 있다. 이러한 목표를 실현하기 위해서는 화석에너지 의존도를 낮추면서도 산업계의 지속적인 전력 수요를 충족시킬 수 있는 새로운 에너지원이 필요하다. 그 대안 중 하나로 주목받고 있는 핵융합 에너지는 바닷물에서 얻을 수 있는 중수소를 연료로 사용하여 현재의 발전 방식에 비해 환경 부담이 적고, 원자력 발전과 달리 방사능 유출에 대한 위험이 없어 안전성에서도 각광받고 있다. 이러한 장점들로 인하여 핵융합 에너지 발전은 전세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 핵융합로 부품의 구조재료 후보 중 하나인 저방사화강(Reduced-Activation Ferritic/Martensitic steel, RAFM steel)은 기존의 9Cr계열 내열강에서 고방사화 원소를 저방사화 원소로 대체한 강이며, 우수한 기계적 특성 및 대량 생산성, 높은 중성자 조사 저항성을 갖는다. 저방사화강은 핵융합 반응 시 중성자의 운동에너지를 열에너지로 변환 및 중성자를 차폐하는 기능을 담당하는 블랑켓의 구조재료 후보로 고려될 뿐만 아니라, 플라즈마로부터 열과 불순물을 효과적으로 처리하여 진공 용기를 보호하는 디버터의 구리합금을 대체할 소재로도 고려되고 있다. 이들 부품의 경우, 용접 및 접합 공정이 필수적이므로 관련 연구가 활발히 수행되고 있다. 본 연구에서는 한국형 저방사화강으로 개발된 K-RAFM강의 용접부 화학성분 변화가 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 Cr, V, Ti 함량이 다른 8종의 잉곳을 제작하여 열간압연 후, 열처리(Normalizing, Tempering)를 실시하여 Autogenous GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)를 실시하였다. 용접 후 730ºC에서 60분간 용접 후열처리를 실시하였다. 광학 현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), 투과전자현미경 (TEM) 분석을 통해 화학성분에 따른 용접금속의 미세조직 및 석출물 분포 등을 분석하고, 비커스 경도, 계장화 압입과 인장 및 충격시험을 통해 기계적 특성을 평가하였다. 이를 통해 용접부 화학조성 변화에 따른 미세조직 변화와 기계적 성질 간의 상관관계를 고찰하였다.

[용접2-2 | 10:40]

빔 와블링으로 미세조직이 제어된 알루미늄/구리 이종 레이저 용접부의 피로특성 평가: 윤성민, 유채은(부산대학교), 김용(고등기술연구원), 이제인*(부산대학교)

Keywords: 레이저 와블 용접, 겹치기 용접, 이종 소재 용접, 금속간화합물, 피로

알루미늄과 구리 이종 소재를 레이저 용접할 때 취성인 금속간화합물의 형성으로 인해 용접부의 기계적 특성이 약해질 수 있다고 알려져 있다. 배터리 팩은 주행 중에 발생하는 다양한 형태의 반복 하중에 쉽게 노출되기 때문에, 배터리 팩의 내구성을 위해서는 레이저 용접부의 피로특성 확보되어야 한다. 본 연구에서는 빔 와블링이 레이저 용접부의 미세조직 및 피로특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 와블링 진폭을 0 – 0.5 mm로 달리하여 레이저 용접을 수행하였다. 피로시험은 주파수 10 Hz, 응력비 0.1 조건하에서 수행하였고, 피로시험 하중은 인장강도의 30 ~ 90 %로 설정하였다. 피로시험 결과, 빔 와블링을 적용하지 않은 용접부에 비해 와블링 진폭을 0.5 mm까지 늘렸을 때 피로수명이 수십 배 향상되었으며, 10^7 사이클을 견디는 하중 역시 높아짐을 확인하였다. 고진폭 용접을 적용했을 때, 피로특성이 향상된 이유는 하판 구리가 부분적으로 용융되면서 피로 균열이 금속간화합물이 아닌 구리 열영향부에서 전파되었기 때문이다. 이러한 결과는 용접부 내에 형성되는 금속간화합물의 양 및 분포를 제어함으로써 용접부의 피로특성을 향상시킬 수 있음을 의미하며, 다른 용접 공정 변수 역시 제어할 수 있는 가능성을 확인한 결과이다.

[용접2-3 | 10:55]

적외선 카메라 및 로젠탈 방정식을 이용한 Haynes 282 레이저 용접부의 미세조직 및 기계적 물성 분석: 양희평, 조덕현(동아대학교), 이규흔, 신선미, 김병구(한국생산기술연구원), 전종배*(동아대학교)

Keywords: Haynes 282, Laser welding, Infrared camera, Rosenthal equation, Monitoring

환경규제 강화와 CO_2 감축 의무화에 따라 화력발전의 효율을 향상시키기 위해 터빈을 구동하는 증기 온도와 압력이 각각 700°C와 35MPa 이상인 극초임계압(A-USC) 화력발전기술을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존에 사용되고 있는 페라이트계 내열강은 최고 사용온도가 620°C로 A-USC 화력발전소에는 적용할 수 없어 고온 강도와 산화 저항성이 우수한 Ni기 초내열합금Haynes282(HY282)가 적용이 고려되고 있다. HY282 합금이 A-USC 화력발전소 부품에 사용됨에 있어 용접부의 미세조직 및 기계적 물성은 중요하다. 용접부의 미세조직은 용접 시 형성되는 용융풀의 온도에 크게 의존하며, 이는 최종 기계적 물성에 직접적인 영향을 미친다. 용융풀의 온도는 용접 모니터링 기술을 통해 실시간으로 측정할 수 있다. 용접 모니터링은 용접 공정 중 발생하는 음향 방출 신호, 광학 신호, 열 신호 등을 감지하고 분석하여 이를 통해 용접 품질을 제어하고 공정을 최적화하는 것이다. 본 연구에서는 적외선 카메라를 활용하여 레이저 용접 중 용융풀 표면에서 방출되는 적외선을 통해 용융풀 표면 온도를 실시간으로 모니터링하였다. 이를 통해 용융풀 표면의 시간에 따른 열이력, 온도 구배, 냉각속도 등을 정량적으로 분석하였으며, 이러한 실험 데이터를 Rosenthal 방정식으로 계산된 이론적 온도 분포와 비교 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로, 용접부 응고 거동 해석하였다. 또한, SEM과 EBSD 분석을 통해 2차 수지상 간격, 결정립 크기 및 형상을 분석하였다. 기계적 물성은 경도 시험과 상온 인장 시험을 통해 평가하였다. 분석결과를 바탕으로 용접부 응고거동 차이에 의한 미세조직 발현 및 기계적 물성 간의 상관관계에 대해 고찰하였다.

[용접2-4 | 11:10]

Hybrid adhesive strategies for robust invar alloy to ceramic joints: Surface activation and nano-reinforced bonding for defense application: Gargi Roy, Raj Narayan Hajra(Hanbat National university), Se-Hwan Lee(Agency for Defense Development), Park-Jeong Ung(Chosun University), Jeoung Han Kim*(Hanbat National university)

Keywords: Invar–Ceramic Joints, Hybrid Adhesive, Surface Modification, Halloysite Nanoclay, Defense Applications

The development of reliable Invar alloy to ceramic joints is a critical challenge in advanced defense technologies, particularly for applications involving precision instruments, electronic packaging, cryogenic systems, and structural components in missiles, satellites, and naval platforms. The inherent mismatch in thermal expansion coefficients between Invar and ceramic materials often induces high interfacial stresses, leading to premature failure and compromised performance under operational conditions. Addressing this issue requires the design of advanced adhesive systems and surface engineering strategies to achieve durable, high-strength joints. In this study, four adhesive systems— Construction-grade cementitious adhesive, Metal-filled adhesive, Glass-frit bonding/sealing material and Oxide-ceramic adhesive (magnesia/phosphate-based)1—were systematically evaluated for their bonding performance with Invar and ceramic substrates. To enhance interfacial adhesion, Invar surfaces were subjected to acid treatment followed by hydroxyapatite deposition, whereas ceramic surfaces underwent acid treatment with or without silane functionalization. Furthermore, halloysite nanoclay (5 wt.%) was incorporated into the adhesive matrix to improve stress transfer, crack resistance, and interfacial toughness. Among the tested formulations, the optimized hybrid metal-filled adhesive achieved a maximum bond strength of 5.12 MPa, while the oxide-ceramic adhesive reached 2.4 MPa after curing at 250 °C. Both exhibited significant improvements compared with a conventional epoxy-based adhesive (e.g., Hysol EA 9394), which loses strength above 177 °C. The observed enhancement in mechanical performance is attributed to the synergistic effects of Ni powder, which mitigates thermal expansion mismatch, and halloysite nanoclay, which reinforces the adhesive network and facilitates load distribution at the interface. This study provides a comprehensive strategy for the development of robust Invar alloy to ceramic joints, combining surface modification and nano-reinforced hybrid adhesives, and highlights their potential for deployment in defense applications where high reliability, thermal stability, and structural integrity are critical.

[용접2-5 | 11:25]

단련재 및 적층제조 17-4PH 스테인리스 강의 이종 용접부에서 용접 열이력 및 모재 조건에 따른 후열처리 시 석출 거동 변화: 주하연, 김종훈(국립창원대학교), 이지원, 최용혁(두산에너빌리티 AM 개발팀), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: 17-4PH Stainless steel, Dissimilar weld Joints, Heat treatment optimization, Mechanical properties

17-4 PH (Precipitation Hardening) 스테인리스 강은 고강도, 우수한 내식성 및 경화 능력으로 인해 항공, 우주, 방산, 해양 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 해당 산업에서는 보다 더 복잡한 소재 요구가 증가하고 있으며, 일반적인 제조 방법으로는 구현하기 어려운 형상의 부품 생산이 필요한 상황이다. 최근 연구들은 이러한 문제를 해결하기 위해 적층 제조된 17-4 PH 스테인리스강의 미세구조 및 기계적 특성을 단조재와 비교하는데 중점을 두고 있다. 3D 프린팅 기술은 복잡한 형상을 정밀하게 구현할 수 있다는 장점이 있지만, 제작 가능한 부품 크기에는 한계가 존재한다. 이러한 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 L-PBF방식으로 제작된 17-4PH 스테인리스 강과 단조된 17-4 PH 스테인리스강 간의 이종 용접부 특성을 조사하고자 하였다. 본 연구에 사용된 AM재와 단조재 모재 모두 full-martensite 조직을 가지고 있으며, AM재에 비해 단조재의 결정립이 더 미세함을 확인하였다. 이러한 두 모재를 GTAW와 EBW 방식으로 용접한 후, 미세조직 및 기계적 특성 평가를 위해 SEM 분석 및 비커스 경도, 인장 평가 등을 실시하였다. 비커스 경도 측정 결과를 통해 단조재와 AM재의 열 영향부 석출 거동이 다름을 확인하였다. 이에 대한 결과로부터

변형 거동을 확인하기 위해 인장 시험을 시행하였다. 상온 인장 시험 결과 용접 열 영향부에 발생한 경도차에 의한 strain imcompatiability에 의해 가장 낮은 경도값을 나타내는 영역에서 파단이 발생함을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 AM 및 단조 17-4PH 스테인리스 강의 이종 용접 시의 석출 거동 평가와 이로 인한 strain imcompatiability를 제어하는 후열처리 방법을 제안하고자 한다.

[용접3-1 | 14:00] 조청강연

1.5GPa급 마르텐사이트강 용접금속의 기계적 특성 및 수소 취화 저항성 향상을 위한 미세조직 관점의 최적화 연구: 배규열*(포스코기술연구원), 문준오(국립창원대학교)

Keywords: 기가스틸, 마르텐사이트강, 용접금속, 미세조직, 미소물성,수소취성

1.5 GPa급 마르텐사이트강 용접금속의 기계적 특성 및 수소 취화 저항성 향상을 위한 미세조직 관점의 최적화 연구를 통해 합금 설계 가이드 라인을 제시한다

[용접3-2 | 14:25]

수소 주입 유무에 따른 API X70급 ERW 강관 용접부의 피로 저항성 평가: 백종민(국립창원대학교), 이찬희(한국과학기술원), 곽진섭, 전동현(현대스틸파이프), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: API X70, ERW, Pressure Reversal, 수소, 3중 굽힘 시험

본 연구에서는 극저온 석유 및 천연가스 수송용 전기저항용접(Electric Resistance Welded, ERW) 강관의 용접부에 대한 Sour 환경에서 수소 침투에 따른 Pressure Reversal의 감수성을 평가하고자 하였다. 용접부에 Post seam annealing을 적용하기 전에는 Bainitic ferrite와 Martensite-Austenite(M-A) 상이 bondline과 평행한 방향으로 분포하였으며, post seam annealing 이후에는 bondline과 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)에서 Polygonal한 Ferrite-pearlite와 M-A 상이 관찰되었다. 이때 파이프라인을 통해 석유나 천연가스를 수송하기 위해 지속적인 pumping pulse를 줄 때, Pressure Reversal 현상으로 인해 파이프 내부에 피로 균열이 발생할 수 있으며, 이러한 Pressure Reversal 현상은 stress cycles로 인해 실제 파괴 압력보다 낮은 압력에서 파괴가 발생하는 것이다. 이를 평가하기 위해 약간의 소성 변형이 가해지는 응력으로 20 cycles 동안 3 point bending test로 반복하중을 가한 결과, 균열이 발생하지 않아 용접부에 Pressure Reversal 현상이 발생하지 않은 것을 확인하였다. 따라서 실제 Sour 환경을 모사하기 위해 수소를 Charging한 뒤 이 3 point bending test를 하여 Pressure Reversal 민감성을 평가해보았다. 그 결과, 20 cycle 이전의 cycle에서 균열이 발생해 수소가 Pressure Reversal 현상에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다. 추가적으로 수행한 TDS 분석 결과, 확산성 수소가 용접부의 피로 저항성을 저하시키는 주요 요인임을 확인하였다.

[용접3-3 | 14:40]

316L 스테인리스 강 용접부의 델타페라이트 및 화학조성 차이에 따른 극저온 물성과 내수소취성: 남지민(부산대학교), 유재석(한화오션), 지창욱(한국기술연구원), 이승건(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)

Keywords: 수소취성, 극저온, 용접이음부, 스테인리스 강

에너지 전환이 가속화되면서 액화수소 저장기술의 중요성이 부각되고 있다. 액화수소 탱크에는 우수한 극저온 물성과 수소취화 저항성이 필수적으로 요구되며, 대형 구조물의 핵심공정인 용접부는 모재 대비 취약할 수 있어 체계적 평가가 요구된다. 오스테나이트계 스테인리스 강 (STS 316L/ 304)은 주요 후보 소재이나, 용접에 따른 미세조직 변화와 수소취화 거동의 상관성은 충분히 규명되지 않았다. 본 연구에서는 STS 316L 용접이음부에 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)과 레이저 빔 용접(LBW)을 적용하여 미세조직을 제어하고, 수소 충전 후 상온, -100ºC, -196ºC 에서 저속 인장시험을 통해 수소취화 민감도와 상온 및 극저온 변형거동을 비교하였다. GTAW 시편은 전 조건에서 용착금속 파단을 보인 반면, LBW 시편은 -196ºC에서 모재 파단이 발생해 용접부의 우수한 극저온 성능이 입증되었다. 온도에 따른 수소취화 민감도는 용접방법에 관계없이 -100ºC에서 가장 높았고, -196ºC에서는 수소취화가 확인되지 않았다. 용접 변수에 따른 수소 확산 및 취화 거동과 극저온 변형거동을 미세조직학적으로 규명하였다.

[용접3-4 | 14:55]

Fe-Zn LME를 저감하는 합금상의 역할과 합금상 형성 구동력: 정대훈, 김성준*(포항공과대학교)

Keywords: Liquid metal embrittlement, Zn coating, Steel

Zn coated steel 에서 Liquid metal embrittlement (LME)는 액체 Zn가 소지철 표면의 high angle grain boundaries 에 침투하면서 일어나게 된다. 자동차 차체 접합 공정인 Resistance spot welding (RSW)과 같은 고온, 인장 환경에서 LME가 일어나며 이 현상으로 인해 새로 개발되는 고강도강이 실제로 자동차 차체 재료로 쓰이는데 큰 이슈로 남아있다. 이 현상을 저감시키는 방법 중 하나는 액체 Zn 와 소지철 사이에 합금상을 형성시켜 둘 간의 접촉을 차단시키는 것이다. Fe-Zn system 은 다양한 Fe-Zn 합금상을 생성하며 고온인장과 동시에 형성되는 Fe-Zn 합금층은 철의 표면을 덮어주어 LME 를 저감하는 역할을 수행할 수 있다. 합금상의 핵생성 속도가 높을수록 합금상이 철 표면을 효과적으로 보호할 수 있으며 핵생성 속도는 합금상의 형성 구동력이 높을수록 증가한다. 이 연구에서는 고액계면에서 합금상 형성 구동력을 계산하여 합금상 생성속도를 정량적으로 나타내었다. 고강도강에 첨가되는 Al, Si, Mn에 대해 diffusion simulation을 통해 고액계면 조성을 구하고 계면조성에 따른 Fe3Zn10 합금상의 구동력을 나타내어 합금원소에 의한 LME 민감도를 설명한다. 모재에 첨가되는 원소효과 뿐만 아니라 Zn 코팅층에 Al 과 Si 이 첨가되었을 때 형성되는 다양한 Al-Fe, Al-Fe-Si 합금상들에 대한 구동력 분석을 통해 Al-Zn-Si 코팅층의 강한 LME 저항성도 이번 발표에서 소개한다.

[용접3-5 | 15:10]

고주파 유도가열을 이용한 용접 변형 소재의 곡직 및 열변형 영향 분석: 김병주*, 김성민, 송창섭, 이희근*(중소조선연구원)

Keywords: 곡직, 탄소강, 용접변형, 유도가열

선체 조립에 있어 용접열에 의해 뒤틀린 강판의 곡직(straightening)과 이중 곡면 형상으로의 선체 굽힘(deforming)은 조선업에서 필수적인 공정이며, 동시에 제작 일정을 지연시키고 치수 정확도를 저해하는 주요 병목 요인으로 작용함. 조선업에서는 주로 선상 가열(line heating) 공정을 통해 선체 강판을 굽히며, 이 공정은 숙련된 기술자가 화염열원(가스토치)을 사용하여 두께 방향으로 불균일한 온도 분포를 생성하는 방식으로 진행됨. 그러나 이러한 수작업 방식은 숙련된 작업자의 경험에 의존하기 때문에 공정의 재현성과 효율성이 낮으며, 다량의 CO_2 배출과 소음 등의 환경 문제를 유발함. 환경 규제의 강화에 따라, 전자기 유도와 같은 친환경적인 가열 공정이 주목받고 있음. 유도 가열을 이용한 선체 판의 온도변화가 소재의 변형에 미치는 연구는 주로 열탄소성 해석 및 유한요소 해석을 기반으로 진행되었음. 이러한 수치 해석 모델의 경우, 표피 효과(skin effect)에 따른 열전도 현상을 반영하여 실제와 유사한 결과를 예측할 수 있음. 그러나, 고온에서 발생하는 강재의 재료 변성(재결정 및 상변태)은 해석적으로 예측이 어렵기 때문에, 재료 변성이 발생하지 않는 상대적으로 낮은 온도에서의 열변형 효과가 주로 보고됨. 열에 의한 변형은 비가열부와의 온도 차이가 클수록 더욱 크게 발생하므로, 상대적으로 좁은 영역을 높은 온도로 가열할 수 있는 유도 가열에 의한 열변형 데이터는 선박 건조 시간 단축과 효율성 향상에 활용될 수 있음. 따라서 본 연구에서는 선형 가열(line heating)에 따른 강재의 변형률을 실험적으로 분석하고, 효과적이고 이동 가능한 장비 설계를 위해 최대 25 kW의 출력에서 열변형을 효과적으로 유도할 수 있는 소형(직경 2 cm 수준) 코일 형상을 제안함. 또한, 입열량(출력 및 가열속도 변화)변화에 따른 강재의 변형률을 분석하고, 고온에서의 재료변형 특성을 평가하여 최적의 유도 가열 조건을 도출하고자 함.

가공-소성가공
Room 3층 304, 10월 30일

[소성1-1 | 15:40]
고온 글리블 압축시험을 통한 Cu-Ti 합금의 압축 유동 응력 거동 및 프로세싱 맵 분석: 최광수, 공만식*, 양현석, 정항철(고등기술연구원)
Keywords: Cu-Ti합금, 글리블 시험, 유동 응력 거동, 프로세싱 맵

본 연구에서는 전자기용 커넥터 부품 소재로 적용되는 고강도 석출 강화형 Cu-Ti 합금 박판 제조 공정중 잉곳 단계에서의 단조 및 압연 공정 조건 설정에 필요한 고온 압축 유동 거동과 프로세싱 맵 특성을 분석하였다. Cu-Ti 합금은 진공 유도 용해 공정을 통해 100 kg급 잉곳으로 제조하였으며, 위치별 조성 분석을 통해 내부 건전성을 확인하였다. 균질화 처리로 단일 Cu상을 형성한 잉곳에 대해, 700-900 ℃ 온도 범위와 0.01-10 s^{-1}변형속도 조건에서 고온 글리블 압축 시험을 수행하였다. 시험 결과를 기반으로 공정 조건에 따른 유동 응력 곡선을 비교하여 하이퍼볼릭 사인 형태의 구성 방정식을 도출하였으며, 이를 통해 합금의 고온 변형 거동을 정량적으로 규명하였다. 또한, 변형 불안정 영역을 고려한 프로세싱 맵을 작성하고, 변형 안정성 및 가공 적합 영역을 제시하였다. 본 연구 결과는 Cu-Ti 합금의 고온 압축 변형 메커니즘을 이해하고 산업 현장에서 장비 하중 한계에 따른 최적의 가공 조건을 설정하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[소성1-2 | 15:55]
A Study of the Strain Path Dependency of Non-Heat Treatment Fe-Cr-Mn Steel for Cold Heading Quality Wire Rod: Jong Hyeok Lee(Inha Manufacturing Innovation School), Jae Han Lim(Inha Univ.,Hyundai Steel R&D Center), Moon Won Park(Inha Manufacturing Innovation School), Kyu Ho Lee(Hyundai Steel R&D Center), Byoung Lok Jang*(Inha Manufacturing Innovation School)
Keywords: non-heat treatment, strain path, tension, compression

This study focuses on the development of non-heat treatment wire rods for cold forging by eliminating conventional spheroidizing and quenching-tempering processes. Since the material undergoes a plastic deformation sequence of drawing followed by forging, securing cold forgeability is essential. To this end, the work hardening effects according to cross-sectional reduction during drawing were analyzed through optical microscopy observations and Vickers hardness measurements, and the strain path dependency was evaluated by performing tensile and compressive tests on each drawn steel. It was found that during deformation in the opposite direction to the drawing process, such as drawing followed by compression, mobile and reversible dislocations meet dislocations of opposite sign and annihilate, thereby facilitating plastic deformation. This dislocation annihilation predominantly occurs within ferrite grains, where obstacles to dislocation motion such as cementite, low-angle grain boundaries and high-angle grain boundaries are relatively limited.

[소성1-3 | 16:10]
냉간 신선 중 온도 상승이 펄라이트 강선 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향: 이승희, 박형준, 이진우, 박주현(동아대학교), 정진영(고려제강), 강신곤*(동아대학교)
Keywords: 강선, 냉간 신선, 발열, 펄라이트, 시멘타이트

강선(steel wire)은 타이어 코드, 현수교 케이블 등 극한 하중 환경에서 사용되며, 약 4 GPa 수준의 우수한 인장강도가 요구된다. 이를 달성하기 위해 고탄소 조성으로 완전한 펄라이트 조직을 형성한 뒤, 열간 압연(rolling), patenting 열처리, 다단 냉간 신선(cold drawing) 공정을 거쳐 가공경화를 유도한다. 이 과정에서 펄라이트 층상 간격(interlamellar spacing)이 수십 nm 수준으로 미세화되고, 결정질 시멘타이트가 전반적으로 비정질화(amorphization)된다. 그러나 다단 신선 시 누적 변형에너지와 다이–선재 간 마찰로 인한 발열로 다이 출구 온도가 약 180–220 °C까지 상승하며, 이로 인해 비정질 시멘타이트의 국부 나노결정화(nano-crystallization)가 촉진된다. 나노결정화된 시멘타이트는 전위 이동을 저해해 국부 강도를 향상시키지만, 응력 집중원으로 작용하여 비틀림 파단을 유발하고 미세조직 및 물성의 위치별 편차를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 국부 온도 상승이 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하고자, Fe–0.92C–0.5Si–0.3Mn–0.2Cr(wt.%) 조성을 갖는 신선 전 초기 선재, 신선 강선, 신선 중 열 영향을 모사한 150 °C 후열처리 강선을 비교 분석하였다. 미세조직 분석 결과, 초기 선재는 무작위 배열의 펄라이트와 결정성 시멘타이트를 보였으나, 신선 강선에서는 재정렬과 비정질화가 관찰되었고, 열처리 강선에서는 국부적인 나노결정화가 확인되었다. XRD 분석은 신선 과정에서 시멘타이트의 결정성이 약화되고, 열처리 후 부분적으로 회복되는 경향을 보여주었다. 기계적 시험에서는 열처리 강선이 가장 높은 인장강도를 나타냈으나, 동시에 비틀림 특성은 저하되어 취성화 경향이 확인되었다.

[소성1-4 | 16:25]
수소이송용 저비용 고강도 중엔트로피합금 튜브의 가공성 개선 및 수소취성 연구: 이재호(한국재료연구원,부산대학교), 김영균(한국재료연구원), 강남현(부산대학교), 나영상*(한국재료연구원)
Keywords: Medium-entropy alloy, Seamless tube, Hydrogen embrittlement, Drawing, Microstructure, Mechanical properties

본 연구는 수소 연료전지 자동차 연료 탱크 배관에 적용 가능한 저비용·고강도 내수소취화 특성을 갖춘 중엔트로피 합금을 기반으

로, Seamless 튜브의 가공 공정 최적화 및 신뢰성 평가를 목적으로 수행되었다. 설계된 철계 중엔트로피 합금을 기반으로 인발 및 연속 열처리 공정을 통해 Seamless 튜브를 생산하고, 그에 따른 기계적 물성 및 내수소취화 저항성을 확인하였다. 확인 결과, 5 ppm 수준의 수소 농도에서 725 MPa의 최대 인장강도와 수소취성지수(Hydrogen Embrittlement Index, HEI) 96% 이상의 우수한 내수소취화 특성을 나타내었다. 또한 인발 공정 중 FCC 단상을 유지하고, 쌍정 유기 소성(Twin-Induced Plasticity, TWIP)을 통해 우수한 가공성을 나타냈다. 이러한 결과를 바탕으로, 철계 중엔트로피 합금의 가공 공정을 활용한 수소 환경 적합 구조 부품 개발 가능성을 제시한다.

[소성1-5 | 16:40]

금속-폴리머-금속 적층판재의 Deep Drawing 성형 거동 해석: Fracture and Wrinkling: 김재훈, 최연택, 김래언, 구강희, 권지혜(포항공과대학교), 서민홍(포스코), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: Metal-polymer-metal laminates, Deep drawing test, Ductile fracture, Wrinkling, Finite element method

금속-폴리머-금속(Metal-Polymer-Metal, MPM) 판재는 높은 비강도와 우수한 굽힘 강성을 바탕으로 경량화가 요구되는 항공, 자동차, 선박 산업에서 주목받고 있다. 그러나 성형 과정에서 다양한 파손 모드가 발생하여 산업적 적용이 제한되고 있으며, 이를 정밀하게 예측하고 방지하는 것이 중요한 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 deep drawing 공정을 대상으로 실험과 유한요소해석을 병행하여 MPM 판재의 성형 거동을 분석하였다. 파단과 이어링 거동은 폴리머 코어의 기계적 기여가 상대적으로 작다는 점을 고려하여 금속 층만 대상으로 Hill 1948 이방성 항복 모델과 modified Hosford–Coulomb 파단 모델을 적용하였다. 그 결과, 폴리머를 고려하지 않은 해석임에도 실험 결과와 잘 부합하였으며, 이는 파단 및 이어링 거동에 금속 커버층의 영향이 지배적임을 시사한다. 한편, 주름 거동을 실험과 post-buckling 해석을 통해 평가한 결과, 단일재(monolithic) 금속 판재와 달리 일반적인 주름 이외에 표면 주름(surface wrinkling)이 관찰되었다. 특이하게도, 이는 폴리머 코어의 영률에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 적층판 전체의 전반적인 기계적 특성에는 거의 영향을 미치지 않았다. 본 연구는 MPM 판재의 성형 과정에서 주요 파손 및 주름 거동의 지배 요인을 규명하고, 이를 예측할 수 있는 해석 접근법을 제시한다.

철강B-압연, 강종개발, 후처리
Room 3층 305/6, 10월 30일

[철강B1-1 | 09:00]
저탄소 초고강도 마르텐사이트 강의 강화기구 분석: 석출 거동에 따른 고용 탄소의 역할 규명: 손성하(포항공과대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 노이준, 김세호(고려대학교), 서동우(포항공과대학교)
Keywords: 강화기구, 초고강도 마르텐사이트 강, 퀜칭 후 템퍼링, 항복강도, 고용 탄소
퀜칭 후 템퍼링한 마르텐사이트 강은 우수한 강도 및 인성을 갖추고 있어 항공, 자동차, 에너지, 방위 산업 등 다양한 공학 분야에서 널리 활용되고 있다. 저탄소 초고강도 마르텐사이트 강의 항복강도는 고용강화, 입계강화, 전위강화, 석출강화의 네 가지 주요 강화기구의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 각 강화기구는 개별적으로 연구되어 왔으나, 미세조직학적 인자들 간의 상호작용으로 인해 이들의 기여도를 정량적으로 평가하는 것은 여전히 복잡하고 어려운 과제이다. 예를 들어, 탄화물의 석출 거동은 석출강화뿐만 아니라 마르텐사이트 기지 내 합금원소의 함량에도 영향을 미쳐 고용강화와 밀접한 관련이 있다. 이에 본 연구에서는 저탄소 초고강도 마르텐사이트 강의 주요 강화기구와 템퍼링 온도에 따른 항복강도의 차이를 규명하고자 다양한 미세조직 분석 기법을 활용하여 강화기구를 정량적으로 분석하였다. 템퍼링 온도 변화에 따라 입계강화효과는 거의 변하지 않았으나, 전위강화와 고용강화는 회복 속도와 고용 탄소량 변화에 의해 유의미한 차이를 나타내었다. 석출강화는 직접적 강화효과에 큰 기여를 하지는 않았지만, 탄화물 석출 거동에 따라 고용 탄소 함량이 변화하여 결과적으로 고용강화에 상당한 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 고용 탄소에 대한 고용강화효과를 고려해야 초고강도 마르텐사이트 강의 항복강도를 보다 정량적으로 평가할 수 있음을 의미한다.

[철강B1-2 | 09:15]
3Mn Q&P강의 퀜칭 온도에 따른 기계적물성과 변형거동 분석: 김규헌, 임용수(한양대학교), 김지훈(부산대학교), 김진경*(한양대학교)
Keywords: 중망간강, Q&P, TRIP, 변형거동
망간 함유량이 3~12wt%인 중망간강(Medium Mn steel)은 3세대 고강도강으로, 우수한 강도와 연성을 갖추고 있어 활발한 연구가 진행되고 있다. Quenching and partitioning (Q&P) 공정은 열처리 후 형성되는 복합상을 조절하여 재료의 기계적 물성을 향상시키는 데 목적이 있다. 본 연구는 Q&P 공정을 적용한 중망간강에 대해 오스테나이트화 열처리 후 각기 다른 퀜칭 온도에 따른 미세조직을 바탕으로 기계적 물성과 변형거동의 상관관계를 조사하였다. Fe-3Mn-0.2C-1Al(wt%) 강을 균질화한 후 열간 압연과 냉간 압연을 진행하고 Q&P 공정을 수행하였다. 860ºC에서 5분간 오스테나이트화 열처리된 재료를 딜라토미터로 측정한 마르텐사이트 개시 온도(Ms)를 바탕으로 선정한 여러 온도 조건에서 30초간 퀜칭한 후, 460ºC에서 3분 동안 파티셔닝 및 수냉을 수행하였다. Q&P 공정 후 미세조직은 잔류 오스테나이트, 마르텐사이트, 베이나이트와 소량의 페라이트로 구성되었으며, 마르텐사이트 내에는 다량의 카바이드가 관찰되었다. 각 상의 분율은 퀜칭 온도가 증가할수록 마르텐사이트 상의 분율은 감소하고 베이나이트상과 잔류 오스테나이트상의 분율은 증가하였다. 탄소 파티셔닝과 베이나이트로의 상변태, 그리고 lath 형태의 잔류 오스테나이트가 오스테나이트 안정도 향상에 영향을 미쳤고, 이에 따라 기계적 물성의 차이가 나타났다. KAM분석과 나노인덴테이션 실험을 진행하여 초기조직과 변형조직을 분석하였고, 이를 통해 오스테나이트의 TRIP효과와 BCC상의 변형수용 정도를 파악하였다. 이와 같은 내용을 바탕으로 퀜칭온도에 따라 어떠한 요인이 기계적 물성에 영향을 미치는지에 대한 원인을 규명하였다.

[철강B1-3 | 09:30] 철강장학생 초청강연
마르텐사이트 기지와 정합성에 따른 바나듐 탄화물의 수소 탈착 활성화 에너지: 이진영(연세대학교), 김민정(현대제철), 정현빈(한화파워시스템), 조원희, 설재복(국민대학교), 김창훈, 이동화(포항공과대학교), 이영국*(연세대학교)
Keywords: 철강, 마르텐사이트강, 수소취성, 바나듐 탄화물
마르텐사이트계 고강도강은 우수한 강도를 지니지만 수소취성 저항성이 낮아 구조 재료로의 적용에 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 비확산성(non-diffusible) 수소 트랩 역할을 하는 바나듐 탄화물(V carbides)을 형성시키는 방법이 주목받아 왔다. 그러나 마르텐사이트계 중망간강에서 반정합(semi-coherent) 및 비정합(incoherent) 바나듐 탄화물의 수소 탈착 활성화에너지(E_H)를 체계적으로 분석한 연구는 거의 보고되지 않았다. 본 연구에서는 바나듐 첨가에 의해 형성된 V_4C_3 탄화물의 정합성 차이에 따른 E_H 특성과 수소취성 저항성을 규명하였다. 바나듐 첨가강에는 평균 C/V 원자비가 0.6인 구형 V_4C_3 탄화물이 다수 형성되었으며, 입자 크기에 따라 계면 특성이 구분되었다. 직경 30 nm 이하의 탄화물은 격자 불일치율 0.07을 가지는 반정합 계면을 형성하고 Baker–Nutting 방위 관계를 따랐으며, 30 nm를 초과하는 조대한 탄화물은 비정합 계면을 나타냈다. 열탈착분석(TDA)과 밀도 함수 이론 계산(DFT)을 통해 네 가지 뚜렷한 수소 탈착 Peak가 확인되었다. Peak 1 (75 °C)은 정합 계면 및 기타 가역적 트랩, Peak 2 (100 °C, E_H = 46.4 kJ/mol)는 반정합 계면 주변 탄성장, Peak 3 (520 °C, E_H = 67.7 kJ/mol)는 비정합 계면 주변 탄성장, Peak 4 (631 °C, E_H = 124.3 kJ/mol)는 탄화물 내부 C 공공에 기인하였다. Oriani 평형이론을 구형 입자 모델에 적용한 계산 결과, 비정합 탄화물의 수소 포획량은 반정합 탄화물 대비 약 2.2배 높았으며, 이는 TDA 분석에서 Peak 3의 수소 함량이 Peak 2 대비 약 2.3배 높은 결과와 잘 일치하였다. 기계적 거동 평가에서는 바나듐 첨가강이 연성 파단 양상을 보인 반면, 바나듐 미첨가강은 취성 파단을 나타냈다. 이를 통해 V_4C_3 탄화물이 효과적인 비확산성 수소 트랩으로 작용하여 마르텐사이트계 중망간강의 수소취성 저항성을 크게 향상시킴을 확인하였다.

[철강B1-4 | 09:45]

레이저 커팅이 1.5 GPa 급 Q&P강의 수소취성에 미치는 영향성: 김형준*(연세대학교.)

Keywords: Q&P 강, 수소취성, 불규칙 노치, 열영향부

본 연구는 1.5 GPa급 Q&P 강에서 레이저 커팅이 수소취성에 미치는 영향을 조사한다. 레이저 커팅은 고온에서 진행되는 공정으로, 절단면에서 급속한 용융과 고화가 발생한다. 이 과정에서 Q&P 강에 존재하던 잔류 오스테나이트가 소멸하고 fresh martensite가 형성되며, 이러한 미세조직 변화는 수소 트랩 사이트를 증가시켜 재료를 수소취성에 더욱 취약하게 만든다. 또한, 본 연구에서는 용융·고화 과정에서 절단면에 불규칙한 노치가 다수 형성되는 것을 관찰하며, 이러한 노치 또한 수소취성을 크게 악화시키는 것으로 확인한다. 이에 따라, 본 연구에서는 레이저 커팅으로 인해 절단면에 형성되는 미세조직적 변화와 기하학적 결함이 수소취성 거동에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

[철강B1-5 | 10:00]

S355NL 강의 열간 변형 거동 예측을 위한 구성방정식 매개변수 최적화: 이정훈, 유진영, 천세호, 이성호, 박동준(부산대학교), 이진모, 이채훈((주) 태웅), 이태경*(부산대학교)

Keywords: 구성방정식, S355NL, 유동응력곡선

S355NL 강은 높은 강도 및 저온 충격 인성을 가져 교량 및 해양 구조물 등에 많이 사용되며, 열간 가공 공정을 최적화하면 소재의 신뢰성을 높일 수 있다. 가공 공정을 최적화하는 과정에서는 많은 양의 데이터가 요구되며, 이를 극복하기 위해 구성방정식 기반 인공지능 등을 활용한 많은 연구가 진행되고 있다. 이를 활용하기 위해서는 머신러닝 모델에 활용되는 신뢰성 있는 파라미터 값을 사용해야 하고, 이는 구성방정식 파라미터 값의 최적화를 통해 달성이 가능하다. 본 연구에서는 Arrhenius식 기반 Zener-hollomon구성방정식에 사용되는 매개변수의 최적화를 통해 S355NL 강의 고온 압축 거동을 정밀하게 예측하였다. 900-1300 °C 온도 범위와 0.001-10 s^{-1} 변형률 속도에서 진행된 고온 압축시험 결과를 선형 회귀를 통하여 구성방정식에서 사용되는 매개변수인 α, n, Q, ln A 를 도출하였다. 4가지 매개변수에 대해 $1 \leq n \leq 10$ 조건에서 $0.001 \leq \varepsilon \leq 0.01$ 범위로 그리드 탐색을 진행하여 n차 다항회귀 분석을 진행하였으며 이를 통해 각 고온 압축 시험 조건에서의 최적 구성방정식 매개변수 값을 도출할 수 있었다. 실제로 0.001 변형률 간격으로 2차 다항 회귀 시 14.37의 MAPE(Mean absolute percentage error) 값을 얻을 수 있었으며, 이는 최악의 조건인 0.005 변형률 간격의 5차 다항 회귀보다 약 30%p의 낮은 오차율을 보여주었다. 이를 통하여 도출된 α, n, Q, ln A 다항식은 유한요소 해석 값으로 적용이 가능하며, 데이터를 반영하여 Physics-informed Neural Network 모델의 초기 파라미터로 활용이 가능하다. 따라서 본 방법론은 S355NL 열간 가공 공정의 디지털 트윈 및 공정 예측 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[철강B1-6 | 10:15]

The Evolution and Current Status of Hot Stamping at Hyundai Motor Group: Lee Chang Wook*(현대자동차)

Keywords: Hot stamping, Hydrogen Embrittlement, Resistance Spot Welding, Coating, Microstructure

Hot stamping is a highly effective manufacturing method for producing strong automotive components while minimizing springback. Consequently, many car manufacturers are expanding their use of this process. Since introducing hot stamping with the YF Sonata in 2009, Hyundai Motor Group has also been increasing its use of hot-stamped parts and advancing related technologies. Ongoing research focuses on several areas, including enhancing the strength of base materials, developing coatings, increasing bendability and weldability, and addressing hydrogen embrittlement. Additionally, studies on part-specific technologies like differential cooling and heating, Tailor Welded Blanks, and Tail Rolled Blanks are actively progressing. As vehicles become more electrified, the use of hot stamping parts is expected to grow. Hyundai Motor Group aims to continue developing technologies across these various domains.

[철강B2-1 | 10:30]

Mn이 불균일한 저탄소 마르텐사이트/베이나이트강의 미세조직 분석: 김지훈*(부산대학교)

Keywords: 마르텐사이트/베이나이트, 화학적 불균일, 철강

금속재료의 기계적 특성을 향상시키는 효과적인 방법 중 하나는 결정립 미세화임. 마르텐사이트/베이나이트강에서는 모재 오스테나이트 결정립(Prior Austenite Grain, PAG) 크기를 줄이는 것이 가장 널리 활용되는 결정립 미세화법이며, 이는 모재 오스테나이트 결정립 계면 (Prior Austenite Grain Boundary, PAGB)이 마르텐사이트/베이나이트 성장을 억제하는 장벽으로 작용하기 때문임. 반복적인 오스테나이트화와 급냉을 포함하는 사이클 열처리를 통해 PAG 크기를 약 5–10 μm 수준까지 줄일 수 있었음. 그러나 고강도 강재의 수요가 증가함에 따라 기존 방법으로 얻을 수 있는 한계보다 더 미세한 조직이 요구되고 있으며, 이를 위한 새로운 결정립 미세화법이 필요함. 최근에는 화학적 불균질성을 활용한 강재가 새로운 미세조직 설계 방법으로 주목받고 있음. 이러한 강재는 초기조성이 불균일하게 분포되어 있는데, 이로 인해 결정 방향은 동일하지만 조성이 불연속적으로 변하는 화학적 경계(Chemical Boundary, CB)가 형성됨. 이러한 화학적 불균질성은 국소적으로 상변태 구동력의 차이를 유도하여 CB가 결정립계와 유사한 역할을 하게됨. 또한, 이상영역 열처리 (intercritical annealing)을 통해 화학적 불균질성을 서브마이크로미터 수준으로 미세화할 수 있어 기존 방법보다 효과적으로 결정립을 미세화할 수 있는 가능성이 제시됨. 본 연구는 마르텐사이트강에서 화학적 경계를 활용한 결정립 미세화의 가능성을 탐구하고자함. 본 연구에서는 Fe-0.1C-4.0Mn(mass%) 강을 대상으로 균질 및 불균질 Mn 분포를 갖는 미세조직을 비교하였음. 균질 마르텐사이트/베이나이트강은 850–1000°C에서 1분간 오스테나이트화 후 50–12.5°C/s의 냉각속도로 냉각하였음. 반면 불균질 시편은 635°C에서 24시간 예비 어닐링(이상영역 열처리)을 거쳐 동일한 열처리를 적용하여 마르텐사이트/베이나이트 미세조직을 얻었음. 그 결과, 화학적 불균질성 도입이 마르텐사이트/베이나이트 결정립 미세화에 효과적임이 확인되었음. 특히 낮은 오

스테나이트화 온도와 느린 냉각속도 조건에서 그 효과가 두드러졌으며, 이는 Mn 및 C 농축 영역에서의 낮은 변태 온도가 추가적인 변태 변형 수용을 위한 다양한 마르텐사이트/베이나이트 베리언트의 형성을 촉진했기 때문으로 해석됨.

[철강B2-2 | 10:45]

크리프 및 미세구조적 관점의 차세대 원자로용 9Cr 페라이트 마르텐사이트 강에서 붕소와 질소의 역할: 김동하(연세대학교,한국원자력연구원), 오정목*, 여승환, 김준환(한국원자력연구원), 이영국(연세대학교)

Keywords: 9Cr, Ferritic/Martensiti steel (FMS), creep mechanism

차세대 원자로용 피복관은 가동원자로 대비 높은 온도 및 고속중성자 환경에 노출되므로 기존 소재 대비 우수한 내극한 특성이 필수적이다. 9Cr-2W 기반의 페라이트/마르텐사이트 강은 고온 및 고속중성자 환경에서의 우수한 크리프 및 팽윤 저항성으로 인해 유력한 차세대 원자로용 피복관 소재이다. 본 연구에서는 이러한 배경으로 새롭게 개발된 2종의 FC92B (B첨가)와 FC92N (N첨가) 강의 고온 크리프 거동과 미세조직 변화를 체계적으로 분석하였다. 피복관의 사용환경을 고려하여 기존의 1축 인장 형태의 시험이 아닌 튜브 형태의 2축 내압 시험을 통해 크리프 물성을 평가하였다. 최대 20,000시간의 크리프 시험의 과정에서 시험편 채취를 수행하여 크리프 과정을 면밀히 고찰하였다. 이러한 고찰에는 FE-SEM을 이용한 ECCI, EBSD 분석, 그리고 TEM 분석을 통해 미세조직과 기계적 물성의 연계성 규명이 포함되었다. B첨가는 결정립계 안정화 및 $M_{23}C_6$ 탄화물 조대화 억제를 통해 장기 강도 유지에 기여했으며, N 첨가는 미세한 MX 석출물 형성으로 초기 강도를 향상시켰으나 장시간 크리프에서는 석출물 성장 및 전위 회복으로 인한 성능 저하가 관찰되었다. 본 연구를 통해 크리프 강회기구에 미치는 B와 N의 상반된 역할을 체계적으로 고찰함으로써, 차세대 원자로용 페라이트/마르텐사이트 강의 합리적 설계 지침을 제시할 것으로 기대된다.

[철강B2-3 | 11:00]

The effect of Co and Mo on creep behavior of 10Cr heat-resisant steel: 박봉천(한국재료연구원,부산대학교), 석우영(한국재료연구원), 김성대(부경대학교), 박이호, 장재훈*(한국재료연구원), 강남현*(부산대학교)

Keywords: 내열강, Creep, TEM, 석출물

9-12 wt.% Cr 첨가 페라이트/마텐사이트계 내열강은 우수한 내산화성, 높은 열전도도, 낮은 열팽창계수 그리고 뛰어난 크립 강도로 복합화력발전의 스팀 터빈 소재로 주로 사용되고 있다. 이러한 스팀 터빈의 발전 효율을 향상시키기 위해 더 높은 온도와 압력 조건에서 사용되기 위한 소재의 개발이 요구된다. 따라서 화학 조성 및 제조 공정의 최적화를 통해 해당 강종의 안정적인 미세조직을 확보하는 연구가 필요하다. Co는 대표적인 오스테나이트 안정화 원소이며, 탄화물의 성장 거동에 주로 영향을 미친다. 또한Co가 첨가된 합금은 미세조직의 변형을 지연시켜 안정적인 미세조직을 유지할 수 있게 한다. 그러나 Co의 첨가는 높은 비용으로 인해 적정량으로 일정 수준으로 제한된다. Mo은 주로 고용 강화 및 석출 강화를 통해 고온 크립 강도를 향상시킨다. 주로 Laves 상을 형성하여 크립 초기 미세조직의 안정화에 기여한다. 그러나, Laves상은 크립 과정 중 빠르게 조대화가 일어나며, 이로 인해 크립 과정에서 공공의 형성을 유도한다. 이에 크립 저항성을 높이기 위해 Laves 상의 조대화 현상을 억제하기 위한 합금 설계가 필요하다. 본 연구에서는 630°C급으로 개발된 10.2Cr-Mo-W-V-Co-C-Nb을 기준으로 Co 와 Mo 함량을 달리한 합금을 제조하여 크립 시험을 진행하였다. 크립 이후 시편 분석을 통해Co 와 Mo 의 첨가가 오스테나이트 결정립 크기 및 마르텐사이트 미세구조에 영향을 미친 것으로 확인하였다. 이러한 미세조직 차이는 크립 수명에 영향을 미치고, 두 합금의 석출물 분포 및 전위 구조 차이로부터 크립 수명과의 연관성을 도출하였다.

[철강B2-4 | 11:15]

노치 곡률 및 변형률 속도에 따른 오스테나이트계 스테인리스강과 고망간강의 수소취성 변화: 신승혁, 정민섭, 백관우(서울과학기술대학교), 이준엽, 이승건(한국재료연구원), 황병철*(서울과학기술대학교)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Austenitic stainless steels, High-manganese steels, Electrochemical hydrogen charging, Notch tensile behavior

FCC (face-centered cubic) 구조의 오스테나이트 단상 조직을 갖는 오스테나이트계 스테인리스강과 고망간강은 낮은 수소 확산 계수와 높은 수소 용해도로 인해 우수한 수소취성 저항성을 보인다. 그러나 이 강재들은 오스테나이트 안정도에 따라 발생하는 마르텐사이트 변태나 변형 쌍정 등과 같은 미세조직 변화가 수소취성을 촉진할 수 있다. 이러한 변형 미세조직과 수소의 상호작용은 노치와 같은 기하학적 불균일성에 의한 국부적 응력 집중, 그리고 변형률 속도 변화에 따라 달라지는 수소 확산 시간에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다. 따라서 수소 환경에서 이러한 조건들이 미세조직과 파괴 거동에 미치는 영향을 포괄적으로 이해할 필요가 있다. 그러나 수소 환경 하에서 응력 상태와 변형 조건을 함께 고려하여 오스테나이트계 강재들의 수소취성 거동을 체계적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다. 이에 본 연구에서는 다양한 응력 집중 및 변형률 속도 조건에서 두 오스테나이트계 스테인리스강(304L 및 316L)과 고망간강의 수소취성을 비교하고자 하였다. 이를 위해 노치 시편을 활용하여 전기화학적 수소 주입과 동시에 저속변형률 시험을 수행하였으며, 노치 곡률과 크로스헤드 속도를 변화시켜 각 조건에서의 노치 인장 거동 및 파괴 양상을 비교하였다. 또한 변형 미세조직과 수소 간 상호작용을 규명함으로써 강재별 수소취성 거동 차이를 체계적으로 규명하고자 하였다.

철강B2-5 | 11:30]

Effects of Homogenization on Cu-rich Nanoprecipitation Behavior in 17-4PH Stainless Steel Fabricated via Directed Energy Deposition: Park Yejun*(KAIST), Subin Lee(Karlsruhe Institute of Technology), Pyuck-Pa Choi(KAIST)

Keywords: Homogenization, stainless steel, directed energy deposition, atom probe tomography

17-4PH stainless steel, known for its excellent balance of strength, ductility, and corrosion resistance, is widely used in the automotive, aerospace, and marine industries. Its microstructure typically includes martensite, precipitates, and retained austenite. During aging, Cu-rich nanoprecipitates (CRPs) form within martensite, providing significant strengthening. This study investigates 17-4PH stainless steel produced by directed energy deposition (DED), with a particular focus on how homogenization heat treatment affects CRPs' behavior and the resulting mechanical properties. CRPs were quantitatively analyzed using atom probe tomography, and the strength of the martensitic phase was independently measured using nano-indentation. Results revealed that, after homogenization, the lattice distortion energy and low-angle grain boundary density in martensite decreased, leading to finer and more numerous CRPs during subsequent aging compared with the directly aged sample from the as-built condition. This microstructural state resulted in higher CRP-induced strengthening of the martensitic phase, as confirmed by nano-indentation.

[철강B2-6 | 11:45]

Development of TRIP-maraging steel through tailored segregation engineering and metastable phase separation: 예정원, 김민석, 박은수*(서울대학교)

Keywords: Maraging steels, nano precipitation, Grain boundary segregation engineering, Austenite reversion, BCC decomposition, Miscibility gap, J-based fracture test

마레이징 강(Maraging steel)은 로켓 엔진 케이스, 잠수함 선체 및 극저온 미사일과 같은 중요한 응용 분야에서 중요한 부품으로 사용되는 중요한 소재이다. 그러나 고강도가 요구되는 환경에서 주로 사용되는 마레이징 강은 강도-연신 trade-off를 극복하지 못하며 취성 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 Intragranular complex compound 석출에 의해 초고강도 특성을 가지는 Martensite 기지를 갖는 합금에Segregation engineering을 통하여 complexion 석출제어를 통한 마레이징 CCA의 고인성화를 달성하고자 한다. 이때, intergranular에서의 segregation 되는 원소를 찾기 위해, base system에 포함되는 elements(: Fe, Ni) 및 석출 강화 효과를 위해 첨가되는 elements(: Co, Mo)와 segregation enthalpy가 양의 관계를 갖는 element를 찾고자 하였다. 결과적으로 Mn 원소가 첨가되는 다른 원소에 대해 양의 segregation enthalpy를 갖는 것을 확인하였다. 또한 Mn 원소는 Fe 기반 합금에 첨가되었을 때 FCC 상의 안정성을 크게 증가시킨다고 알려져 있어Mn원소를 segregation engineering의 최적 원소로 선정하였다. 이 합금 설계 전략을 통해 intergranular에 FCC 오스테나이트(Y) 상이 석출된 합금을 설계할 수 있었다. 그러나 연성 FCC Y 상이 석출에 의해 발상하는 강도-연신 trade-off를 극복하기 위해, 열역학적 계산을 통해 석출된 FCC Y 상의 안정성이 낮은 합금을 선정함에 따라 변형 중 마르텐사이트 변태가 발생하는 변형 기구 (TRIP)를 갖는 합금을 설계하였다. 추가적으로 pseudo ternary에서 miscibility gap에 의한 BCC decomposition으로 인해 석출되는 α-Mn상의 석출 가능 열처리 조건을 최적화하여 약 1GPa 정도의 우수한 강도를 갖는 합금을 선정하였다. 또한 상기 전략에 따라 설계된 TRIP 마레이징 강의 J-based 균열 저항 곡선 및 비선형 탄성 파괴 역학 분석 방법을 통해 균열 성장 과정에서 elastic 및 plastic 기여에 대해 고찰하였다.

[AW-5 | 14:00] 현대제철학술상 수상기념강연

High-Temperature Observational Research in Steelmaking - Focusing on Refractory Reactions: 정용석(한국공학대학교)

2050 탄소중립 달성은 철강산업의 가장 중요한 과제가 되고 있으며, 이를 위해 수소환원 기반 제선공정(HyREX 등)과 더불어 이산화탄소 배출량을 기존 고로 대비 약 25% 저감할 수 있는 전기로(Electric Arc Furnace, Electric Smelting Furnace 등) 기반 제강 기술 개발이 활발히 추진되고 있다. 그러나 공정의 변화와 관계없이 제강의 최종적 목표는 변함없이 불순물을 최소화한 청정강(Clean Steel)의 제조에 있다. 제강 공정은 철의 융점인 1538ºC를 훨씬 상회하는 초고온 영역에서 수행되며, 이 과정에서 용강–슬래그–내화재 간의 복합적인 물리·화학적 상호작용이 발생한다. 특히, 내화재는 단순한 내열재를 넘어 조업 환경에서 슬래그 및 용강과 직접 접촉하여 반응함으로써, 제품 품질에 직·간접적인 영향을 미치는 중요한 변수로 작용한다. 따라서 고온 환경에서 일어나는 미시적 반응을 명확히 이해하고 제어하는 것은 청정강 달성의 핵심 과제이다. 과학 발전은 관찰로부터 출발하였으며, 오늘날에도 관찰 기술은 물질과 공정을 이해하는 가장 강력한 도구로 활용되고 있다. 최근 제강 연구에서는 1550ºC 이상의 조업온도에서 용강 및 슬래그 거동을 직접 관찰하는 기술이 발전하고 있으며, 이를 통해 조업상의 문제나 제품 불량의 근본 원인을 규명하고자 하는 시도가 증가하고 있다. 이러한 연구는 기존의 간접적 분석(시편 후분석, 열역학 계산 등)에서 나아가, 공정 중 실시간·직접 관찰을 통해 현상을 해석하고 공정 최적화로 이어지는 새로운 연구 패러다임을 제시한다. 본 발표에서는 고성능카메라가 적용된 Hot thermocouple 기술, X-ray CT기술, 고속 카메라가 적용된 Dispensed Drop Technic 등 첨단 고온 관찰 기법을 활용하여 슬래그–용강–내화재 간의 상호작용을 직접 규명한 연구 결과를 공유하고자 한다. 특히, 내화재가 슬래그와 반응하면서 용강으로 불순물이 유입되는 메커니즘과 슬래그로 제거되는 현상을 관찰하고, 이를 열역학·반응속도 이론과 결합하여 해석함으로써 청정강 제조를 저해하는 주요 요인을 도출하였다. 더 나아가, 이러한 분석을 바탕으로 미래 철강 조업에 요구되는 고내구성·고내식성 내화재료의 방향을 제시하고, 탄소중립 시대에 부합하는 지속 가능한 철강 제조 기술을 논의하고자 한다.

[철강B3-2 | 14:25]

Ti-Nb계 냉연 초고강도 저합금강에서 Ti 함량이 기계적 특성에 미치는 영향 평가: 정종현, 신상훈, 이창근, 김수헌, 나광수*(현대제철 기술연구소)

Keywords: 석출경화강, 재결정거동, 기계적특성

최근 자동차 시장의 전동화 흐름에 따라 국내외 자동차 제조사들은 외관 디자인을 단순화하고 있으며, 동시에 차량 경량화를 위한 소재 적용이 확대되고 있다. 이에 따라 고강도 소재에 대한 수요가 증가하고 있으며, 특히 드로잉 공정보다 벤딩 및 롤 포밍과 같은 성형 공정이 적용된 부품의 수요가 증가할 것으로 예상된다. 이러한 변화에 대응하기 위해서는 우수한 굽힘 성능을 갖춘 고강도

석출경화강의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 Ti-Nb계 저합금강에 Ti 합량에 따른 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 각 합금 조합에 대해 목표 기계적 특성 확보를 위한 적정 조성을 선정하여 물성평가를 진행하였으며, 다양한 툴을 활용하여 미세조직을 비교분석하였다.

[철강B3-3 | 14:40]

Nb-Ti 냉연 석출강의 기계적 특성에 미치는 미세조직의 영향: 황유진*, 김종명, 신상훈, 나광수(현대제철)

Keywords: automotive steel, precipitation behavior, high temperature mechanical properties

최근 전기차 배터리 열폭주와 같은 안전 문제가 발생하면서 탑승자의 안정성을 향상시키기 위한 연구들이 진행되고 있다. 특히 배터리 팩 케이스의 내열성을 확보하는 것은 화재 발생 시 승객 대피 시간을 확보하는 데 중요한 요소로 인식되고 있다. 본 연구에서는 배터리 팩 케이스 소재의 내열성 향상을 목적으로 냉연 석출 경화강의 고온 특성을 평가했다. 냉연 석출 경화강은 C-Mn강에 Ti와 Nb 같은 미량의 석출물 형성 원소를 첨가해 제조되었으며, 형성된 나노 스케일의 석출물은 기지에 균일하게 분포하고 있었다. 석출물이 고온 강도에 미치는 영향을 확인하기 위해 상온 및 고온에서 인장시험을 수행해 온도 변화에 따른 기계적 물성을 측정했다. 또한 이를 미세조직과 연계해 그 상관관계를 고찰하고자 했다.

[철강B3-4 | 14:55]

V-Ti 첨가 냉연 석출강의 재질에 미치는 초기 미세조직 영향: 김종명, 정종현, 나광수(현대제철 기술연구소)

Keywords: 냉연 석출강, 기계적 물성, 재결정 거동

냉연 석출강은 저렴한 가격, 우수한 용접성 및 도금성으로 인해 자동차 산업에서 널리 적용되고 있다. 일반적으로 이러한 강은 항복강도 240~420 MPa 등급에서 주로 사용되어 왔으나, 연비 향상과 부품 경량화를 위해 고강도화 요구가 증가하고 있다. 냉연 석출강의 강도 향상을 위해서는 연속소둔 공정에서의 재결정 및 석출 거동뿐만 아니라, 초기 미세조직과 소둔 과정에서 발생하는 금속학적 현상 간의 상호작용에 대한 이해가 필수적이다. 본 연구에서는 바나듐(V)과 타이타늄(Ti)을 첨가한 냉연 석출강의 기계적 성질과 미세조직을 분석하였으며, 이를 기반으로 초고강도 냉연 석출강을 개발한 과정을 소개한다.

[철강B4-1 | 15:10] 조청강연

멀티스케일 시뮬레이션을 활용한 Tramp 원소 결정립계 액상 침투 메커니즘 규명 : 고원석*(고려대학교), 박종훈, 안혜현(인하대학교), 김동휘, 강민우, 김영재(현대자동차)

Keywords: 철강, Tramp 원소, 분자동역학, 제일원리계산, 열역학/확산모델링

최근 기후변화 대응을 위한 온실가스 저감 압박이 전산업에 전방위적으로 가해짐에 따라, 철강산업에서 전기로 제강 방식에 의한 생산량 증대 및 용도 확대가 주목받고 있다. 그러나 아직까지 전기로 제강 방식은 철스크랩에 기인한 불순물 문제로 인해 자동차강판 등 고급 강재 생산에는 적용이 되지 못하고 봉/형강 등 범용 철강제품 생산 위주로만 활용되어 오고 있다. 철스크랩 재활용시 특히 혼입 가능성이 높고 상대적으로 반응성이 낮아 정련과정에서 어려움을 겪는 Cu, Sn과 같은 Tramp 원소들이 철스크랩의 재활용이 반복되면서 지속적으로 농축되고, 농축된 원소들이 열간압연 과정에서 고온취성(hot shortness) 현상을 유발함으로써 철강재의 고온가공성을 취약하게 만드는 것으로 알려져 있다. 특히 철강재의 고온 표면산화과정에서 산화물-금속 계면부에 누적된 Cu-rich 액상의 결정립계 침투와 취성 유발 현상 (Liquid Metal Embrittlement)이 주된 기구로 알려져 있으나, 결정립계 침투의 구체적인 메커니즘 규명과 해결책 제시가 이뤄지지 못하고 있다. 이번 연구에서는 원자단위 전산모사(atomistic simulation) 기법들을 활용하여 Tramp 원소를 포함한 여러 용질원소들의 결정립계 액상 침투의 상세 메커니즘을 규명하고, 이를 회피하기 위한 합금조건의 가능성을 열역학/확산 기반 모델링 및 제일원리 DFT (First-principles density functional theory) 계산을 활용하여 살펴보았다.

[철강B4-2 | 15:35]

Effect of Cu and Nb-Ti-V Alloying on Recrystallization Behavior and Mechanical Properties of High Strength Low Alloy Steel : 김수헌, 정종현, 이창근, 신상훈, 나광수*(현대제철연구소)

Keywords: 금속, 시효, 항복거동

저탄소 강판에서 탄소와 질소는 침입형 원소로서 전위 고정에 의해 변형 시 시효를 유발한다. 특히 질소는 높은 확산 속도로 인해 초기 시효에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 고강도 강판의 항복 거동을 안정화 하기 위해 질소의 활성을 억제할 수 있는 붕소(B)를 첨가하였으며 열간압연 및 소둔 후 압연 조건은 동일하게 유지하여 항복 거동 변화를 분석하였다. 그 결과, 항복 거동이 불연속에서 연속으로 전이 되었으며, 항복강도의 감소와 함께 안정적인 항복 특성이 나타났다. 또한 코일 길이 방향에 따른 물성 변화와 가속 시효 시험도 함께 평가하여 붕소(B) 첨가의 효과를 종합적으로 분석하였다.

[철강B4-3 | 15:50]

홀확장성이 우수한 1180MPa급 냉연 초고장력강 개발: 문주연, 이상욱*, 정유담(현대제철 기술연구소)

Keywords: Automotive steel, High Strength Steel with improved formability, Tempered Martensite, Fresh Martensite, Ferrite, HER

국내 자동차 산업의 경량화 및 충돌 안전성 향상 요구에 따라 고강도 강판의 수요가 증가하고 있으며, 구조 부재용 소재에는 높은 항복강도와 우수한 성형성이 동시에 요구된다. 하지만 강판의 강도가 증가하면 소재 내부의 변형 저항이 커지며, 국부 변형 시 응력 집중이 심화되어 성형가공성이 저하되는 문제점이 발생한다. 이에 따라 이러한 한계를 보완할 수 있는 소재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 성형성 평가 지표 중 하나인 홀확장율(Hole Expansion Ratio, HER) 향상을 목표로 개발된

1180MPa급 냉연 초고강도강의 성능을 평가하고, 그 결과에 영향을 미치는 미세조직 인자들을 분석하였다. 해당 강종은 템퍼드 마르텐사이트가 주 상으로, 일부 페라이트 및 프레시 마르텐사이트가 혼합된 조직을 갖고 있으며, 적절한 합금 설계와 공정 조건 설정을 통해 경질상인 마르텐사이트를 연질화하여 경도를 낮추었다. 이를 통해 국부 변형 시 응력 집중을 완화하고 균열 발생을 억제하여 높은 홀확장율을 확보할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 소재의 설계 컨셉과 특성을 고찰하였으며, 미세조직을 구성하는 상의 종류, 분율, 경도, 구성 형태 등이 홀확장성에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 자동차 차체 경량화 및 안전성 향상에 기여할 수 있는 고성능 강판의 개발 방향성을 제시하고자 한다.

[철강B4-4 | 16:05]

Hydrogen embrittlement under diverse mechanical environment in ultra-high strength press hardening steel: Ju Seokhwan, Lee Ho Hyeong, Oh Eun-Chae(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Lee Seawoong(POSCO), Suh Dong-Woo*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: Hydrogen embrittlement, Slow strain rate tensile test (SSRT), Constant load test (CLT), Brittle fracture, Martensite

Hydrogen embrittlement (HE) represents a static fracture phenomenon that arises from hydrogen adsorption, critically impairing the ductility of high-strength steels. It is inevitable that high-strength steels will encounter various H sources during the manufacturing or servicing process, such as welding, pickling or electro-plating, which may result in the occurrence of HE. Therefore, the understanding HE should be required to safe production of steel products. A substantial amount of research has been dedicated to elucidating HE mechanisms, which are classified into two categories: plasticity-based models, including H-enhanced local plasticity (HELP), and decohesion-based models, such as H-enhanced decohesion (HEDE). Typically, HE has been evaluated at single mechanical loading condition with presuming that HE occurs by the independent action of HELP or HEDE. Nonetheless, recent studies have indicated that the HE mechanism is not fixed; rather, it varies depending on the mechanical loading conditions. This suggests that evaluating HE under multiple mechanical tests in a single system is necessary. It is evident that the transition of the HE mechanism is highly influenced by the interaction between the H atom and the dislocation. The transportation of H through dislocation motion can be processed as follows: H atoms may undergo segregation in proximity to dislocations like Cottrell atmosphere. These segregated H atoms migrate in conjunction with the dislocation movement during plastic deformation. In this context, we utilized tensile loading tests with varying strain rates and the static loading tests after cathodic H charging for the evaluation of HE in martensitic press hardening steel (PHS). Tensile loading represents the deformation under the circumstance where the mobile dislocation actively moves during plastic deformation. Conversely, static loading represents that under the circumstance where the motion of dislocation is constrained. Through the comparison between the features of H-induced brittle fracture and H-induced micro-cracks under the tensile loading and the static loading, the evolution of HE under dissimilar mechanical environment was systematically investigated in the present study.

[철강B4-5 | 16:20]

표면 석출물의 거동이 자기적 특성에 미치는 영향: 이한샘, 유성현, 안용근(현대제철), 이소현, 김주영(울산과학기술원), 강춘구*(현대제철)

Keywords: 소둔열처리, AlN 석출물, 표면조도, 철손

강재의 표면에서 석출되는 석출물은 자벽 이동을 방해하여 철손을 증가시키는 주요 요인으로 작용하며 대표적인 석출물로는 MnS와 AlN 등이 있다. 이 중 AlN은 강재의 주요 성분계인 Al과 용강 내 잔류 질소(N) 성분이 반응하여 형성되며 강재 표면에 주로 형성된다. 이러한 석출물이 과도하게 형성될 경우 조대화되어 모재로 침투/확산되며 모재의 표면 조도를 증가시키고, 이는 추가적인 자벽 이동 저해 요소로 작용하여 철손을 더욱 악화시킨다. 본 연구에서는 최종소둔 공정에서 수소-질소 혼합가스를 사용하여 질소의 농도를 0%에서 100%까지 변화시키며 AlN 형성 분위기를 제어하였다. 이를 통해 생성된 AlN의 거동, 침질층 두께, 표면 조도 변화를 정량적으로 분석하고, 이들이 철손에 미치는 영향을 평가하였다.

[철강B5-1 | 16:35]

오스테나이트 스테인리스강의 초세립 기구 및 미세조직 변화: 노한섭*, 추나연, 이재화, 김상석(POSCO 기술연구원)

Keywords: 스테린인스, 세립강, TRIP

오스테나이트 스테리인스강은 우수한 강도, 연성 및 내식성으로 전기차 구조재로서 적용되고 있으며, 고강도화 시 경량화로 중량 감소 및 에너지 절감에도 유리하다. 캐즘 진입에 따른 경쟁 심화로 원가 경쟁력 있는 고강도 소재에 대한 수요가 증가하고 있다. 본 연구는 고질소-저니켈 290강과 범용 304강에 대해 세립화를 통한 고강도화 시 미세조직 변화를 규명하고자 한다. 소둔온도 및 소둔시간을 변화해 미세조직 변화 및 경향을 관찰한 결과, 304강은 diffusionally, 290강은 martensitically 역변태 메커니즘을 보이며 열역학 계산 결과와도 일치하였다. Arrhenius수식 기반 활성화 에너지를 비교해 재결정에 필요한 활성화 에너지 및 미세조직간 차이를 분석하였다. 자세한 내용은 추후 발표자료에서 소개하고자 한다.

[철강B5-2 | 16:50]

페라이트계 스테인리스강 슬라브의 오프코너 표층하 크랙의 진화 거동: 이계만*, 이상진(㈜포스코)

Keywords: 페라이트계 스테인리스강, ferritic stainless steel, 오프코너 표층하 크랙, off-corner subsurface crack

연속주조 공정으로 생산되는 페라이트계 스테인리스강 슬라브에서는 다양한 형태의 크랙이 발생할 수 있다. 슬라브의 단변부 벌징(narrow face bulging) 및 종방향 표면 함몰(longitudinal surface depression)에 기인한 오프코너 표층하 크랙(off-corner subsurface

crack)은 제조공정 전반에 걸쳐 잔류하여 최종 냉연코일의 표면결함으로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 오프코너 표층하 크랙이 열간 및 냉간압연 공정에서 공정변수(가열로 내 온도, 조압연 조건 등)에 따라 어떻게 변화하는지 각 공정 단계별로 체계적으로 분석하였다. 그 결과, 페라이트계 스테인리스강 슬라브의 오프코너 표층하 크랙이 냉연코일의 표면결함으로 발전하는 매커니즘을 규명하였고, 이를 방지하기 위한 공정 제어 조건을 도출하였다.

[철강B5-3 | 17:05]

듀플렉스 스테인리스강의 산세성 개선을 위한 합금설계 연구: 김문수*, 김진석, 채동철(포스코)

Keywords: 듀플렉스 스테인리스 스틸, 내식성, 산세, 물성평가

듀플렉스 스테인리스강은 페라이트(α-Fe)와 오스테나이트(γ-Fe)가 공존하는 이중상 구조로 인해, 뛰어난 응력부식균열 저항성, 높은 강도, 우수한 내식성을 나타낸다. 이러한 듀플렉스 스테인리스강의 미세조직 및 상분율은 페라이트 또는 오스테나이트 안정화 원소의 조성, 그리고 열처리 조건에 따라 달라진다. 일반적으로 듀플렉스 스테인리스강은 1100°C에서 페라이트와 오스테나이트의 상분율이 50:50이 되도록 설계된다. 이보다 낮은 온도에서 열처리할 경우, 시그마(Sigma) 상이라는 금속간 화합물이 생성될 수 있으며, 이는 내식성과 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 시그마 상의 석출 온도보다 높은 온도에서 열처리를 실시하는 것이 일반적이다. 하지만 열처리 온도가 높아질수록 표면에 산화스케일이 두껍게 형성되어 산세 공정이 어려워지고, 산세 시간이 증가하게 된다. 그 결과, 산화스케일이 완전히 제거되지 않아 표면에 잔류할 수 있으며, 이는 최종 제품의 표면 품질 저하로 이어진다. 또한 산세 과정에서 산화스케일과 산세액의 반응으로 질소산화물(NOx) 등 대기오염 물질이 발생하는데, 스케일이 두꺼울수록 NOx 발생량도 증가한다. 따라서 제조 공정에서 얇은 산화스케일을 형성을 유도하고 산세공정 중 발생하는 NOx 발생량을 저감하여 대기환경오염을 줄이는 것이 중요하다. 본 연구에서는 산세성 개선을 위한 듀플렉스 스테인리스강을 설계하여 열처리 모사 및 재질 평가를 하였다. 합금 조성의 최적화를 통해 낮은 온도에서도 적절한 페라이트/오스테나이트 상분율을 확보하고, 산화스케일의 성장을 억제하여 산세성을 개선할 수 있는 소재를 제안하였다. 또한, 기존 소재와 대비하여 저온 소둔 조건에서 제작된 듀플렉스 스테인리스스틸의 기계적 강도와 내식성을 평가하였다.

[철강B5-4 | 17:20]

고탄소 마르텐사이트 스테인리스강의 탄화물 석출 전산해석 모델 고도화: 정일찬*(포스코)

Keywords: 고탄소 마르텐사이트 스테인리스강, 석출물 Kinetic, 전산모사, 탄화물

고탄소 (≥0.3 wt% C) 마르텐사이트 스테인리스강은 주방 Knife 및 면도날用으로 널리 쓰이고 있으며 날끝 품질 (강도 및 내마모 성등)이 매우 중요하다. 통상 고탄소 마르텐사이트 스테인리스강은 열연 및 냉연 제품 생산시 페라이트 기지내 탄화물이 석출된 상 태로 Knife 제조사에 공급되며 이후 오스테나이트 온도 영역에서의 소둔 및 급속 냉각등의 고객사 강화 열처리 공정을 거쳐서 최종적으로 마르텐사이트 기지로 변태된다. 이때 강화 열처리전 페라이트 기지내 탄화물의 크기 및 분포가 Knife 부품의 날끝 품질에 결정적인 영향을 주기 때문에 열연 및 소둔등의 제조공정에 따른 탄화물 거동 예측 모델 개발 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 Matcalc Software를 활용하여서 ① M23C6 석출 domain 분리 (M7C3는 γ 기지에서, M23C6는 γ 기지 1차 핵생성 후 α 기지 2차 핵생성), ②M23C6 석출 domain 비분리 (M7C3는 γ 기지에서, M23C6는 γ,α 기지 구분없이 핵생성), ③탄화물 변태 (γ 기지에서 M7C3 선행 핵생성 후 M23C6로 변태) 와 같이 3가지 형태의 핵생성 모델을 가정하여 탄화물 거동을 예측 하였고 실제 현장에서 생산한 소재의 조직 관찰 결과와 비교하여 최적의 핵생성 모델을 선정하였다. 그리고 고도화된 탄화물 석출 전산 모델을 활용하여 코일내 부위별 열이력 상이에 따른 탄화물 편차 거동의 차이를 해석하였다.

자원순환형 저탄소 알루미늄 심포지엄
Room 4층 컨벤션1, 10월 30일

[저탄소1-1 | 10:00] 초청강연

알루미늄 소재 분야 탄소 저감 기술 동향: 강희삼*(현대자동차)

Keywords: 저탄소 알루미늄, 재활용 알루미늄, 재생원료, 용탕품질, 클로즈드 루프 리싸이클링

원소재를 전량 수입에 의존하고 있는 국내 여건을 감안할 때, 알루미늄 분야에서 탄소중립에 효과적으로 대응하기 위해서 탄소 저감 재활용 알루미늄 소재 기술 개발이 반드시 필요하다. 탄소 저감 재활용 소재를 부품에 적용하기 위해서는 양산 소재와 동일한 수준의 화학성분 및 품질 관리 방안이 필요하다. 특히 품질 관리 방안의 경우, 정량 데이터를 기반으로 품질 관리 방안을 고도화하고, 현장에서 직접 품질을 검증할 수 있는 방안을 함께 도출해야 한다. 또한, 재활용 소재 원가 경쟁력 확보를 위해 스크랩 다변화 및 투입 비율 증대를 위한 화학성분 제어 기술 확보가 반드시 필요하다. 마지막으로 향후 환경 규제 발효시 예상되는 친환경 프리미엄으로 인한 알루미늄 소재 원가 불안정성에 대비하여 탄소 저감 소재 장기 공급망 구축을 위한 국내 알루미늄 소재/부품사 간 연대 및 협력이 필요하다.(규모의 경제 확보)

[저탄소1-2 | 10:25] 초청강연

사용 후 알루미늄 스크랩 사용량 증가에 따른 용탕청정도와 빌렛 품질 및 압출성의 상관관계에 대한 정량적 분석: 오승환*, 노주현((주)에이알알루미늄)

Keywords: 알루미늄, 재활용, 용탕청정도

알루미늄 산업에서 탄소중립과 자원순환의 중요성이 높아지면서, 사용 후 알루미늄 스크랩(End-of-Life, EOL)의 활용도가 크게 증가하고 있다. 그러나 EOL 스크랩은 다양한 불순물(Fe, Zn 등)을 포함하고 있어, 이를 다량 적용할 경우 용탕청정도 저하, 주조 결함 발생, 그리고 압출 과정에서의 표면 불량 및 기계적 성능 저하를 유발할 수 있다. 실제로 스크랩 비율이 높아질수록 용해시간 증가, Dross loss 확대, 합금 조성 편차 등 품질 저하 요인이 뚜렷하게 나타나고 있다. 국내외적으로 EOL 알루미늄 스크랩 재활용 확대는 피할 수 없는 흐름이다. 그러나 현장에서는 스크랩 사용량이 늘어날수록 압출 빌렛의 품질 문제가 심각하게 보고되고 있다. 이는 고품질 압출재 생산을 목표로 하는 산업 현장에서 반드시 해결해야 할 과제이며, 따라서 스크랩 사용량과 용탕청정도, 빌렛 품질 및 압출성 사이의 상관관계에 대한 정량적 분석이 요구된다. 본 연구에서는 사용 후 알루미늄 스크랩의 적용 비율을 달리한 상태에서 용탕청정도와 빌렛 품질을 정량적으로 평가하였다. 청정도 분석에는 LiMCA3와 Al-Scan을 활용하여 금속 내 개재물(입자 개수, 수소 함량)을 측정하였다. 또한 빌렛의 품질과 압출성의 상관관계를 검증하기 위해 실제 압출 공정을 수행한 후 압출성에 대해서 분석하였다. 연구 결과, 스크랩 사용량이 증가할수록 용탕 내 개재물 수와 수소 함량이 증가하여 청정도가 저하되는 경향이 확인되었다. 이는 빌렛의 외관 불량률 및 압출 픽업(pick-up) 현상 증가와 직접적으로 연결되었다. 본 연구는 스크랩 사용 확대에 따른 리스크를 정량적으로 제시함으로써, 향후 EOL 스크랩 활용 전략 수립에 실질적인 근거를 제공한다. 또한, 자원순환 확대와 탄소저감이라는 산업적 요구에 대응하면서도 압출재 품질을 보장할 수 있는 공정 가이드라인 마련에 기여할 것으로 기대된다.

[저탄소1-3 | 10:50] 초청강연

알루미늄 합금의 주조 및 열처리 공정에서 기계적 특성 예측: 윤중묵*(애니캐스팅소프트웨어)

Keywords: 알루미늄 합금, 주조해석, 미세조직, 기계적 성질, 메타모델링

이 연구는 주조 및 열처리 과정에서 알루미늄 합금의 미세 조직과 기계적 특성을 예측하기 위한 메타모델링 접근법을 소개합니다. 냉각 속도가 다양한 계단식 시편을 사용하여 물리 모델을 기반으로 주조 및 T6 열처리 상태의 미세 조직과 기계적 특성을 예측했습니다. 열역학적 계산은 상당한 계산을 필요로 하기 때문에 예측력 정확도를 유지하면서 계산 시간을 줄이기 위해 시간, 직교 라틴 하이퍼큐브 디자인(OLHD) 샘플링 및 크리깅 기반 메타모델링이 사용되었습니다. 예측된 값을 실험 데이터와 비교하여 정합성을 검증했으며, 계단형 주조 시편에 적용하여 신뢰할 수 있는 결과를 얻었습니다.

[저탄소1-4 | 11:15] 초청강연

고진공다이캐스팅용 알루미늄합금의 스크랩비율에 따른 용탕청정도 고찰 (Effect of Scrap Addition on Melt Cleanliness of Aluminum Alloys for High-Vacuum Die Casting): 정무섭(주식회사 동남), 장호성, 이규흔, 박진영(한국생산기술연구원), 김억수*(디엔케이모빌리티), 신선미*(한국생산기술연구원)

Keywords: A365합금, 다이캐스팅, 용탕청정도, 알루미늄 재활용

알루미늄 산업분야에서는 알루미늄 제련공정에서 대부분의 탄소가 배출되며, 이를 통해서 알루미늄 스크랩을 재활용하는 경우 탄소 배출량을 90~98% 저감시킬 수 있다. 특히, 알루미늄 주조재는 전동화 차량개발에 따른 소재 및 스크랩 재활용관련 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 스크랩 재활용을 위하여 스크랩 첨가 비율이 용탕 청정도에 미치는 영향을 분석하여, 효율적인 스크랩 재활용 방안을 모색하고자 하였다. A365합금 11kg을 기준으로 잉곳과 스크랩 비율을 100:0, 70:30, 50:50, 30:70, 0:100으로 첨가하여 용해실험을 수행하였다. 용탕 청정화공정은 GBF(Gas Bubbling Filtration)을 동일하게 진행하였으며, 세가지 방법을 통해서 용탕청정도를 평가하였다. ① 감압응고시험을 통한 Density index 평가 ② X-ray CT를 활용한 내부 결함분석 ③ 여과시험법을 통한 여과시간 및 개재물 정량분석을 실시하였다. 감압응고 시험법으로 측정한 Density index는 용해 직후 스크랩비율이

증가함에 따라 대체적으로 증가하는 뚜렷한 경향성을 보였으나, GBF처리 및 안정화 시간 이후에는 이러한 경향성이 나타나지 않았다. 용탕 여과시험 결과에서는 스크랩 첨가비율이 증가함에 따라 여과시간이 증가하는 경향성이 확인되었다. 이를 통해서 용탕청정도 측정 지표간의 차이를 확인할 수 있으며, 스크랩 첨가에 따른 용탕청정도의 평가는 보다 세밀한 분석이 요구됨을 확인할 수 있었다.
산업통상자원부 소재부품기술개발사업(패키지형)의 지원을 받아 수행되었음(No. RS-2024-00470227)

[저탄소2-1 | 14:00] 조청강연

Secondary Aluminum Recycling for Korea: Yoon Min*(한국호세코)
Keywords: 재활용, 알루미늄

Aluminum cast house marktes are makring great efforts to acheive zero carbon emissions. Among their activities, recycling aluminum scrap is the most ideal, but there is a possibility that metal cleanliness may deteriorate. Therefore, we would like to propose a way to complement this.

[저탄소2-2 | 14:25] 조청강연

알루미늄 스크랩의 리사이클링을 통한 알루미늄 합금 개발: 정인호*(서울대학교)
Keywords: 리사이클링, 알루미늄 합금, 열역학

현재 알루미늄은 전기를 인가하는 Hall-Heroult 전해 용융염 제련법을 통해서 생산되고 있다. 하지만 본 공정에서는 알루미늄 산화물을 환원하기 위해서 카본을 사용하므로 필연적으로 CO2를 발생하게 된다. 따라서 알루미늄 산업에서 탄소중립을 위해서는 알루미늄 스크랩을 리사이클링 하여 합금을 생산하는 방법에 대해서 활발한 연구가 시작되고 있다. 하지만 스크랩에서는 Fe, Mn, Cu 등의 다양한 tramp 원소들이 포함되어 들어오므로 고성능의 합금을 생산하는데 많은 문제가 있다. 본 발표에서는 리사이클링시 이러한 tramp 원소를 제어하는 공정개발에 대해서 소개하고, 이러한 tramp element가 다량 포함된 새로운 합금의 개발 방향에 대해서 논의하고자 한다. 특히 열역학데이터베이스를 활용한 tramp 원소의 최대 제어한계 계산 및 새로운 합금개발을 소개하고자 한다.

[저탄소2-3 | 14:50] 조청강연

EOL 스크랩 활용 저탄소 고강도 6000계 알루미늄 압출재 개발 및 미세구조 분석: 강태웅*, 옥현탁, 김동경((주)알멕)
Keywords: 알루미늄, 압출, 6000계, 자동차

본 연구는 사용후(EOL, End-of-Life) 알루미늄 스크랩을 90% 이상 재활용하여 저탄소·고강도의 6000계 알루미늄 합금을 개발하고, 이를 모빌리티, 그린빌딩 및 전기·전자용 압출 부품으로 적용하는 것을 목표로 한다. 특히 자동차 차체용 충격흡수 부품에 요구되는 항복강도 380 MPa 수준을 달성하는 고강도 합금 설계 및 압출공정 기술 확보에 중점을 두었다. 합금 개발 과정에서는 Mg/Si 비율 및 주요 첨가원소의 조절에 따른 기계적 특성과 미세조직 변화를 체계적으로 검토하였다. 또한, 스크랩 함량 증가에 따른 미세조직 균일성 확보를 위해 SEM(주사전자현미경), EBSD(전자후방산란회절) 분석을 수행하여 재결정 거동, 결정립 크기, 석출물 분포, 입계 특성과 기계적 성질 간의 상관관계를 규명하고자 연구중에 있다. 아울러 압출 및 열처리 공정(T6) 최적화를 통해 균일한 미세조직과 향상된 기계적 특성을 확보하였다. In-line 퀜칭 기술, 고강성 압출 금형 설계, 형상 오차 교정 모듈 등을 적용하여 부품 치수 정밀성과 고강도 특성을 동시에 달성하고자 하였다.

[저탄소2-4 | 15:15] 조청강연

알루미늄 스크랩 용탕 비금속개재물 정량평가 신뢰도 향상방안: 김덕*, 김명균(포항산업과학연구원)
Keywords: 알루미늄, 용탕, 스크랩, 개재물, 정량평가

알루미늄 제품의 특성은 사용된 합금의 조성 외에도 제조공정 중 알루미늄 용탕 내 비금속개재물 품질에 크게 영향을 받는다. 비금속개재물은 그 종류와 크기에 따라 다르지만, 알루미늄 제품에 포함되었을 경우 대체로 기계적 물성을 상당량 저해시키며 탄소중립 이슈로 스크랩 적용량이 증가하는 추세인 최근 이와 같은 이슈는 더욱 증가하여 주목의 대상이 되고 있다. 그러나, 비금속개재물은 제조공정중 제어 난이도가 높가 높을 뿐 아니라 정량적인 평가 및 이에 따른 생성원인 분석이 어려워 이를 제어하는 데에 어려움이 많다. 이처럼 알루미늄 제품의 품질 개선을 위해서는 용탕 내 비금속개재물을 종류별로 파악하여 정량적으로 분석하고 이에 따른 원인분석을 수행하는 것이 필수적이다. 종래 기술 중에도 알루미늄 용탕 내 비금속개재물 평가가 가능한 방안들이 존재하나, 고가의 장비와 전문인력 그리고 장시간의 분석이 필요하거나, 반대로 지나치게 간략화된 결과만을 확보할 수 있는 등 현장에서 손쉽게 용탕의 비금속개재물 관련 품질을 정확하게 평가하기에는 어려운 점들이 많았다. 본 연구에서는 알루미늄 용탕 내 비금속개재물을 정량적으로 분석하여 용탕의 품질을 평가할 수 있는 용탕여과 방식의 자체 제작 설비와 이를 이용해 제조한 다양한 샘플의 분석 결과에 대해 공유하고자 한다. 2.5 kg 내외의 알루미늄 소재를 용해하고 준비된 도가니를 40분 내외로 예열한 뒤 일정한 기공도를 갖는 필터를 통해 용탕을 2분 내외에 걸쳐 여과함으로써 용탕 내에 존재하는 비금속개재물을 빠르고 간단하게 농축한 샘플을 획득할 수 있다. 비금속개재물이 농축된 샘플을 경면 연마 후 광학현미경을 통해 미세조직을 관찰하고 이미지분석 기법을 활용하여 비금속개재물의 종류, 크기, 비율 등의 정량화된 평가 결과를 확보할 수 있었다. 또한, 이미지분석 도중 분석자의 경험 차이와 수작업 요령의 차이 등을 최소화 하여 재연성 높은 결과를 확보하기 위한 분석방안을 도입하여 적용하였다. 이와 같은 비금속개재물 정량평가 기구와 분석 방법은 기존보다 빠르고 경제적이면서도 꼭 필요한 만큼의 정확도로 분석 결과를 얻을 수 있어 향후 비금속개재물 제어를 통한 알루미늄 용탕 품질 개선에 매우 효과적인 수단이 될 것으로 기대 된다.

[저탄소3-1 | 15:50] 조청강연

재활용 친화형 알루미늄 소재기술: 어광준*, 조영희(한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄, 재활용, 액상금속, Fe계 금속간화합물, 개량화

최근 글로벌 환경규제에 따라 알루미늄 산업 전반에 걸쳐 저탄소 생산 기술의 중요성이 부각되고 있으며 1차 지금을 전량 수입 중인 우리나라의 경우 재활용 스크랩에 의존한 탄소 저감이 소재기술 분야에서는 유일한 해결책으로 여겨진다. 알루미늄 재활용은 1차 지금 생산에 비해 약 95%의 에너지를 절감할 수 있고, CO_2 배출량도 90% 이상 감소시킬 수 있어 탄소중립 및 에너지 효율 측면에서 지속가능성을 크게 향상시킬 수 있는 기술이며 알루미늄 스크랩 재활용 시장은 '24년 65.5억 달러에서 '30년 114.6억 달러로 연평균 9.6% 성장할 것으로 예상된다. 하지만 스크랩 기반의 알루미늄 재활용에 있어서 Fe, Cu 등의 불순물 원소 제어기술이 재활용율 및 소재 물성 확보에 중요한 병목점으로 작용하고 있다. 한국재료연구원에서는 미세조직적 특성 제어를 통하여 불순 원소의 민감도를 낮추어 재활용성이 용이하며 제반 특성을 향상할 수 있는 신합금 및 공정 기술을 개발 중이다. 액상금속에 외부 에너지를 인가하는 공정을 통해 침상 형상의 Fe계 금속간화화물을 Chinese script 형태로 개량하였으며 조성 변화 없이 Fe계 금속간화합물의 결정구조를 monoclinic에서 cubic으로 전환시킴으로써 미세화 효과를 극대화하였다.이를 통하여 고강도-고연신율-고열전도도의 복합 특성 향상을 달성하였으며 허용 가능한 Fe 함량 범위를 확장하였다. 본 강연에서는 재활용 소재 기반 신합금 설계 및 공정 기술을 소개함으로써 지속 가능한 알루미늄 산업의 실질적인 방향성을 제시하고자 한다.

[저탄소3-2 | 16:15] 조청강연

Charge Weld 개선을 통한 알루미늄 압출 수율 향상 방안: 심문세*(ALMAC / Technical Research Institute)

Keywords: Aluminum Extrusion, Charge Weld, Scrap, Stop Mark

Charge Weld(용접)은 알루미늄 압출의 연속공정에서 빌렛-투-빌렛의 전환구간때문에 발생한다. Charge Weld 구간에서는 일반적으로 기계적 성질이 떨어지는 특성을 가진다. 알루미늄 압출 공정에서는 보통 압출 프로파일의 일정 길이를 절단하여 고정 중 스크랩으로 처리한다. 따라서 Charge Weld의 특성에 영향을 미치는 압출 메커니즘을 이해하는 것은 제품 품질을 관리하고, 불량률을 줄이며, 압출 수율을 개선하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 알루미늄 압출 공정에서 발생하는 불필요한 소재 손실을 최소화하고 제품 수율을 향상시키기 위한 이음매 활용 방안을 제시하였다. 기존 공정에서의 손실 원인을 분석하고, 다양한 이음매 설계 및 적용 시나리오를 평가하였다. 해석 결과, 최적화된 이음매 적용을 통해 수율을 유의미하게 개선할 수 있음이 확인되었으며, 이를 통해 제품 단가 절감 및 공정 효율 향상에 기여할 수 있음을 보였다. 본 연구는 알루미늄 압출 산업에서 생산 효율과 경제성을 동시에 달성할 수 있는 전략적 접근법을 제시한다.

[저탄소3-3 | 16:40] 조청강연

고함유 Fe 알루미늄 합금의 고강도 고연신화 기술: 김재황*(한국생산기술연구원,과학기술연합대학원대학교,한국과학기술연구원)

Keywords: 알루미늄 합금, 재활용, 스크랩, 미세조직, Fe계 금속간화합물

알루미늄 합금 내 Fe가 함유된 경우, α,β 및π 상 등 다양한 형태의 금속간화합물을 생성한다. 이 중, β-AlFeSi 상은 외력을 가했졌을때 크랙 유발 및 경로로 작용하여 재료의 연성을 크게 저하시킨다. 탄소배출량을 저감하기 위하여 알루미늄 합금의 재활용 이슈가 재기되고 있으며, 스크랩 내 불순물로 여겨지는 Fe가 함유된 경우, 알루미늄 합금의 고특성화가 어려운 상황이다. 본 연구에서는 알루미늄 합금 내 불순물로 여겨지는 Fe가 고함유 (약 1%)된 경우에도, Multi-scale microstructure control을 통하여 고강도 고연신화가 가능한 기술을 소개한다.

[저탄소3-4 | 17:05] 조청강연

저탄소 알루미늄 전환을 위한 실증 연구 인프라 구축: 정영길*, 김세훈, 신재혁, 김진평, 한범석(한국자동차연구원)

Keywords: 알루미늄, 저탄소, 탄소중립, 기반구축

저탄소·고효율 알루미늄 산업의 지속가능성과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 연구 인프라 구축은 상당히 중요한 과제이다. 본 강연에서는 앞으로 추진될 '데이터 기반 경량금속 소재·부품 자율 주조 시스템 및 고속/고압 압출 플랫폼'과 '자이언트캐스팅 공용센터' 구축 계획을 중심으로, 알루미늄 저탄소화 소재기술과 미래 알루미늄 산업의 대응 방안을 제시하고자 한다. 자율 주조-압출 통합 플랫폼은 고신뢰성의 알루미늄 소재 데이터 생산을 바탕으로 데이터 기반 소재 인프라 고도화 및 개발 가속화 지원 할 계획이며, '자이언트캐스팅 공용 센터'는 차세대 차체 부품의 대형화 연구 개발 인프라로서 6000톤급 이상의 공정 실증 서비스를 제공 할 예정이다. 아울러, 향후 구축 계획인 '알루미늄 재활용 플랫폼'은 스크랩 선별·정제·합금화 전 과정을 통합 관리하는 저탄소·고품질의 원재료 공급망 확보 인프라로써, 국내 알루미늄 산업의 탄소중립 전환과 미래 글로벌 공급망 대응 역량을 강화하고자 한다.

NEW-HORZON: 스마트 바이오 인터페이스 소재 심포지엄

Room 4층 컨벤션2, 10월 30일

[스마트1-1 | 10:00] 초청강연

BioNano Engineering for Interventional Medicine: 박정훈*(울산대학교 의과대학 서울아산병원)

Keywords: Stent, Catheter, Nanomedicine, Intervention, Drug delivery

BioNano engineering for interventional medicine involves utilizing nanoscale materials and biological components to create innovative tools and therapies for image-guided and minimally invasive procedures. This field leverages the unique properties of nanomaterials, such as their small size and ability to interact with biological systems at a molecular level, to improve diagnostics, drug delivery, local therapy, and tissue regeneration in interventional procedures. Stent Translational Medicine Lab has focused on developing various multifunctional and creative stents based on clinical unmet needs. Now the Lab is actively conducting national and international translational research on drug eluting biodegradable stents, obesity treating devices, Eustachian tube interventions, radiofrequency ablation (RFA), irreversible electroporation (IRE), photodynamic therapy (PDT), nano-functionalized stents, and so on. Interventional radiologists, gastroenterologists, surgeons, otorhinolaryngologists, and physicians in Asan Medical Center are involved in the translational research in collaboration with stent companies, national and international universities. Multidisciplinary convergence research could offer a new avenue for the improvement of current stent technology. Surface modification of commercialized stent materials using various therapeutic agents provides stent-mediated localized therapeutic strategies with promising outcomes in preclinical studies. Novel stent applications based on clinical unmet needs were developed beyond obstructive disorders in non-vascular luminal organs. Nanoparticle based approach in stent technology is promising strategy for development of multifunctional stents. Nanotechnology provides controlled local heat treatment and targeted drug delivery via various stent platforms. Despite recent advances in nanoparticle-based approach, there is no commercialized stent due to low-cost effectiveness, complex synthesis, long-term toxicity, and lack of human disease models. Further investigations need to be verified for evidence of its efficacy and safety from preclinical trials. BioNano engineering for interventional medicine represents a rapidly evolving field with the potential to revolutionize healthcare by providing new tools and strategies for diagnosis, treatment, and tissue regeneration.

[스마트1-2 | 10:30] 초청강연

Engineering Electrochemical Biointerfaces from Atoms to Devices: Jimin Park*(KAIST)

Keywords: Electrochemistry, Biointerfaces, Signaling Molecules, Digital Healthcare, Multiplexing

In this talk, I will introduce electrochemical interfaces that can modulate important chemical signals in biological systems. Central to these interfaces is the use of electrocatalysts whose structures and electronic configurations are engineered at the atomic scale to catalyze the electrochemical generation of chemical signals. These nanoelectrocatalysts are implemented into a wide range of biomedical devices, including orthopedic implants, cardiovascular stents, and neural probes [1-4]. Recently, we have demonstrated that these electrochemical interfaces can be multiplexed to control diverse chemical signals simultaneously [5] and be extended to modulate signaling pathways in neurodegenerative diseases, including Alzheimer's disease. Finally, we have shown that these interfaces can be applied to diverse organs, including brains and spinal cords [6], and their cellular specificity can be advanced through gene delivery platforms. References [1] Jimin Park, et. al, Nat. Nanotechnol., 15, 690 (2020) [2] Jimin Park, et. al, Angew. Chem. Int. Ed., 60, 20325 (2021) [3] Jimin Park, et. al, Angew. Chem. Int. Ed., 60, 20325 (2021) [4] Jimin Park, et. al, Nat. Rev. Methods. Primers., 2, 1 (2022) [5] Myeongeun Lee, et. al, Angew. Chem. Int. Ed., e202508192 (2025) [6] Yeon Jae Chang, et. al, Adv. Mater. Inter., e00417 (2025) This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2023-00210139 and RS-2024-00509338, RS-2024-00436904, RS-2024-00401376)

[스마트1-3 | 11:00] 초청강연

DNA-Functionalized Hydrogels For Adaptive and Self-Replicating Biomaterials: 최영재*(GIST)

Keywords: Nucleic acids, DNA hydrogel, Self-assembly

DNA-based functionalization offers powerful strategies to enhance microsystems properties for biointerface applications. By leveraging DNA's programmable, information-rich architecture, these approaches enable precise control over functional moieties. Here, I introduce DNA-functionalized hydrogels that exhibit nature-inspired functionalities, specifically adaptive shape morphing and autonomous self-replication. First, I will discuss "polymorphing" hydrogels embedded with photo-responsive DNA cross-links, whose lengths can be tuned by patterned light irradiation. Unlike conventional hydrogels with fixed morphing pathways, these materials demonstrate dynamically reprogrammable shape transformations—from simple linear forms to intricate letters and shifts from 2D to 3D. Such high programmability and precise control make these hydrogels promising for soft robotics and emerging 4D printing applications. Next, I will describe micro-scale hydrogels capable of autonomous self-replication via DNA-mediated microparticle assembly. This system proceeds through nucleation, self-healing-driven elongation, and controlled thermal fragmentation. Demonstrating self-replication at the micro-scale represents a significant milestone, enabling autonomous fabrication of complex biomaterial structures.

[스마트2-1 | 14:00] 조청강연

골 조직 재생용 줄기세포 분화 제어를 위한 대면적 콜라젠 배향제어 연구: 옥명렬*(한국과학기술연구원), 허철호(국민대학교), 여기백(고려대학교 안암병원), 채민정, 인수환, 함정우(한국과학기술연구원), 전상호(고려대학교 안암병원), 김소연(한국과학기술연구원)

Keywords: 중간엽줄기세포, 골 재생, 세포치료제, 콜라젠, 콜라젠 배향제어

줄기세포를 이용한 조직 재생 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 주로 세포의 분화를 제어하기 위한 최적의 성장인자(growth factor) 적용 기술과 세포를 담지하는 지지체 연구에 초점을 맞추고 있다. 골 조직 재생연구의 경우에도 중간엽 줄기세포의 분화를 효율적으로 제어하고 좀 더 큰 부피의 골 결손을 치료하기 위한 다양한 지지체 기술에 대한 시도가 이루어지고 있으며 정형외과와 치과를 중심으로 임상기술화가 시도되고 있다. 본 발표에서는 중간엽 줄기세포의 제어를 위해 피질골(cortical bone)의 콜라젠 배향 구조를 모방한 세포담지체 개발 연구를 소개하고자 한다. 특히, 세포를 담지한 상태의 콜라젠 용액으로부터 출발하여 젤화(gelation) 과정을 제어함으로써 세포를 함유한 배향 콜라젠 지지체를 개발하는 다양한 방법에 대해 소개하고자 한다. In vitro 연구 결과에 의하면 배향 콜라젠에 의한 중간엽줄기세포 분화 제어 성능은 분화 미디어에 포함된 성장인자와 거의 동일한 분화 제어 성능을 가지는 것으로 나타났으며, 동물 실험에서도 탁월한 골 재생 유도 효과가 확인되었다. 현재 임상적용이 용이한 형태의 세포담지 배향 콜라젠 기술을 연구중이며, 이를 통해 탁월한 분화제어 성능을 가지면서도 성장인자 배제에 의한 안전성 향상과 비용 절감이 가능한 골 재생용 세포치료제 실용화를 앞당길 수 있을 것으로 기대한다.

[스마트2-2 | 14:30] 조청강연

Fiber Electronics With Eco-friendly, Biodegradable for Healthcare Purpose: Jaehong Lee*(DGIST)

Keywords: Fiber electronics, Biodegradable electronics, Fiber electrodes, Healthcare sensors, Wearable electronics

Fiber-based electronics have emerged as key components in wearable and implantable healthcare systems due to their flexibility, lightweight nature, and seamless compatibility with textiles and biological tissues. However, the growing use of such devices raises critical sustainability concerns, particularly regarding electronic waste (e-waste), as most discarded electronics are not recycled. In implantable applications, an additional challenge arises: conventional devices often require secondary surgical procedures for removal, increasing patient burden and healthcare costs. Biodegradable electronics offer a promising solution to both issues by naturally decomposing in the environment or within the body, eliminating the need for retrieval and minimizing long-term ecological and physiological impact. Despite this promise, developing biodegradable fiber electrodes with both high electrical conductivity and mechanical durability remains a significant challenge. Conventional composites using biodegradable metal particles suffer from poor conductivity due to surface oxide layers. Thermal sintering improves electrical contact but forms rigid, film-like structures prone to fracture under stress. Chemical sintering offers greater flexibility without inducing rigid junctions, but the resulting percolation networks remain unstable under deformation. This work presents a strategy to overcome these limitations by engineering fiber-based biodegradable electrodes that maintain conductivity and integrity under mechanical strain, advancing the development of sustainable, next-generation wearable and implantable electronics.

[스마트2-3 | 15:00] 조청강연

DNApatite: An Elastic Apatite with Sub-Nanometer Scale Organo–Inorganic Structures: 이정헌*(성균관대학교)

Keywords: DNApatite, elastic apatite, organo-inorganic structure, natural bone, DNA

Hydroxyapatite (HA) is renowned bioceramic material for its exceptional biocompatibility, bioactivity, osteoconductivity, and inherent anti-inflammatory properties. Despite extensive research into pure HA, ion-doped HA, and HA-polymer composites, significant challenges such as brittleness persist. In this study, we present the first realization of an elastic-ceramic material, featuring ‘deoxyribonucleic apatite (DNApatite)’, a newly synthesized material incorporating both ceramic (represented as Hydroxyapatite, HA) and polymeric elements (represented by single-stranded DNA, ssDNA) at a sub-nanometer scale to overcome this problem of conventional ceramic materials. DNApatite is synthesized through the self-crystallization of polymeric single-stranded deoxyribonucleic acid (ssDNA) without the need for additional phosphate ions. The resulting DNApatite, with the composition DNA1Ca2.2(PO4)1.3OH2.1, exhibits a unique dual-phase structure comprising inorganic HA crystals and amorphous organic ssDNA at the sub-nanometer scale, organized into nanorods. This novel material demonstrates markedly improved mechanical properties, including enhanced toughness and elasticity, and a Young’s modulus comparable to that of natural bone. Therefore, this novel ceramic is a non-composite material that achieves synergistic effects from the combination of different material types, namely ceramic and polymer. These advancements position DNApatite as a promising candidate for advanced biomedical applications, addressing the critical limitations of traditional HA-based materials.

[스마트3-1 | 16:00] 조청강연

Laser Microfabrication Enabling Human-Synchronized Bioelectronic Devices: 전호정*(KIST)

Keywords: Laser Microfabrication, Bioelectronics, Bio-interface, Implant, Biocompatible

Biomedical and healthcare devices are evolving with the advancement of materials science and manufacturing technologies. These advances have led to the development of soft, conformable electronics capable of interfacing with dynamic biological tissues and reliably monitoring physical, electrical, and biochemical signals during continuous body motion for real-time health monitoring. Among

various manufacturing technologies to fabricate bioelectronic devices, laser fabrication has emerged as a powerful manufacturing system because of its wide usability from rapid prototyping to unprecedented spatial patterning capabilities. Laser microfabrication, in particular, provides unique advantages in engineering advanced bioelectronic devices by enabling precise control of materials at micro- and nanoscales. Through light–matter interactions, laser-based processing allows localized ablation and surface modification, functional micro/nano-structuring, and integration of heterogeneous materials without relying on complex chemical processes. These capabilities are highly beneficial for implantable and wearable bioelectronics, where reliable bio-interface control is essential for long-term safety and functionality. In this talk, I will highlight recent advances in applying laser microfabrication to engineer bioelectronic devices that are "human-synchronized," designed to dynamically interact with biological tissues while minimizing immune responses and mechanical mismatches. Case studies include laser-patterned interfaces for reducing foreign body reaction and stretchable circuit architectures for seamless integration with soft tissues. By bridging materials processing with biological requirements, laser microfabrication provides a versatile platform for realizing the next horizon of bioelectronic systems.

[스마트3-2 | 16:30] 조청강연

Polypyrrole-based immune-compatible implantable bioelectrodes: 이재영*(GIST)

Keywords: Polypyrrole, implantable elecrtrodes, macrophage, biocompatibility

Implantable bioelectrodes enable precise recording or stimulation of electrical signals with living tissues in close contact. However, their performance is frequently compromised owing to biofouling and inflammatory tissue reactions, which eventually increase interfacial resistance and signal sensitivity. Our group have elaborated to instruct microphages to exhibit anti-inflammatory phenotype to resolve excessive inflammatory reaction. Thus, we aimed to fabricate biocompatible and functional implantable conductive polymer bioelectrodes by engineering their topographies or immobilizing anti-inflammatory cytokines (i.e., interleukin-4 [IL-4]) for the modulation of macrophage responses. Specifically, we found that these electrodes with optimal surface roughness significantly reduced macrophage recruitment, induced anti-inflammatory polarization, mitigated scarring around the implanted electrodes, and importantly allowing for recording electrocardiographic signals without substantial decreases in sensitivity. These simple and effective surface modification strategies for developing immune-compatible bioelectrodes will facilitate the development of various electronic medical devices that require high sensitivities and long-term stabilities.

[스마트3-3 | 17:00] 조청강연

Advanced 3D Printing Technologies for Bioceramics with Applications in Tissue Engineering: 윤희숙*(한국재료연구원)

Keywords: Bioceramics, 3D Printing, Material Extrusion, Stereolithography, Tissue Engineering

3D printing (3DP) is a fabrication process that uses digital information stored in a computer-aided design file to stack layers of various materials to produce a 3D object without requiring part-specific tooling. 3DP technologies significantly benefit the biomedical industry by facilitating the on-demand production of low-volume or unique parts that meet patient-specific requirements. Moreover, multi-material 3DP technologies are fascinating in the field of tissue engineering because tissues or organs have multiple functions and are composed of multiple components. Our group recently developed an original material extrusion-based 3DP process for the simultaneous manufacturing of hydrogel-based cells and bioceramics for bone tissue regeneration. This novel process is performed in gel bath conditions, where we could fabricate the self-standing 3D ceramic structure without any supporting structures. Our group also developed a novel stereolithography-based 3DP process for multi-ceramic materials. We were able to mimic both the structure and function of bone. Furthermore, we simultaneously imitated both the shape and color of teeth by manufacturing a functionally graded material structure using two types of feldspathic porcelain for applying aesthetic and restorative dentistry. We believe these new technologies may expand the application market of ceramic 3DP technologies.

KOREA-TAIWAN Global Session
Room 4FL. Convention3, October 30

[K-Taiwan1-1 | 09:00] Invited Talk
Spin-orbit torque devices and their applications for neuromorphic computing: Chih-Huang Lai(National Tsing Hua University)

Spin-orbit torque (SOT) devices are redefining the landscape of neuromorphic computing by enabling adaptive and efficient information processing. We introduce the Néel tensor torque, a new symmetry-breaking mechanism that captures hidden spin correlations in polycrystalline antiferromagnets (AFMs) [1]. This framework enables field-free SOT switching in FM/AFM systems and, remarkably, allows the AFM state to be "trained" and memorized—an unprecedented feature that mirrors synaptic plasticity. Complementing this advance, we demonstrate a PtMn/$(Co/Pd)_4$/Ta multilayer device that unifies binary and multilevel SOT switching within a single geometry [2]. Binary switching provides digital reliability, while multilevel control supports analog weighting for synaptic functions, together achieving high recognition accuracy on benchmark tasks. These breakthroughs highlight how SOT devices can evolve beyond conventional memory elements into multifunctional building blocks for neuromorphic computing, combining efficiency, adaptability, and scalability. [1] Chao-Yao Yang, Sheng-Huai Chen, Chih-Hsiang Tseng, Hsiu-Hau Lin, Chih-Huang Lai*, "Néel Tensor Torque in Polycrystalline Antiferromagnets", Adv. Mater. (2025), doi/10.1002/adma.202506462. [2] Abhijeet Ranjan, Tamkeen Farooq, Chong-Chi Chi, Hsin-Ya Sung, Rudis Ismael Salinas Padilla, Po-Hung Lin, Wen-Wei Wu, Ming-Yen Lu, Rahul Mishra, Chih-Huang Lai* "Dual SOT Switching Modes in a Single Device Geometry for Neuromorphic Computing" Nano Letters, 25 (2025)

[K-Taiwan1-2 | 09:25] Invited Talk
Generative Discovery of Ferroelectrics with a Diffusion Model: Byung Chul Yeo(Pukyong National University)

The discovery of novel ferroelectric compounds remains challenging due to the vast and largely unexplored chemical design space. In this work, we present a generative design framework that couples diffusion-based crystal generation with multi-fidelity screening to accelerate ferroelectric discovery. Leveraging MatterGen, a state-of-the-art diffusion model for inorganic crystals, we produced a large set of candidate structures. These were systematically evaluated through a hierarchical pipeline incorporating universal machine-learning potentials, crystal graph convolutional neural networks, positive-unlabeled learning, and density functional theory with Berry phase calculations. This approach enabled the identification of two previously unknown ferroelectrics exhibiting distinct yet complementary properties. First-principles calculations confirmed their insulating nature, switchable polarization, and favorable thermodynamic and synthetic viability. Our findings not only enrich the family of functional ferroelectrics with experimentally accessible candidates but also demonstrate the potential of generative diffusion models as powerful tools for navigating unexplored materials space.

[K-Taiwan1-3 | 09:50] Invited Talk
Active learning approach in designing entropy alloy nanocatalyst: YongJoo Kim(Korea University)

Keywords: Active learning, Catalyst, Water splitting

Design of bifunctional multimetallic alloy catalysts, which are one of the most promising candidates for water splitting, is a significant issue for the efficient production of renewable energy. Owing to large dimensions of the components and composition of multimetallic alloys, as well as the trade-off behavior in terms of the hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER) overpotentials for bifunctional catalysts, it is difficult to search for high-performance bifunctional catalysts with multimetallic alloys using conventional trial-and-error experiments. Here, an optimal bifunctional catalyst for water splitting is obtained by combining Pareto active learning and experiments, where 110 experimental data points out of 77946 possible points lead to effective model development. The as-obtained bifunctional catalysts for HER and OER exhibit high performance, which is revealed by model development using Pareto active learning; among the catalysts, an optimal catalyst (Pt0.15Pd0.30Ru0.30Cu0.25) exhibits a water splitting behavior of 1.56 V at a current density of 10 mA cm−2. This study opens avenues for the efficient exploration of multimetallic alloys, which can be applied in multifunctional catalysts as well as in other applications.

[K-Taiwan2-1 | 10:25] Invited Talk
Synchrotron x-ray-based combinatorial stoichiometry & microstructure high-throughput machine learning-assisted prediction & validation of a high-entropy-alloy hardness mapping: E-Wen Huang, Mao-Yuan Luo, Ming-Yi Chen(National Yang Ming Chiao Tung University), Ching-Yu Chiang(National Synchrotron Radiation Research Center), Wen-Jay Lee(National Center for High-Performance Computing)

A supervised machine learning (ML) framework using different regression models was applied to predict localized hardness maps based on both composition and microstructure in the $Cu_{15}Ni_{35}Ti_{25}Hf_{12.5}Zr_{12.5}$, and the predictions were evaluated against nanoindentation

hardness map. Favorable element distribution of Ni-Hf-rich dendrite and Cu-Ti-Zr-rich interdendritic regions was obtained using x-ray fluorescence. The lattice characteristic distribution of specific orientations was determined using x-ray nanodiffraction. The nanoindentation hardness was performed and calibrated to correlate with predicted hardness distributions. Using a cluster-wise modeling strategy combined with the CatBoost model enables accurate prediction of mechanical properties in heterogeneous microstructure. The predictive accuracy can be enhanced by incorporating additional microstructural-related features in addition to the composition as input data. The ML-based hardness prediction shows great promise in elucidating the correlation between localized microstructure and hardness at the highly spatially resolved micrometer scale beyond stoichiometry. The methodological development enables scalable, high accuracy prediction of mechanical properties and facilitates future studies on processing-induced heterogeneous microstructures in multicomponent alloys.

[K-Taiwan2-2 | 10:50] Invited Talk

Fundamental Mechanisms of Discontinuous Deformation in Metals at Ultra-cryogenic Temperature: Soo Yeol Lee(Chungnam National University)

Keywords: Cryogenic temperature, Thermally-induced dislocation dynamics, Rate-dependent serrated deformation, Negative strain-rate sensitivity, Hierarchical-dislocation network

Low temperature discontinuous deformation (i.e., low temperature serrated deformation, LTSD) occurring at ultra-cryogenic temperatures is caused by plastic instability and localized-deformation band propagation, which can result in sudden failures or catastrophic accidents. Therefore, understanding LTSD is crucial for ensuring material stability and reliability in a cryogenic environment. However, despite its importance, our understanding of LTSD remains insufficient because it is challenging to prove experimentally. Here we report novel LTSD mechanisms, namely a thermally-induced dislocation-dynamics model. The origin of LTSD is considered to be the unique dislocation behavior under severely limited thermal-vibration energy at 15 K, from which hierarchical dislocation networks and multiple lattice defects are established. In addition, the localized-heating generated from dislocation avalanches of plastic deformation critically induces multiple types of LTSD and gives rise to transitions from heterogeneous to homogeneous deformation. Our findings highlight the rate-dependent nature of LTSD and negative strain-rate sensitivity in the strength-elongation relation and include the first observation of changes in small stress fluctuations and their relationship to the changes in larger serrations.

[K-Taiwan2-3 | 11:15] 초청강연

Data-Driven Prediction of Hardness and Modulus in Additively Manufactured Stainless Steel Using EBSD–Nanoindentation Mapping : Moon-Jo Kim(Korea Institute of Industrial Technology), Daehyun Kim, Sunghee Han(Gangneung-Wonju National University), In-Suk Choi(Seoul National University), Jungho Shin(Gangneung-Wonju National University)

Additive manufacturing (AM) of 17-4PH stainless steel generates heterogeneous microstructures due to rapid solidification, cyclic reheating, and phase transformations. These conditions promote the coexistence of martensite, ferrite, and retained austenite, along with residual stresses and dislocation substructures. As a result, local hardness and modulus vary significantly even at the micrometer scale, highlighting the need for approaches that directly connect microstructure to mechanical response. In this study, electron backscatter diffraction (EBSD) descriptors—including crystallographic texture, phase fractions, grain and phase boundaries, and misorientation-based metrics such as KAM, GOS, GAM, LOS, and LAM—were spatially registered with nanoindentation hardness and modulus maps. This pixel-wise integration enabled quantitative correlation between microstructural features and local mechanical behavior. To improve data fidelity, a two-step preprocessing strategy was implemented. First, a mixture-rule approach was applied to account for FCC–BCC phase coexistence. Second, statistical filtering using Z-score and interquartile range (IQR) criteria was performed to remove outliers associated with boundary effects or poor EBSD indexing. Machine learning models, including Elastic Net regression, support vector regression (SVR), and gradient boosting (XGBoost), were trained using EBSD descriptors as inputs. All models exhibited strong predictive performance, with predicted-versus-measured comparisons showing close agreement. Importantly, model interpretation revealed clear physical trends: hardness was strongly dependent on phase constitution, with BCC regions consistently harder than FCC reguibs. Modulus differences between FCC and BCC phases were more modest but systematic. Misorientation metric, particularly GOS, and phase boundary emerged as influential predictors. This work demonstrates that combining EBSD-derived microstructural descriptors with nanoindentation data and machine learning offers both accurate prediction and mechanistic insight into property variability in AM 17-4PH stainless steel. The framework provides a robust approach for linking microstructure to micromechanical performance and can be extended to other alloys. These findings underscore the potential of microstructure-informed, data-driven methods for advancing alloy design, process optimization, and performance prediction in additive manufacturing.

항공재료
Room 2층 201/3, 10월 31일

[항공1-1 | 09:00
Molecular bonding of Ti/CFRP interfaces using polydopamine: influence of surface morphology on adhesion performance: Raj Narayan Hajra, Appiah Emmanuel, Gargi Roy, Shonmin Aan, Jeoung Han Kim*(Hanbat National University)
Keywords: Bio-inspired adhesion, Polydopamine coating, Ti-6Al-4V/CFRP bonding, Surface morphology, DFT and molecular dynamics

This study explores a bio-inspired strategy for achieving strong molecular bonding between Ti-6Al-4V (Ti64) alloy and carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) using polydopamine (PDA) surface functionalization. Inspired by mussel adhesive proteins, PDA introduces catechol and amine groups that enable robust adhesion to both metal and polymer surfaces. The research systematically investigates the influence of Ti64 surface morphology—equimolar (EM), bimodal (BM), and lamellar (LM1, LM2)—on interfacial adhesion. Surface treatments, including acid etching, alkali activation, and triazine functionalization, were applied to tailor roughness and surface chemistry (Ti–OH formation), which govern PDA anchoring. Experimental results show that shear strength of Ti64/CFRP joints increased from ~6 MPa (untreated) to over 21 MPa (surface-activated + PDA). XPS analysis revealed that LM2 microstructure exhibited the highest Ti–OH content, correlating with superior PDA coverage and cohesive fracture behavior. Complementary DFT and molecular dynamics simulations confirmed dopamine's open conformation as more reactive and demonstrated strong interactions with Ti surfaces. These findings provide mechanistic insights into microstructure–chemistry–adhesion relationships, offering a pathway to design lightweight, durable hybrid structures for aerospace and advanced engineering applications.

[항공1-2 | 09:15]
폐단면 관재의 3차원 열간 자유 튜브 성형(3D-HTFF) 공정 적용 가능성 검토: 김정욱, 이승환(한국재료연구원), 김소연, 이석규(현대자동차), 권용남, 이동준, 석무영, 최현성, 박현일*(한국재료연구원)
Keywords: UAM, 경량 소재, 3D-HTFF, FEM

폐단면 관재는 경량화와 구조 강성 확보를 동시에 달성할 수 있는 부재로서, 차세대 항공 모빌리티 분야로의 적용 가능성도 모색되고 있다. 그러나 기존의 관재 롤포밍 및 3D-CNC 벤딩 공정은 복잡한 3차원 형상 구현 시 곡률 반경 선택에 제약이 따른다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 본 연구에서는 소재 투입–유도 가열–로봇 벤딩–급속 냉각으로 이어지는 연속 공정을 기반으로 한 3차원 열간 자유 튜브 성형(3D-HTFF, Hot Tube Free Forming) 기술의 적용 가능성을 검토하였다. 성형 거동 해석을 위해 고온 물성을 확보하고 이를 활용한 유한요소 해석 모델을 구축하였으며, 다양한 공정 조건에서 모재의 미세조직 진화, 잔류응력 분포 및 기계적 강도를 체계적으로 평가하였다. 특히, 유도 가열–급속 냉각 및 서냉 조건을 비교하여 냉각 시나리오별 조직 안정성과 잔류응력 제어 가능성을 분석하였다. 본 연구는 현재 자동차 루프사이드 구조 부품 적용을 중심으로 수행되고 있으나, 향후 알루미늄 합금을 포함한 항공용 경량 소재로의 확장 가능성을 모색한다. UAM과 같은 차세대 항공 모빌리티 구조물은 높은 형상 자유도, 경량·고강도 요구, 공정 일관성이 중요하므로, 3D-HTFF 공정은 곡률 제약 완화 및 공정 단순화 측면에서 잠재적 이점을 제공할 수 있다. 이러한 연구는 자동차와 항공 모빌리티 분야를 아우르는 차세대 관재 구조 부품 제조를 위한 설계–공정 연계 전략 수립에 기여할 것으로 기대된다.

[항공1-3 | 09:30]
레이저 분말 적층 융합으로 제조된 인코넬 718 격자 구조의 압축 거동 및 미세조직과의 상관관계 분석: 정다은(국민대학교), 강성민(가천대학교), 강성규(경상국립대학교), 이경준(가천대학교), 성효경*(국민대학교)
Keywords: 적층제조, 유한요소해석, 인코넬 718 , 초합금, 격자구조

니켈 기반 초합금인 인코넬 718 은 우수한 내식성과 내열성을 바탕으로 고온 환경에서도 기계적 강도를 유지할 수 있어 항공 엔진 및 터빈 블레이드와 같은 극한 환경용 구조재에 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 합금을 벌크 형태로 적용할 경우 중량 증가로 인한 연비 저하 문제가 발생할 수 있어, 항공 산업에서는 동일한 기계적 성능을 유지하면서도 경량화를 실현할 수 있는 새로운 설계 전략이 요구되고 있다. 본 연구에서는 레이저 분말 적층 융합 적층 제조 공정을 활용하여 인코넬 718 합금을 기반으로 한 격자 구조 시편을 제작하였다. 레이저 분말 적층 융합 공정은 레이저 출력, 주사 속도, 해치 간격과 같은 공정 변수를 정밀하게 제어할 수 있어 기존 주조 및 가공 방식으로는 구현하기 어려운 복잡한 격자 구조 제작이 가능하다. 본 연구에서는 Dode-thin, Tesseract, Auxetic 세 가지 대표적인 격자 구조를 설계하여 제작하였으며, 이를 대상으로 압축시험을 수행하여 구조별 기계적 특성을 비교하였다. 그 결과, Tesseract 구조가 가장 높은 초기 압축 강도를 보였으며, 이후 Auxetic, Dode-thin 순으로 강도가 나타났다. 이러한 차이는 격자 구조의 기하학적 설계에 따라 하중 전달 경로와 변형 집중 영역이 달라지기 때문으로 해석된다. 또한, 전자후방 산란 회절 분석을 통해 파단면 및 변형 영역의 미세조직을 정밀 관찰하였다. 분석 결과, 격자 구조로 제작된 시편은 벌크 소재와는 다른 미세조직 특성을 보였으며, 특히 동일 시편 내에서도 위치별 변형률 분포에 따라 미세조직이 상이하게 진화하는 것이 확인되었다. 변형이 집중되는 영역에서는 쌍정 발생과 전위 집적이 뚜렷하게 나타났으며, 이는 전체 구조적 거동과 국부 파괴 메커니즘에 직접적인 영향을 주는 것으로 분석되었다. 추가적으로, 유한요소해석을 통해 압축 거동을 예측하고 이를 실험 결과와 비교하

였다. 해석 결과는 전반적으로 실험 경향과 일치하였으나, 좌굴이나 파단이 발생하는 구간에서는 불일치가 관찰되었다. 이를 보완하기 위해 마찰계수와 경계조건을 조정하고, 파단 변형률과 파단 에너지 값을 변화시켜 해석 모델을 보정한 결과, 실험과의 정합도를 향상시킬 수 있었다. 결론적으로, 본 연구는 레이저 분말 적층 융합 공정으로 제작된 인코넬 718 격자 구조가 단순한 경량화 효과를 넘어, 위치별 변형률에 따른 미세조직–거동 상관관계를 규명함으로써 구조적 신뢰성을 확보할 수 있음을 입증하였다. 이는 향후 항공엔진 및 고온 환경용 경량 구조재의 설계와 최적화에 중요한 기초 데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[항공2-1 | 09:55]

Reliability Assessment of Non-Destructive inspection Using Additively Manufactured Artificial Defect Specimens: Koo Hyeonsoo(Korea National Defense University), Kwon Hyukjun (Aero Technology Research Institute), Kim Youngchan , Lee Dooyoul *(Pusan National University)

Keywords: Additive manufacturing technology, non-destructive inspection, eddy current inspection

Various non-destructive inspection (NDI) techniques are being utilized to detect cracks early for the flight safety of aircraft structures, but it is difficult to obtain actual cracked parts to verify them. In this study, artificially defective specimens were manufactured using Additive manufacturing technology to solve this problem. The manufactured specimens were subjected to various destructive/non-destructive tests, including eddy current testing, to quantitatively evaluate the detection performance according to the defect size of the specimen. The results of this study can be applied to the reliability evaluation of NDI and structural reliability analysis, and in particular, it is expected to contribute to overcoming the difficulties of experimental data collection and developing a highly reliable defect detection model.

[항공2-2 | 10:10]

HIP처리가 단결정 초내열 합금의 크리프 특성에 미치는 영향: 조대현(창원대학교), 구지호(한화에어로스페이스), 이재현(창원대학교)

Keywords: 초내열합금, IN792, 단결정, HIP(Hot Isostatic pressing), 크리프

IN792는 니켈기 초합금으로 중고온에서 우수한 기계적 특성을 나타내지만 주조 결함에 민감하다. 본 연구에서는 저렴한 합금 활용을 위해 0.6 wt% Hf을 첨가한 modified IN792를 단결정으로 주조하였다. 단결정 합금은 일반적으로 기공률이 낮고 재결정 문제로 HIP을 적용하지 않지만, 본 연구에서는 기계적 특성 향상을 위해 초고속 냉각속도(660K/분)가 뒤따르는 HIP 공정을 적용하였다. HIP 온도와 시간을 용체화처리 조건과 동일하게 설정하여 용체화처리 대체 가능성을 검토하였다. 그 결과 HIP + 용체화 + 시효처리에서 가장 우수한 특성을 나타냈으며, 이는 γ′ 상의 크기와 형태 변화에 의한 것으로 분석되었다.

[항공3-1 | 10:35]

Zr 함량에 따른 IN792 초내열합금의 고체/액체 계면 에너지 변화와 고온균열 민감성: 진혜승(국립창원대학교), 한승전, 최은애, 서성문, 정일석(한국재료연구원), 구지호(한화에어로스페이스), 이재현*(국립창원대학교)

Keywords: 초내열합금, IN792, 일방향응고, 주조성, Zirconium

터빈블레이드 소재로 많이 활용되는 IN792의 경우 주조성이 나쁘기 때문에 터빈블레이드를 일방향주조를 하게 될 경우 고온균열이 발생한다. IN792 합금에서 미량 합금원소인 Zr의 함량이 고온균열 민감성을 결정하는 핵심 요소로 알려져 있으나, 그 원자론적 메커니즘은 명확히 규명되지 않았다. 본 연구는 M3GNet 기계학습 원자간 포텐셜을 활용한 분자동역학(MD) 시뮬레이션을 통해 IN792 초내열합금의 고체-액체 계면 에너지에 대한 Zr 함량의 영향을 정량적으로 조사하였다. 젖음성 측정을 통한 MD 시뮬레이션을 수행하여 고체-액체 계면 에너지를 정밀하게 계산하였으며, Zr 농도를 체계적으로 변화시켜 계면 에너지 변화를 측정함으로써 정량적 관계를 확립하였다. 연구 결과, Zr 함량 증가에 따른 고체-액체 계면 에너지(γ_{sl})의 감소 양상을 원자 수준에서 직접적으로 정량화할 수 있었다. 이러한 계면 에너지 변화는 결정립계에서 $\gamma_{gb} > 2\gamma_{sl}$ 조건을 더욱 쉽게 만족시켜 응고 마지막 구간에서 반발성 계면을 형성하며, 이는 연속적인 액상 필름의 안정화를 통해 고온균열 민감성 증가로 이어지는 메커니즘을 제시한다. 일방향 주조성 테스트를 통해 Zr 효과를 실험적으로도 입증하였다.

[항공3-2 | 10:50]

직접용융증착법으로 제조된 Inconel 625 / Al_2O_3경사기능재의 단열 및 기계적 특성: 유현용(경상국립대학교), 유진영(부산대학교), 김태현, 이진수(경남대학교), 안성열(포항공과대학교), 이태경(부산대학교), 김세윤(경남대학교), 김형섭(포항공과대학교), 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: Thermal Barrier Coating, Directed Energy Deposition, Functionally Graded Material, Laser Flash Analysis

가스터빈의 열효율 향상을 위한 터빈 작동 온도의 지속적인 상승으로 인해 내열소재가 노출되는 환경이 가혹해지고 있다. 상기 문제를 해결하기 위해 부품 내 냉각유로 설계에 기반한 냉각을 유도했으나, 터빈 온도의 지속적인 상승에 따라 냉각을 활용한 온도 감소에 한계가 발생하면서 열차폐 코팅(Thermal Barrier Coating, TBC)기술이 필수적으로 요구되고 있다. TBC는 금속 모재 위에 세라믹 층을 형성하여 우수한 단열 성능을 제공하지만, 금속과 세라믹 간의 열팽창계수 차이로 인한 박리현상이 여전히 문제로 남아 있다. 따라서, 본 연구에서는 직접용융증착법(Directed Energy Deposition, DED)으로 금속과 세라믹의 조성을 점진적으로 변화시켜 열적 특성 차이를 최소화할 수 있는 경사기능재(Functionally Graded Material, FGM)를 구현하며, 이를 기존 TBC 구조에 적용할 수 있는 가능성을 평가하였다. Inconel625와 Al_2O_3에 대하여 Laser Power, Scan Speed, Powder Feed Rate를 변화시키며 적층을 수행한 결과, 분말 과열 현상 및 박리현상 없이 목표높이에 도달할 수 있는 최적조건은 150 W, 900 mm/min, 2 g/min으로 확인되었다. 적층 시 용융풀 내에 두 상의 혼합이 발생하였으며, 이로 인한 FGM의 결합은 3점 굽힘 시험 진행 시 균열 전파를 억제

하며, 파괴까지 추가적인 에너지를 요구하는 특성을 나타냈다. 또한, 레이저 섬광 분석(Laser Flash Analysis, LFA) 시험 결과 FGM은 낮은 열전도도를 가지며 열차폐 기능을 수행할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 DED 공정이 고온 부품의 TBC 수리 및 신규 제조를 위한 효과적인 대안 전략될 수 있음을 제시하였다.

[항공3-3 | 11:05]

직접용융증착법을 활용하여 접합한 IN738LC/CM247LC 이종소재의 인장 변형 중 계면 안정성 : 성예찬, 강호성, 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: Additive Manufacturing, Directed Energy Deposition, Inconel alloy, Carbide, Interface

항공 및 발전용 터빈 부품에 주로 사용되고 있는 고온부품에서는 1200°C 이상의 고온환경, 잦은 기동 및 정지로 인하여 다양한 기계적 손상이 발생할 수 있다. 기존에는 유지보수를 위하여 신규 부품을 수입하여 교체하였으나, 최근 글로벌공급망의 불안정에 따라 높은 비용 및 시간이 소모되고 있다. 상기 문제점을 해결하기 위해 유지보수 기술의 국산화를 통한 비용 절감이 요구됨으로 본 연구에서는 터빈용 고온부품에 많이 활용되는 CM247LC 합금 기지에 직접용융증착법을 이용해 IN738LC 합금을 접합하여 유지보수 가능성을 평가하고자 한다. 적층 과정에서는 공정변수에 따른 결함을 줄이기 위하여 반응표면분석법을 적용해 최적 공정조건을 도출하였으며, 열처리 과정에서의 변화를 관찰하기 위하여 보편적인 CM247LC 합금의 열처리조건에서 열처리 유무를 구분하였다. 그 결과, 열처리를 진행하지 않은 시편의 접합부에서 일부 원소의 확산에 의한 미세균열 및 탄화물이 관찰되었으며, 대부분 W, Ta, Ti에 기반한 탄화물로 분석되었다. 또한, 열처리가 진행된 시편에서는 접합부에 존재하던 균열들이 CM247LC 영역으로 전파되어 기판에서의 손상이 발생한 것을 확인하였다. 상기 결과는 접합 중 계면에서 발생되는 이차상 및 열처리 과정이 모재의 안정성에 큰 영향을 미침을 보여주며, 고찰에서는 접합부의 미세균열 및 탄화물이 기계적 특성에 미치는 영향과 열처리 과정에서 확산된 균열의 원인에 대하여 다루었다.

[항공3-4 | 11:20] Canceled

재료분석
Room 2층 206/7, 10월 31일

[분석1-1 | 09:00]
XRD 기반 냉간압조용 선재의 오스템퍼링 열처리에 따른 베이나이트 분율 정량화 방법: 김장중, 최준혁, 조기섭*(국민대학교)
Keywords: 냉간압조용선재, 오스템퍼링, 베이나이트 함량, 저합금강

건설용 볼트로 사용되는 고강도 냉간압조용(Cold Heading Quality, CHQ) 선재는 냉간가공 이후, 기계적 성질을 확보하기 위한 열처리 공정이 필수적이다. 일반적으로 사용되는 QT(Quenching and Tempering) 열처리는 템퍼드 마르텐사이트 조직을 통해 높은 강도를 확보할 수 있으나, 공정 중 뒤틀림이나 균열, 뜨임 취성 등이 발생할 우려가 있다. 따라서 항온 열처리를 통해 균열이나 뒤틀림을 방지하고 베이나이트 조직을 형성하여 강도와 연신율을 동시에 확보하는 오스템퍼링 공정이 요구된다. 하지만 오스템퍼링 공정을 통해 형성된 베이나이트 조직의 경우 정량 평가를 위한 방법론이 부재하여 물성과 미세조직 간의 상관관계에 대한 분석에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 CHQ용 저합금강에 대해 다양한 오스템퍼링 열처리 조건(온도 및 시간)을 적용하여 베이나이트 조직을 형성하고, 이를 정량적으로 평가하는 방법론을 개발하였다. 오스템퍼링 과정에서 오스테나이트에서 베이나이트로의 상변태 시 탄소 재분배에 따른 격자 상수 변화를 이용하여, XRD 분석을 통해 측정된 격자 상수와 베이나이트 분율 간의 상관관계를 구축함으로써 베이나이트 조직을 정량적으로 평가하는 새로운 방법론을 제시하였다.

[분석1-2 | 09:15]
SEM 이미지 기반 석출물 분율 측정의 한계와 AFM 검증: 허성준, 천해영, 허성, 하준영, 박노근*(영남대학교)
Keywords: SEM, AFM, Precipitate fraction, Qauntitive microstructural analysis

석출물 분율은 합금의 기계적 물성과 미세조직적 특성을 평가하는 데 중요한 인자로 널리 활용되고 있다. 합금 내 석출물 분율은 재료의 기계적 특성과 거동을 예측하는 데 핵심적인 요소이지만, 이를 관찰·분석하는 도구에 따라 측정 결과가 달라질 수 있다. Scanning Electron Microscopy(SEM)은 미세조직 연구에 폭넓게 이용되지만, 전자빔의 침투 특성으로 인해 실제 표면에 존재하지 않는 하부 석출물까지 이미지에 반영되는 문제가 발생한다. 그 결과, 석출물 분율은 실제보다 높게 측정될 수 있으며, 이는 SEM 단독 해석의 정확도와 신뢰도를 저해하는 요인으로 작용한다. 본 연구는 이러한 한계를 규명하고자 Atomic Force Microscopy (AFM)을 이용해 SEM 이미지 결과를 검증하였다. 동일 시편에 대해 두 기법을 통해 관찰을 수행한 결과, SEM 이미지에서는 표면 하부 석출물까지 함께 나타나 분율이 과대평가 되었음을 확인하였으며, AFM 분석을 통해 표면에 실제로 존재하는 석출물 분율을 분리해 낼 수 있었다. 이를 통해 SEM 이미지 기반 분율 측정이 가진 구조적 한계를 실험적으로 입증하였으며, AFM을 통한 검증 과정이 이러한 문제를 해석하는 데 유용함을 보여주었다. 본 연구는 SEM 해석 시 오차 발생 가능성에 대한 이해를 심화시키고, 보다 정확한 미세조직 정량 분석을 위한 참고 근거를 제공한다.

[분석1-3 | 09:30]
Characterization of Formability Limits and Fracture Modes in DC05/AA5052 Dissimilar Joints Fabricated via Friction Stir-Assisted Synchronous Incremental Forming-Bonding: Zaigham Saeed Toor, Renhao Wu, Man Jae SaGong(POSTECH), Yue Wu, Xinmei Liu, Meng Li(Shanghai Jiao Tong University), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)
Keywords: Aluminum alloy-steel laminates, Integrated bonding with forming, Thermo-mechanical damage evolution, Fracture prediction, Subroutine numerical modelling

Despite attractive mechanical-physical properties that favour industrial adoption, laminated aluminum-steel (Al-St) composites face fabrication difficulties arising from inherent material disparities. Traditional thermal joining approaches exhibit limited control over interfacial Fe-Al intermetallic compounds, resulting in crack-prone bonds that constrain performance. To overcome these limitations, we propose an integrated friction stir-assisted double-sided incremental forming with synchronous bonding (FS-DSIF&SB) process for manufacturing truncated conical laminates from dissimilar AA5052 aluminum and DC05 steel sheets. A thermomechanical sensitive fracture model incorporating stress triaxiality, temperature, and strain rate dependencies was implemented through a VUSDFLD subroutine to quantify ductile damage. Validation via high-temperature tensile testing and forming experiments demonstrates predictive accuracy, with damage localization analysis revealing preferential fracture in the outer aluminum layer. Process optimization substantially enhances formability and geometrical flexibility, highlighting suitability for advanced multi-material applications.

[분석1-4 | 09:45]
Failure Analysis of Head Cracking in 12.9-Grade SNCM439 Bolts: Park Ki Duck, Oh Dong Hyun, Ham Jong Oh*(Korea Testing and Research Institute)
Keywords: 12.9-grade bolt, head cracking, band structure, segregation, residual stress

Radially oriented cracks on the bolt head surface were observed at the center of a 12.9-grade M45 high-strength bolt. Chemical composition met the SNCM439 specification in KS D 3867. Metallographic/SEM-EDS/EPMA observation revealed longitudinal band structure with MnS inclusions and enrichment of Mo, Mn, and Cr within the white bands; microhardness in these regions was higher

than the surroundings. Finite-element analyses under forging-like conditions predicted multiaxial compressive stress concentration at the bolt-head center. Taken together, the cracking is attributed to the superposition of microstructural banding (formed during processing) and stress concentration/residual stress at the head center introduced by the heading operation.

[분석1-5 | 10:00]

결정학적 정보를 활용한 복합다상강의 정밀 상분석: 신누리(현대제철연구소,성균관대학교), 강훈철, 서용기(현대제철연구소), 양철웅(성균관대학교)

Keywords: Displacive phase transformation, Bainite, Martensite, Electron backscatter diffraction, Crystallographic characterization parameter

복합다상강은 목표 물성을 확보하기 위해 화학 조성과 제조 공정을 제어하여 최종 구성상의 종류와 분율을 조절한다. 따라서 구성상과 물성 간 상관관계를 이해하고 이를 활용하기 위해서는 정확한 정량 분석이 필수적이다. 특히 복합다상강 구성상 중 저온상에 해당하는 베이나이트와 마르텐사이트는 복잡한 하위 구조와 불명확한 변태 메커니즘으로 인해 분석 결과 해석의 일관성이 부족하다. 이는 페라이트상의 형상, 이차상의 존재 여부 및 종류, 시멘타이트 분포 등 조직 특성이 상마다 상이하여 분석자 간 해석 차이가 발생하기 때문이다. 또한 실제 제조 과정에서 열처리 조건에 따라 불완전 변태가 발생하면 상간 경계가 모호해져 상분류 기준 적용이 어려워지고, 이로 인해 상분석 결과의 신뢰성 확보가 더욱 어려워진다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해 형상학적 해석뿐만 아니라 결정학적 해석을 활용한 상분석이 활발히 이루어지고 있으나, 결정학적 해석 역시 상분류 기준 설정에 따라 해석 결과가 달라지는 한계가 존재한다. 이에 본 연구에서는 분석 신뢰성 향상을 목적으로, 기존 연구 결과를 기반하여 1차 형상학적 해석을 수행한 후, 분류가 모호한 저온상 영역에 대해 EBSD(Electron Backscattered Diffraction)로 얻은 Crystallographic characterization parameter를 비교 분석하여 보다 정밀한 저온상 분류 기준을 제시하고자 한다.

열전
Room 2층 206/7, 10월 31일

[열전1-1 | 10:30]
Thermoelectric Properties of n-type $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ Compounds as a Function of Sintering Temperature: Vu Ba Linh(Korea Institute of Materials Science,Kyungpook Nation University), Injoon Son(Kyungpook Nation University), Kyung Tae Kim, Seungki Jo*(Korea Institute of Materials Science)
Keywords: Thermoelectrics, Bi_2Te_3, Spark plasma sintering, donor-like effect

n-type $(Bi,Sb)_2Te_3$ has recently emerged as a promising alternative to the conventional n-type $Bi_2(Te,Se)_3$. Although controlling the donor-like effect in n-type $(Bi,Sb)_2Te_3$ is crucial for optimizing its thermoelectric efficiency, related studies remain scarce. In this work, we investigate the influence of sintering temperature on the thermoelectric properties of n-type $(Bi,Sb)_2Te_3$. An increase in sintering temperature promotes a recovery effect, resulting in reduced carrier concentration and an improved power factor, reaching 2.66 mW m-1 K-2 at 298 K. Consequently, the zT value at room temperature is enhanced by 63%, with the highest zT of 0.52 obtained at 423 K for the sample sintered at 793 K.

[열전1-2 | 10:45]
Enhancing Room-Temperature Thermoelectric Performance of n-Type $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ through Copper-Alloyed Microstructural control: Jong Min Park(Korea Institute of Materials Science,Kyungpook National University), Soo-ho Jung, Linh Ba Vu, Jinhee Bae, Seungki Jo(Korea Institute of Materials Science), Kwi-Il Park*(Kyungpook National University), Kyung Tae Kim*(Korea Institute of Materials Science)
Keywords: Thermoelectric, Cu alloying, Melt spinning, peak ZT shift, Device

Among thermoelectric materials, bismuth telluride (Bi_2Te_3)–based compounds are highly effective for power generation near room temperatures. For optimal device performance, the maximum figure of merit (ZT) values of the p-type and n-type materials must occur at similar operating temperatures. In this work, we propose an approach to tune the peak ZT of selenium-free n-type $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ (BST) alloys toward room temperature through copper (Cu) addition and controlled microstructural design. Introducing Cu via ball milling enhanced the Seebeck coefficient; however, the appearance of sizable Cu-rich precipitates caused a decrease in electrical conductivity. Applying melt spinning after alloying ensured a more uniform distribution of Cu, improved the electrical transport properties, and generated point defects that contributed to a reduction in lattice thermal conductivity. Through the combined action of these effects, the peak ZT shifted to lower temperatures, achieving better compatibility with p-type materials. A four-leg thermoelectric module fabricated from melt-spun BST with 0.1 wt% Cu achieved 20% greater output power at T_{hot} = 450 K compared with pristine BST, confirming that Cu-alloyed microstructural modification is a promising route for enhancing n-type BST performance in device applications.

[열전1-3 | 11:00]
Nanowire?Bundled Grain Boundaries in Thermoelectric Materials: Park GwangMin(Korea University,Korea Institute of Science and Technology), Lee Seunghyeok(Korea Institute of Science and Technology,Hanyang University ERICA), Hong Jinseok, Nahm Seokho (Hanyang University), Baek Seung-Hyub, Kim Jin-Sang(Korea Institute of Science and Technology), Lee Seung-Yong*(Hanyang University), Kim Seong Keun*(Korea University,Korea Institute of Science and Technology)
Keywords: Bi_2Te_3, interfaces, nanowires, phonon scattering, thermoelectric materials, Atomic layer deposition

Improving thermoelectric material performance is essential for energy harvesting and solid-state cooling applications. This study demonstrated a novel structure of Bi_2Te_3-based thermoelectric materials with ZnO nanowire-bundled grain boundaries, realized via atomic layer deposition (ALD) and subsequent spark plasma sintering (SPS). The ZnO nanowires formed at the interfaces due to the rearrangement of the ALD-grown ZnO ultrathin layer over $Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te_3$ powder, driven by localized heating during the SPS process and the anisotropic nature of ZnO. The nanowire-bundled interfaces enhanced phonon scattering, thereby reducing lattice thermal conductivity while maintaining excellent electronic transport. This structural innovation achieved a high figure-of-merit, $zT_{max} = 1.69 \pm 0.09$ at 373 K and an average zT of 1.55 over the range of 300–473 K. A thermoelectric module fabricated with 127 p–n pairs achieved a record-high conversion efficiency of 6.57% at a temperature difference of 163 K. These findings highlight the potential of nanowire-bundled interfaces to enhance the thermoelectric material performance and pave the way for scalable next-generation energy conversion technologies.

[열전1-4 | 11:15]
데이터 기반 열전 설계를 위한 소재 물성 데이터의 표준화 및 통합 관리 체계: 손지희, 장정인, 박종호, 정재환, 박수동, 류병기*(한국전기연구원)
Keywords: 열전 물성 데이터, 표준화, 통합 관리 체계, 데이터 신뢰성, 데이터 기반 소재 설계

열전 소재 및 소자의 에너지 변환 성능 평가는 열전/전기/열 물성 데이터를 기반으로 이루어진다. 그러나 기존 문헌 기반 데이터

는 연구 그룹마다 상이한 합성 조건, 측정 방법, 데이터 표기 방식 등으로 인해 일관성이 낮고, 물성 비교나 머신러닝 등 데이터 기반 연구 활용에 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 동일 연구 그룹이 합성하고 측정한 데이터를 기반으로, 데이터 투명성과 신뢰성을 확보할 수 있는 표준화된 열전 소재 실험 물성 데이터 통합 관리 체계를 구축하고, 그 미래 활용 가능성을 제시하고자 한다. 각 데이터는 표준화된 템플릿을 통하여 개별 연구자가 소재 조성, 공정, 물성 정보를 정리할 수 있게 하였다. 시료의 반복 합성, 재측정, 장비 간 교차 검증 등 실험 이력을 함께 기록하여 재현성과 신뢰성을 확보하고자 하였다. 또한, 파이썬 기반의 통합 코드를 통해 실험 데이터를 중앙에서 효율적으로 관리할 수 있는 체계를 구현하였다. 이를 바탕으로, 지난 10년 이상의 기간 동안 축적된 Bi2Te3, GeTe, PbTe, 실리사이드, Half Heusler, Mg합금 등 다양한 열전 물질들에 대한 수백 건의 실험 물성 데이터를 통합할 것으로 기대한다. 이러한 열전 실험 물성 데이터 통합 관리 체계는 물성 변화의 정량적 비교와 조건별 분석을 용이하게 하며, 연구실 내 데이터의 신뢰성과 투명성을 크게 높일 수 있다. 나아가, 조성-물성 곡선 기반의 소재 조성 및 공정 설계, 목표 물성 소재 탐색, 고속 고효율 소자 설계, 머신러닝 기반 성능 예측 등, 다양한 데이터 기반 연구에 활용될 것으로 기대된다.

[열전 1-5 | 11:30] 초청강연]

3D 레그구조 기반 열 저항 향상을 통한 교정용 표준열전소자 개발: 박상현*, 구은아, 강새별(한국에너지기술연구원), 박수동(한국전기연구원)

Keywords: 교정용 표준열전소자, 3D 레그, 열저항

열전소자는 온도차를 전기 에너지로 변환할 수 있는 고체형 에너지 변환 장치로, 성능 향상을 위한 소재 및 구조 설계 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 아직까지 열전소자의 발전 특성 측정에 대한 표준화된 프로토콜이 부재하여, 연구기관 간 정량적인 비교가 어렵다는 한계가 존재한다. 이러한 문제는 열전 기술의 산업적 확산과 기술 검증 과정에 있어 주요한 제약으로 작용하며, 이를 해결하기 위해 측정 기준으로 활용 가능한 표준 열전소자의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 열전소자의 정량적 계측 기준 마련을 위해, 외부 조건 변화에 안정적으로 반응하며 반복 측정에 대한 재현성이 확보 가능한 교정 변수를 설정하고, 이를 기반으로 한 표준열전소자의 구조 설계를 진행하고자 한다. 고온 환경에서도 물성 변화가 적은 금속계 열전 소재를 중심으로 안정적인 조합을 탐색하고, 이들의 낮은 열전 성능을 보완하기 위해 열전 레그의 열저항을 증가시킬 수 있는 기하학적 형상 설계를 도입한다. 또한, 금속-금속 접합 기반의 계면 안정성 확보를 위한 공정 조건을 바탕으로 실제 소자를 제작하고, 반복 계측을 통해 출력 신호의 일관성과 구조적 타당성에 대해 실험적으로 검증하고자 한다. 개발되는 표준 열전소자는 향후 열전소자의 성능 비교 및 측정 장비의 교정에 활용될 수 있으며, 장기적으로는 국제적인 측정 표준 정립을 위한 기초 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

역학측정
Room 2층 208, 10월 31일

[역학1-1 | 09:00]
하이브리드 적층 구조를 갖는 생분해성 봉지 재료의 기계적 특성 및 수명 모델링 평가: 유현지(UNIST), 황경석(Harvard University), 강승균(서울대학교), 김주영*(UNIST)
Keywords: 생체재료, 봉지재료, 기계적 특성, 수명 모델링
체내 조직과 직접 상호작용하는 생분해성 소자는 수술 후 모니터링, 무선 약물 전달 등 다양한 의료 분야에 활용되고 있다. 이러한 소자는 체액과 반응하여 분해되는 재료들로 구성되므로, 요구되는 최소 수명 동안 안정적으로 작동하기 위해 체액 침투를 효과적으로 차단하는 봉지 재료가 필수적이다. 특히 혈관과 같이 낮은 탄성 계수를 가지며 혈액의 흐름에 따라 반복적인 기계적 변형이 발생하는 조직에 적용될 경우, 동적 응력을 완화할 수 있도록 얇고 유연한 봉지 재료가 요구된다. 또한 소자의 목적에 따라 적절한 수명 조절이 필요하며, 체내 잔류 기간이 지나치게 길어질 경우 추가 면역 반응을 유발해 부작용이 발생할 수 있으므로 이를 고려한 봉지 재료 설계가 중요하다. 본 연구에서는 생분해성 무기 재료와 유기 재료를 교차 적층한 하이브리드 다층 봉지 재료를 개발하여 물의 침투 경로를 효과적으로 차단하고 층 수에 따른 수명 제어가 가능한 시스템을 구축하였다. 기계적·열적 특성이 크게 다른 두 재료의 안정적인 적층을 위해, 나노-마이크로 일축 인장 시험을 통해 측정한 기계적 물성과 열적 특성에 기반하여 PDMS 스탬프를 활용한 전사 공정을 최적화 하였다. 최종적으로 혈압 등 체내 미세 동적 신호 측정이 가능한 소자에 본 봉지 재료를 적용하는 것을 목표로, 층 수에 따른 수명 모델링과 실험 결과를 비교·분석하였다.

[역학1-2 | 09:15]
Exploring the local and global deformation in L-PBF processed multi-layered medium-entropy alloys: Gao Zhe(Hanyang University), Dong-Hyun Lee(Chungnam National University), Yakai Zhao(Institute of Materials Research Engineering), Hyoung Seop Kim(POSTECH), Upadrasta Ramamurty(Nanyang Technological University), Jae-il Jang*(Hanyang University)
Keywords: Exploring the local and global deformation in L-PBF processed multi-layered medium-entropy alloys
This study investigates the micromechanical behavior of additively manufactured multi-layered samples comprising alternating layers of hard CoCrNi and soft $CoCrNi_2$ medium-entropy alloys (MEAs), both derived from the Cantor high-entropy alloy. The multi-layered MEAs were fabricated via laser powder bed fusion (L-PBF) and examined using macro- and micro-scale digital image correlation techniques to capture global and local deformation behaviors, respectively. The results revealed a complex interplay between local and global deformation, governed by plastic constraint within individual layers and interfacial regions. This relationship was further probed through nanoindentation experiments performed on each layer before and after hydrogen charging, providing new insights into how hydrogen influences the underlying deformation mechanisms in multi-layered MEA systems.

[역학1-3 | 09:30]
고체냉각 소재 La-Fe-Co-Si 합금의 열간 변형 거동 및 자기 열량 특성 분석: 양선영(UNIST), 이광석, 신다슬(한국재료연구원), 김주영*(UNIST)
Keywords: La-Fe-Co-Si 합금, 자기 열량 효과, 나노인덴테이션, 열간 압연, 다단계 열처리
저탄소 경제 시대에 대응하여 온실가스 배출량을 감소시키기 위해 독성 가스 냉매의 사용이 제한됨에 따라 기존 가스 냉각 시스템의 대체 기술로 자기냉각 기술이 주목받고 있다. 고체 냉각 소재(Magnetocaloric materials)는 자기장 인가에 따른 온도 변화 특성을 활용하여 냉각을 구현하는 차세대 친환경 냉매로 많이 사용된다. 그 중 La-Fe-Co-Si 합금은 상온 근처에서 우수한 자기 열량 효과와 낮은 히스테리시스, 비유독성 원소 조성으로 이루어져 있어, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자기냉각 장치의 효율을 극대화하기 위해서는 냉각소재와 열교환 매체 사이의 열전달 성능이 우수해야 하며, 이를 위해 판재, 와이어 등 복잡한 형상으로 제조하는 최적 형상 부품화 기술이 필수적이다. 그러나 La-Fe-Co-Si 합금은 고유의 취성 특성으로 인해 성형성이 제한적이므로, 보다 정밀하고 체계적인 성형 공정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 La-Fe-Co-Si 합금의 부품화를 위한 성형 기술로서 열간 압연 공정을 적용하고, 이에 따른 열간 변형 거동과 자기 열량 특성을 체계적으로 분석하였다. 성형성 평가는 나노인덴테이션을 통한 미세 스케일 영역에서의 온도에 따른 기계적 특성 분석과 열간/냉간 단조를 통한 거시 스케일 변형 거동 평가를 수행하여 멀티스케일 관점에서 체계적으로 조사하였다. 이를 기반으로 열간 압연 공정을 통해 약 70%의 압축률을 달성하였으며, 가공 중 발생한 성형 결함의 형상 및 분포와 자기 열량 특성 간의 상관관계를 분석하였다. 또한, 다단계 열처리에서 준액상 상태를 활용하여 성형 과정 중 발생하게 되는 결함을 효과적으로 제거하고, 미세조직 제어를 통해 자기 열량 특성을 향상시켰다. 본 연구는 나노인덴테이션, 열간/냉간 단조 등 멀티스케일 측정을 포함한 체계적인 분석을 통해 열간 변형 거동과 성형 결함에 따른 물성 변화를 분석하였으며, 이를 기반으로 약 270-280 K의 큐리온도를 갖는 La-Fe-Co-Si 합금을 두께 1 mm의 판재 형태로 제조하였다.

[역학1-4 | 09:45]
사용후핵연료 처분용기 제작 및 성능 평가: 오정현*, 김가영, 윤석(한국원자력연구원)
Keywords: 사용후핵연료, 처분용기, 구리, 내부식성

인공지능 기술의 급속한 발전과 이에 따른 전력 소비 증가, 그리고 전반적인 에너지 사용량 증가는 원자력 발전의 중요성을 재조명하게 하고 있다. 원자력 발전은 낮은 탄소 발생량과 높은 에너지 효율이라는 이점이 있지만 동시에 사용후핵연료의 발생과 이에 대한 영구처분이라는 과제에 직면해 있다. 사용후핵연료는 높은 열과 방사선을 방출하므로 자연과의 격리를 위해 여러나라에서 심지층 처분 방법을 채택하고 있다. 심지층 처분은 공학적 방벽과 자연방벽으로 구성되며, 공학적 방벽은 사용후핵연료를 직접 담는 처분용기와 처분용기를 보호하는 완충재로 이루어진다. 일반적으로 처분용기는 기계적 성능을 담당하는 내부 주철 또는 탄소강 용기와 내부 용기의 부식을 방지하는 외부 구리 용기로 구성된다. 특히 구리 용기는 높은 연신율과 다양한 처분 환경에서의 균일 부식 거동을 유지하기 위해 99.99% 이상의 순도와 5 ppm 미만의 산소 함량이 요구되며, 이로 인해 제작 공정에 상당한 어려움이 따른다. 이러한 이유들로 구리 용기 제작에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 구리 용기의 제조 방법에 따른 내부식성 차이를 비교 분석하고, 제조 방법 최적화를 위해 구리 순도(99.99, 99.99%)에 따른 물성을 비교하였다. 또한, 구리 용기를 대체 할 수 있는 소재를 제시하여 사용후핵연료 영구 처분의 효율을 향상시키고자 하였다. 실제 처분 환경과 유사한 환경에서 부식 실험을 수행하기 위해 지하연구터널 KURT (KAERI Underground Research Tunnel)에서 지하수를 채수하여 다양한 이온의 영향을 분석하였으며, 나노인덴테이션 및 인장 실험을 통해 기계적 물성을 평가하였다.

[역학1-5 | 10:00]

FIB-DIC 기반의 미소스케일 국부 잔류응력 측정: 김종형*, 조현욱, 장서현(국립부경대학교), 김임덕, 강승균(서울대학교), 유스트 블라작(하버드대학교)

Keywords: 박막, 잔류응력, DIC, FIB

반도체 소자의 고집적화로 3D IC와 HBM과 같은 첨단 구조는 복잡한 형상과 다수의 계면을 포함하게 되며, 열팽창계수 차이, 격자 불일치, 공정 요인 등에 의해 잔류응력이 발생한다. 이러한 응력은 균열이나 계면 박리 등 기계적 결함을 유발해 신뢰성을 저하시킬 수 있으므로, 국부 응력 분포의 정밀한 이해와 평가가 필수적이다. 그러나 기존의 웨이퍼 곡률 측정, XRD, Raman 분광법은 얇은 박막의 패턴화된 3D 구조에 적용 시 소재 의존성과 해상도 한계가 존재한다. 본 연구에서는 디지털 이미지 상관법(DIC)과 집속이온빔(FIB)을 결합한 미소스케일 국부 잔류응력 측정 기법을 제안한다. 리소그래피로 제작한 정교한 DIC 패턴을 표면에 형성하고, FIB 밀링 과정에서 폴리머 희생층을 사용해 패턴 손실을 방지하였다. 이후 슬릿 형성으로 인한 응력 완화 변형을 DIC로 분석하고, 선형탄성해석을 통해 주변 잔류응력을 정량화하였다. 제안 기법은 첨단 반도체 소자의 신뢰성 평가 및 구조적 무결성 검증에 유용한 분석 도구로 활용될 수 있다.

[역학2-1 | 10:25]

전기화학적으로 장입된 수소가 적층 제조 중엔트로피 합금의 인장 물성에 미치는 영향 평가: 이시연, Zhe Gao, 최재혁(한양대학교), 김형섭(포항공과대학교), 장재일*(한양대학교)

Keywords: Laser powder bed fusion, medium-entropy alloy, hydrogen, micromechanical property, nanoindentation

본 연구에서는 레이저 분말 적층 용융(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 방식으로 제조된 CoCrNi 중엔트로피 합금의 역학 거동에 미치는 수소의 영향을 체계적으로 평가하였다. 일반적으로 수소는 면심입방(FCC) 구조에서 낮은 확산 계수를 나타내므로, FCC 합금에 전기화학적으로 수소를 장입할 때 수소의 확산은 표면 근처로 제한되는 경향이 있고 이는 일축 인장시험시 왜곡된 결과를 가져올 수 있다. 이를 해결하고자, 본 연구에서는 일축 인장 조건을 만족하면서도 수소의 영향을 극대화할 수 있도록 시험편을 설계, 제작하였다. 준비된 시험편에 전기화학적 방식으로 수소를 장입한 후 인장 시험과 나노압입시험을 수행하였고, 이로부터 새로 제작된 시험편이 수소의 영향을 효과적으로 평가하는데 적합한 지를 평가하였다.

[역학2-2 | 10:40]

나노다공성 금의 리가먼트 크기 효과와 변형률 속도에 따른 시간의존적 기계적 특성 분석: 김영훈, 홍석원(UNIST), 전한솔(계명대학교), 김주영*(UNIST)

Keywords: 나노다공성 금(nanoporous gold), 나노인덴테이션(nanoindentation), 나노역학(nanomechanics), 크기 효과(size effect), 변형률 속도 민감도(strain rate sensitivity), 활성화 부피(activation volume)

나노다공성 금(nanoporous gold)은 나노 크기의 리가먼트(ligament)와 기공(pore)으로 이루어진 복연속성(bicontinuous) 개방형(open-cell) 구조를 가지며, 일반적인 금에 비해 낮은 상대 밀도와 높은 비표면적을 특징으로 한다. 이러한 특성으로 인해 촉매, 센서, 액추에이터 등 다양한 분야에서 주목받고 있다. 나노다공성 금에서는 나노역학에서 관찰되는 크기 효과(size effect)와 유사하게, 리가먼트 크기가 감소할수록 강도가 증가하는 리가먼트 크기 효과(ligament size effect)가 나타난다. 이는 리가먼트 크기가 작아질수록 전위 거동이 억제되어 강도가 향상되기 때문인 것으로 알려져 있다.일반적으로 나노다공성 금의 기계적 물성은 나노인덴테이션(nanoindentation) 기반의 일축 인장 또는 압축 시험을 통해 측정되어 왔다. 그러나 이러한 인장 및 압축 시험만으로는 크기 효과의 근본 원인인 전위 거동을 정량적으로 평가하는 데 한계가 있다. 한편, 변형률 속도가 증가할수록 유동 응력(flow stress)이 커지는 변형률 속도 효과(strain rate effect)를 활용하면, 변형률 속도 민감도(strain rate sensitivity)를 측정하여 활성화 부피(activation volume)를 계산할 수 있고, 이를 통해 전위 거동을 정량적으로 규명할 수 있다. 이에 본 연구에서는 변형률 속도를 조절하며 나노다공성 금의 기계적 물성을 측정하였다. 금-은 모합금을 디얼로잉(dealloying) 공정을 통해 나노다공성 금으로 제조한 뒤, 열처리를 통해 리가먼트 크기를 제어하였다. 이후 집속 이온빔(Focused Ion Beam, FIB)으로 압축 시험편을 제작하고, 플랫 펀치 팁(flat-punch tip)이 장착된 나노인덴터를 이용하여 변형률 속도 조절 압축 실험을 수행하였다. 이를 통해 리가먼트 크기 효과를 검증하고, 리가먼트 크기에 따른 변형률 속도 민감도와 활성화 부피를 분석하여 리가먼트 크기 효과와 전위 거동 간의 상관관계를 규명하였다.

[역학2-3 | 10:55]

중엔트로피 합금의 역학특성에 미치는 강소성가공의 영향: 최재혁, 이시연, Zhe Gao(한양대학교), 서진유(한국과학기술연구원), 장재일*(한양대학교)

Keywords: medium-entropy alloy, high pressure torsion, nanoindentation

본 연구에서는 서로 다른 결정구조를 가지는 중엔트로피 합금(Medium-Entropy Alloy, MEA)에 대하여 고압비틀림(High Pressure Torsion, HPT) 공정을 가해 다양한 결정립크기 기울기를 가지는 디스크 시험편들을 제작하고 나노압입시험을 수행하여, 미세조직과 역학특성의 상관 관계가 결정구조에 따라 어떤 차이를 나타내는지 규명하고자 하였다. 먼저, 각각 면심입방구조(FCC)와 체심입방구조(BCC)를 가지는 CoCrNi 및 NbTiZr MEA에 대하여 0.25, 0.5, 2, 10 회전의 HPT를 수행하고, 초음파 펄스-에코시험과 X-선 회절분석을 통해 회전 수 증가에 따른 탄성계수, 결정립크기 및 전위밀도의 변화를 평가하였다. 이어서, 디스크 시험편의 중앙부와 가장자리에 나노압입시험을 수행하여 다양한 역학특성을 평가 하였고, 특히 변형률속도 점프 시험(strain-rate jump test)을 통해 변형률속도민감도 및 소성변형에 대한 활성화 부피를 구하였다. 얻어진 결과로부터 각각의 경우에 대해 주된 변형기구를 예측하였고, 이를 통해 두가지 대표적 결정구조(FCC vs. BCC)를 가진 중엔트로피합금에서 강소성가공(severe plastic deformation)의 영향이 어떤 차이를 나타내는지 분석하였다.

[역학2-4 | 11:10]

미세 침습성과 고밀도 구현을 위한 자가 전개형 센서 소자의 기계적 설계: 조지현, 조지현, 김수민(UNIST), 황경석(Harvard University), 배재영, 강승균(서울대학교), 김주영*(UNIST)

Keywords: 미세침습, 자가전개, 기계적 모델링, 전자 소자, 생체분해성

뇌-컴퓨터 인터페이스는 뇌 신경계에서 발생하는 생체신호를 실시간으로 수집하고 이를 외부 장치로 전달함으로써, 뇌와 기계 간의 직접적인 상호작용을 가능하게 하는 핵심 기술이다. 적용 방식에 따라서 뇌-컴퓨터 인터페이스는 비침습형과 침습형으로 구분된다. 비침습형은 피부 표면에 센서를 부착하는 방식으로 사용자 부담이 적은 장점이 있지만, 신호의 품질이 제한적이다. 반면, 침습형 소자는 전극을 뇌에 직접 삽입하여 고해상도의 신호 수집이 가능하지만S, 두개골의 광범위한 절개 및 제거 수술이 요구되는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 침습형 뇌-컴퓨터 인터페이스 소자의 한계를 극복하기 위해, 미세한 두개골 절개만으로 삽입 가능하고 체온에 의해 자가 전개되는 고밀도 센서 소자를 제안한다. 제안된 소자는 좁은 입구를 가지는 주사기에 소자를 삽입한 후, 체온에 의해 미세 구멍과 좁은 틈을 통해 자가 전개됨으로써 넓은 뇌 표면을 효과적으로 커버할 수 있다. 수명이 다한 후에는 체액에 의해 자연적으로 분해되어 별도의 제거 수술 없이 생체 내에서 안전하게 분해될 수 있도록 설계되었다. 이러한 기능을 구현하기 위해 형상 기억 고분자와 생체분해성 금속 기반의 구조체를 도입하였고, 모든 구성 재료는 생체적합성이 우수한 소재를 활용하여 장기간의 생체 내 안정성을 확보하였다. 또한 소자의 기계적 신뢰성을 확보하기 위해 3D 유한요소해석을 수행하였으며, 삽입 및 자가전개 과정에서 발생하는 변형과 응력 분포를 정량적으로 분석하였다. 이를 바탕으로 소자의 구조를 최적화였고, 고밀도 센서를 효과적으로 배열하기 위한 디자인 룰을 제시하였다.

재료강도
Room 2층 209/10, 10월 31일

[재료강도1-1 | 09:00]
Fundamental research on standardization of mechanical testing for hydrogen storage materials in cryogenic environments:
Won hyo Yoo*, Yong Ki Seo, Sang Bae Jung, Jeong Kwan Kim, Seong Jun Byun(Hyundai Steel R&D Center)
Keywords: Liquid Hydrogen Storage, LH_2 environments, Cryogenic Materials

With the rapid expansion of the hydrogen economy, the development of safe and efficient technologies for liquid hydrogen (LH_2) storage is becoming increasingly vital. Due to the extremely low storage temperature of –253°C, ensuring the structural integrity and reliability of storage materials and welded joints under cryogenic conditions presents a significant engineering challenge. However, current internationally standardized specifications and qualification criteria for materials and weldments suitable for LH_2 environments remain limited, resulting in a lack of practical technical references for design and manufacturing. In response to this gap, the present study proposes a comprehensive evaluation framework for cryogenic materials and design methodologies to ensure the structural soundness of LH_2 storage systems. Candidate materials, including austenitic stainless steels and austenite–martensite dual-phase (DP) steels—recognized for their cryogenic performance—were selected and evaluated for tensile and fracture properties at –253°C. Mechanical responses were systematically analyzed with respect to variables such as specimen geometry, heat treatment, and cooling rates, to ensure consistent and reliable behavior under cryogenic conditions. Fracture sensitivity and failure mechanisms were also examined to provide quantitative insights into the reliability of mechanical property evaluation methods in extreme environments. Furthermore, a test-based design approach was investigated to enhance the structural safety of LH_2 storage tanks, and baseline data were generated to support the development of material certification standards. Comparative analysis with existing international standards (e.g., ISO 6892, ISO 12135) highlighted the limitations of current methodologies and emphasized the urgent need for LH_2-specific testing protocols. The findings of this study are expected to lay a robust technical foundation for the establishment of international standards for LH_2-compatible materials and welded joints, while also contributing to the development of safe design practices and qualification criteria for hydrogen storage systems

[재료강도1-2 | 09:15]
Fundamental Study on the Fracture Toughness and Mechanical Properties of Boiler Steels in Hydrogen Gas Environments:
NAKAMOTO HISASHI*(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC. Computational Science Center DX Technology Section), KOMODA RYOSUKE(Kyushu Institute of Technology, International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (WPI-I2CNER), Kyushu University), ISHIHARA KENICHI(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC. Computational Science Center DX Technology Section)
Keywords: fracture toughness, hydrogen embrittlement, steel, fracture surface, slow strain rate test

This study aimed to evaluate the effects of hydrogen on material strength by performing Slow Strain Rate Tests (SSRT) and fracture toughness tests on 2.25Cr-1Mo, a boiler material. The test environment utilized an open gas system, in which high-purity hydrogen gas was continuously supplied into the chamber, with tests carried out at temperatures ranging from -10°C to 40°C under a gas pressure of 1 MPa. For comparison, tests were also conducted under a nitrogen gas atmosphere for some of the conditions. The SSRT results indicated almost no difference between the two gas environments regarding 0.2% proof stress and tensile strength, however, differences were observed in ductility, such as elongation and reduction in area. In contrast, hydrogen gas had a pronounced effect on fracture toughness, which was significantly lower than in a nitrogen atmosphere. Fractographic observations after fracture toughness tests revealed cleavage or quasi-cleavage patterns in hydrogen gas environments, while most of the fracture surfaces in nitrogen atmospheres exhibited dimples. The predictability of fracture toughness values based on the mechanical properties obtained from SSRT was also discussed.

[재료강도1-3 | 09:30]
코어-쉘 구조에서의 전위 상호작용에 대한 모델링:
이호영, 류일*, 연경미(서울대학교)
Keywords: 코어-쉘 구조, 다차원 전산모사, 전위 동역학, 유한요소법, 재료강도

코어-쉘 구조는 코팅과 복합재에서 흔히 사용되며 쉘의 물성이 코어의 변형에 개입하여 전체 구조의 기계적 물성을 향상시킨다. 특히 쉘 부분의 보유량(코팅 정도)에 따라 재료의 기계적 거동이 달라지므로, 쉘 보유량이 재료의 등가 강성 및 소성 개시에 미치는 영향에 대한 정량적 해석이 중요하다. 이를 수행하기 위해 본 연구에서는 전위 동역학(Dislocation Dynamics)과 유한요소법(FEM)을 결합한 마이크로 범위 모델(DD-FEM, DDM)을 사용하였다. 본 모델에서는 유한요소법을 통해 도출된 재료의 응력 분포를 직접 반영하여 전위의 이동을 계산하는데, 특히 코어-쉘 계면에서 전위의 불활성화를 모델링함으로써 코어-쉘 구조에서의 변형 메커니즘을 규명할 수 있다. 이를 통해 쉘의 체적분율 변화가 재료의 강성 및 소성 물성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 본 모델을 통해 다양한 코어-쉘 구조에서의 재료의 거동에 대해 분석할 수 있으며, 고강도와 고성능을 지닌 재료 설계에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

[재료강도1-4 | 09:45]

전기화학적 수소주입에 의한 강재의 파괴인성 평가: 오동규, 박가람, 정민섭(서울과학기술대학교), 민기득(주식회사 피레타), 유용재, 김규태(현대제철 연구개발본부), 황병철*(서울과학기술대학교)

Keywords: API X80 linepipe steel, Electrochemical hydrogen, Hydrogen embrittlement, Fracture toughness

탄소중립을 위한 수소 기반 에너지 시스템 확산에 따라 수소를 생산지부터 사용처까지 안전하고 효율적으로 운송하기 위해 고압수소용 고강도 압력용기, 라인파이프 강재 개발이 진행되고 있다. 이러한 구조용 소재는 적용 환경에 따라 기계적 특성을 보증하며 설계하고 있으나, 사용중에 표면으로부터 침투한 수소와 미세조직적 결함의 상호작용에 의해 강도, 연성, 인성이 저하되는 수소취성이 발생할 수 있다. 따라서 고압수소용 금속재료는 내수소취성을 보증하기 위해서 고압수소 분위기 규격 시험에서 요구하는 고압수소 분위기 하 인장시험 및 파괴인성 시험 등을 엄격히 수행하여야 한다. 그러나 고압수소 분위기 규격 시험법은 폭발성 기체인 수소 사용으로 안전상의 문제 및 고비용으로 인해 모든 개발 강재에 대한 적용에 한계가 있어, 효율적으로 내수소취성을 평가할 수 있는 전기화학적 수소주입을 이용한 스크리닝 시험법 개발이 필요하다. 본 연구에서는 선행연구를 통해 내수소취성 스크리닝 인장시험 조건을 확보한 API X80급 라인파이프 강재에 대해 전기화학적 수소주입을 하며 파괴인성 시험을 수행하였다. 추가적으로 피로 예비균열과 비교적 큰 곡률반경을 가져 둔한 방전가공(electrical discharge machining, EDM) 예비균열을 도입하여 첨예도에 따른 수소의 집적 및 하중 종류에 따른 응력 상태의 차이가 수소취성 거동에 미치는 영향을 고찰하였다.

[재료강도2-1 | 10:00]

미세 결정립 저니켈 오스테나이트계 스테인리스강의 강화 메커니즘과 마르텐사이트 변태 거동: 조영근, 조형준, 김성준*(포항공과대학교)

Keywords: 스테인리스, 결정립 미세화, 탄화물, 항복강도, 마르텐사이트 변태

니켈 함량이 3 wt.% 미만인 저니켈 오스테나이트계 스테인리스강을 다양한 탄소 함량으로 설계하고 열처리하여, 결정립 미세화와 $Cr_{23}C_6$ 탄화물 강화 효과를 동시에 활용하고 그 기계적 물성 향상 메커니즘을 규명하였다. 결정립을 약 2~3 μm 수준으로 미세화하고 오스테나이트 결정립 내부에 $Cr_{23}C_6$ 탄화물을 균일하게 석출시켰을 때, 항복강도 600 MPa 이상과 연신율 45% 이상의 우수한 기계적 물성이 확보되었으며, 항복점 연신 거동은 나타나지 않았다. 결정립 미세화는 마르텐사이트 변태를 억제하여 가공경화율을 낮추는 반면, 미세한 $Cr_{23}C_6$ 탄화물은 크롬과 탄소 농도를 고갈시켜 오스테나이트를 불안정화시킴으로써 마르텐사이트 변태를 촉진하고 가공경화율을 증가시켰다. 이러한 두 효과는 마르텐사이트 변태 거동에서 경쟁적으로 작용하였으며, 결과적으로 탄화물 석출 효과가 지배적으로 나타나 가공경화율이 향상되었다. 강화 메커니즘은 고용 강화, 결정립 미세화, 석출 강화의 기여도를 정량적으로 분석하여 규명되었으며, Olson-Cohen 분석 결과 탄소 함량과 소둔 조건에 따라 적층 결함 에너지와 마르텐사이트 변태의 열역학적 구동력이 변화함이 확인되었다. 이는 최적의 탄소 첨가와 열처리 공정을 통해 고성능 저니켈 오스테나이트계 스테인리스강을 구현할 수 있음을 시사한다.

[재료강도2-2 | 10:15]

Materials Evaluation Techniques at Cryogenic Temperatures: 松田 有趣*, 原田 晋吾, 田中 慎吾(KOBELCO RESEARCH INSTITUTE, INC.)

Keywords: Fracture toughness, steel, Stainless steel, liquid hydrogen, hydrogen

Due to efforts to achieve carbon neutrality progress, ensuring the reliability and safety of materials in cryogenic environments such as during the transportation and storage of liquid hydrogen becomes crucial. Because these processes occur in extreme cryogenic conditions at -253°C (liquid hydrogen, 20K), it is necessary to evaluate strength and toughness at this temperatures or below. In this presentation, we will show our company's cryogenic environment testing equipment and the material evaluation techniques that can be conducted.

[재료강도2-3 | 10:30]

표면 헤테로 구조화의 부분 오스테나이트화를 통한 우수한 고강도-성형성 동시 달성 방안: 김래언, 구강희, 이정아, 박효진, 김형섭*(POSTECH)

Keywords: 성형성, 헤테로 구조, 스테인리스

고강도 소재는 구조 산업에 필수적이지만 낮은 성형성으로 인해 광범위한 산업적 활용이 제한된다. 본 연구는 성형성과 고강도를 동시 달성하기 위 한우수한 조합을 달성하기 위한 새로운 방법론을 제안다한. 레이저 처리를 통한 표면 헤테로 구조화는 압연 상태의 마르텐사이트계 스테인리스강에 국부적인 오스테나이트화를 유도한다. 그 결과, 굽힘성이 크게 향상되어 높은 인장 강도를 유지하면서 약 180° 굽힘이 가능하다. 결과적으로, 본 표면 헤테로 구조화는 미세구조를 성형 조건에 맞게 맞춤 설계함으로써 고강도와 높은 성형성을 동시 달성할 수 있음을 시사한다.

[재료강도2-4 | 10:45]

Post-necking curvature를 활용한 금속 재료에서의 변형률 속도 민감도 측정: 고태영, 권지혜, 구강희, 김래언, Renhao Wu, 김형섭(포항공과대학교)

Keywords: 변형률 속도 민감도, 넥 곡률, 속도 의존적 소성 변형

본 연구에서는 일축 인장 시험에서 관찰 가능한 넥의 곡률을 기반으로 금속 재료의 변형률 속도 민감도를 측정하는 새로운 방법을 제안한다. 넥 곡률 계산을 위하여 관찰되는 넥 영역을 좌표화하여, 이들이 형성하는 곡률을 최소제곱적합법을 통해 추정해내는 Kasa method를 적용하였다. 유한요소해석과 실험적 검증을 통해 넥 곡률과 변형률 속도 민감도 사이의 강한 상관성을 확인하였으며,

이를 기반으로 추가적인 실험 없이도 변형률 속도 민감도를 정확하게 역산해낼 수 있음을 입증하였다. 본 연구에서 제안하는 형상 기반 분석법은 속도 의존 소성 거동을 효율적이고 실용적으로 평가할 수 있는 유용한 기법으로 활용될 수 있음을 기대한다.

[재료강도2-5 | 11:00]

포타슘 버블이 순수 텅스텐의 초기 소성과 연성-취성 천이 온도에 미치는 영향: 김정석, 민건식(서울대학교), Phu Cuong Nguyen(The university of Texas at Dallas), 이성민, 오연주, 김황선(서울대학교), 김형찬(한국핵융합에너지연구원), 류일*, 한흥남*(서울대학교)

Keywords: 순수 텅스텐, 포타슘 버블, 초기 소성, 연성-취성 천이 온도, 나노인덴테이션, 전위 동역학

포타슘이 함유된 텅스텐은 순수 텅스텐보다 재결정 온도가 높아 1950년대부터 백열전구의 필라멘트로 활용되어 왔으며, 최근 들어 연성과 저온에서의 파괴인성이 우수하다는 성질 덕분에 핵융합, 국방, 항공우주 등과 같이 고온 또는 고열속이 조사되는 극한환경에서의 구조재료로써 주목받고 있다. 본 연구에서는 포타슘이 순수 텅스텐의 초기 소성과 연성-취성 천이 온도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였고, 그 메커니즘을 규명하고자 한다. 포타슘은 소결 도중 기화되어 순수 텅스텐 내부에 평균 크기가 수십 나노미터인 버블 형태로 존재함이 투과전자현미경을 활용한 분석 결과로부터 확인되었다. 유한요소 해석과 전위 동역학 모사를 통해 포타슘 버블 주위에 응력이 집중됨을 가시화하였고, 이는 포타슘이 함유된 텅스텐이 순수 텅스텐보다 더 낮은 응력 하에서도 소성 변형 거동이 나타나는 나노인덴테이션 결과를 뒷받침하였다. 또한, 포타슘 버블의 밀도와 재료 내 전위 밀도가 응력 집중에 미치는 영향이 정량적으로 분석되었다. 추가로, 고온에서의 나노인덴테이션으로 포타슘이 함유된 텅스텐과 순수 텅스텐의 초기 소성 거동이 정량적으로 분석되었고, 이 결과가 연성-취성 천이 온도에 미치는 영향이 설명되었다. 본 연구는 포타슘 버블로 인해 텅스텐의 소성 변형이 촉진되고, 연성-취성 천이 온도가 감소하는 원인을 설명하며, 나아가 텅스텐의 취성을 보완하는 합금 개발에 기여할 것으로 기대된다.

[재료강도3-1 | 11:15]

저주기 피로와 드웰 피로가 피로수명에 미치는 영향: 민기득*, 장현수, 최현선((주)피레타)

Keywords: 저주기 피로, 드웰 피로, 피로수명

재료의 피로 파괴는 반복 하중으로 인해 발생하며, 특히 항공기 엔진 부품과 같은 핵심 소재의 신뢰성 확보에 매우 중요하다. 저주기피로(LCF)는 높은 응력 진폭하에서 발생하는 소성 변형에 의해 특징지어지며, 주로 시편 표면에서 균열이 시작된다. 항공기 엔진의 이착륙 및 정지 시 발생하는 열적, 기계적 주기 하중은 LCF 파괴를 유발할 수 있어, LCF 저항성 확보가 필수적이다. 반면, 드웰 피로(Dwell fatigue)는 주기적 하중 중 최대 응력이 일정 시간 동안 유지될 때 피로 수명이 현저히 감소하는 현상이다. 이는 항공기 이륙 및 순항중의 실제 하중 시나리오를 모방하며, Ti-6242와 같은 티타늄 합금의 경우 LCF 대비 최대 10~20배까지 수명이 감소한다. 따라서, 본 연구에서는 재료의 피로수명에 영향을 미치는 저주기 피로와 드웰 피로 현상을 비교 분석하고자 하였다. LCF와 드웰 피로의 메커니즘적 차이와 소재에 미치는 영향을 평가하였다.

[재료강도3-2 | 11:30]

베이나이트계 저합금강의 저주기 피로 특성에 미치는 석출물과 클러스터 강화의 영향: 한재연, 박정현(창원대학교), 이봉호(대구경북과학기술원), 박형권, 이창훈(한국재료연구원), 정준호(현대제철), 홍현욱*(창원대학교)

Keywords: Post-earthquake fire, Bainite, MX precipitates, Clusters, Low-cycle fatigue

최근 초고층 및 다목적 건축물의 증가에 따라, 지진 및 화재와 같은 재난 상황에서의 안전 확보를 위해 건축 구조물의 내진 및 내화 요구가 전 세계적으로 강화되고 있다. 특히 국내에서도 지진 발생 빈도와 피해가 증가함에 따라 지진 후 화재(Post-Earthquake Fire, PEF) 상황에서의 구조적 건전성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 그러나 내진성(항복비 ≤ 0.8)과 내화성(600 °C에서 상온 항복강도의 2/3 이상 유지) 요구를 동시에 충족시키는 것은 상호 간의 trade-off로 인해 쉽지 않다. 예를 들어, 고용 원소의 첨가는 석출 강화를 통해 내화성을 향상시키지만, 항복비 상승으로 인해 내진성에는 불리하게 작용할 수 있다. 이에 대응하여, 베이나이트계 미세조직은 강도와 열적 안정성을 동시에 제공할 수 있는 주요 대안으로 주목받고 있으며, Mo, V, Ti, Nb와 같은 미세합금 원소를 통한 석출 강화 역시 내화성 향상에 효과적인 것으로 알려져 있다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 Mo, V, Ti, Nb를 미세합금화하여 저탄소 베이나이트계 H형강을 개발하고, 지진 후 화재 조건에서의 구조적 건전성을 평가하였다. 개발된 베이나이트계 강재는 낮은 항복비(<0.8)와 600 °C에서 항복강도의 2/3 이상 유지라는 조건을 동시에 만족하였다. 이를 토대로 복합 저주기 피로(LCF) 시험을 통해 PEF 상황을 모사하였다. 시험 절차는 먼저 상온에서 10 cycle의 LCF 하중을 가해 지진 상황을 모사한 뒤, 600 °C에서 2시간 열 노출을 실시하여 화재 조건을 재현하였으며, 이후 파단 시까지 상온 LCF 시험을 재개하는 방식으로 진행되었다. 그 결과, 복합 LCF 조건에서 열 노출 이후 강도 증가가 확인되었으며, 단일 상온 LCF 조건에 비해 우수한 피로 수명을 나타냈다. TEM 및 3차원 원자탐침(APT) 분석을 통해 그 원인을 규명한 결과, 열 노출 동안 미세한 MX 석출물이 추가로 형성되고 고용원자 클러스터가 Cottrell atmosphere를 이루어 전위를 효과적으로 핀닝(pinning)하는 것으로 나타났다. 이러한 전위 고정 효과는 강도 증가를 유도하고 사이클 소프트닝을 억제하여, 복합 하중 조건에서도 안정적인 피로 거동을 가능하게 한 주요 요인으로 확인되었다. 따라서 본 연구를 통해 Mo, V, Ti, Nb 미세합금화를 통해 개발된 저탄소 베이나이트계 H형강이 내진성과 내화성을 동시에 만족할 뿐만 아니라, PEF 조건에서도 우수한 피로 수명과 구조적 건전성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

[재료강도3-3 | 11:45]

Creep behavior of texture-controlled 316L stainless steels fabricated by electron beam-powder bed fusion: Lim Kwang-Hyeok, Jong-Soo Bae(KAIST), Shubham Chandra(Nanyang Technological University), Xipeng Tan(National University of Singapore), Gyumin Lee, Gi-Dong Sim*(KAIST)

Keywords: Additive manufacturing, 316L stainless steel, Creep, Crystallographic texture, Electron beam-powder bed fusion

Additive manufacturing (AM) is one of the promising technologies that has capability of controlling microstructures, which minimizes manufacturing time, costs, and environment pollution. In order to apply additively manufactured materials in the real industries, there should be thorough investigation of their mechanical behavior such as high-temperature creep properties. In this study, crystallographic texture of 316L stainless steel (SS) are controlled and two types of samples are fabricated by electron beam-powder bed fusion (EB-PBF). The creep tests are performed at 650 ºC and 125 MPa to 250 MPa with these samples. The microstructures are observed with scanning electron microscope, electron backscatter diffraction analysis, and transmission electron microscope. The mechanisms driving the observed creep behavior are thoroughly investigated. This research demonstrates the development of damage-tolerant AM 316L SS, which can be applied to high-temperature creep environments such as nuclear reactor.

[재료강도3-4 | 12:00]

탄소 함량에 따른 바나듐 첨가 고망간강 열간압연재의 미세조직 및 항복강도 분석: 송호정(동아대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 박건우(울산과학기술원), 소태일(포스코), 김병준(한국생산기술연구원), 장재훈(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

Keywords: 고망간강, 석출강화, 전위-석출물 상호작용, 항복강도 예측

고망간강 (High-Mn Steel)은 STS316 대비 낮은 소재 원가, 우수한 극저온인성 및 상자성 발현 특성으로 극저온 액체 저장탱크에 이용되고 있으며 우수한 가공성을 바탕으로 복잡한 형상으로 제조가 필요한 자동차 차체용 강판 등 다양한 분야에서 이용 가능성이 높다. 고망간강의 산업적 활용도를 높이기 위해 항복강도를 향상시키는 것이 필수적이며, 특히 열연재의 항복강도 향상에 대한 연구가 최근 주목받고 있다. 오스테나이트계 고망간강의 항복강도 향상은 결정립계 강화, 전위강화, 고용강화, 석출강화로 나뉘며 이 중에서도 석출강화가 큰 영향을 미친다. 이 때, 탄소는 석출물 형성에 직접적인 영향을 미치는 원소로, 항복강도 향상에 중요한 역할을 한다. 이에 본 연구에서는 탄소 함량이 다른 바나듐 첨가 고망간강 열간압연재의 미세조직 분석 및 항복강도 고찰 연구를 진행하였다. 탄소 함량을 0.7, 0.8, 0.9 wt%로 다르게 하였다. 인장 시험 결과 0.7C (0.7 wt% C) 에서는 항복강도가 약 450MPa이며, 0.8C와 0.9C에서는 700MPa 이상의 항복강도가 나타났다. 급격한 항복강도 증가를 분석하기 위해 X-ray diffraction (XRD), electron backscattered diffraction (EBSD), transmission electron microscope (TEM)을 이용하여 전위밀도, 미세조직, 석출물 분석을 진행하였으며, 강화기구별 항복강도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 항복강도 예측 모델에 적용하였다. 정밀한 항복강도 예측모델 적용을 위해 평균 결정립 크기를 EBSD로 분석하여 결정립계 강화에 적용하였다. XRD 결과를 바탕으로 Rietveld method를 이용하여 정밀한 전위밀도를 분석하여 전위강화를 추산하였다. 고용강화 효과는 열역학 석출상 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 미세한 크기의 석출물 분석을 위해 TEM으로 석출상의 종류, 석출물의 분율 및 크기를 분석하였다. 이를 토대로 선행연구에서 적용되던 결정립계 강화, 전위강화, 고용강화 및 Orowan dislocation looping을 고려한 석출강화로 나누어 항복강도 예측 모델에 적용하였으나, 0.7C 대비 0.8C에서 급격하게 증가한 항복강도 해석에 한계가 있었다. 추가적으로 HRTEM 분석 결과 일부 석출물이 기지와 정합성을 띠는 것이 관측되었고, 이에 따라 석출물의 반경에 따른 석출물-전위 상호작용을 dislocation looping mechanism과 dislocation shearing mechanism으로 구분하여 석출강화를 분석하였다. 해당 방법을 적용하여 항복강도를 예측한 결과, 기존 선행연구에서 적용된 방법과 비교하였을 때 실험값과의 오차가 줄어들었다. 본 연구는 석출강화를 세분화하여 항복강도 예측 모델에 적용함으로써 탄소 함량 증가에 따른 급격한 항복강도 향상의 원인을 규명하였으며, 이는 향후 고망간강의 항복강도 예측에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

이차전지 원료소재
Room 2층 212/13, 10월 31일

[이차전지1-1 | 09:00]
EoL LFP계 리튬이온배터리 부산물 중 Li 선추출 및 회수 조건 연구: 하류, 강영조*(동아대학교)
Keywords: LFP리튬이온배터리, 폐배터리재활용, 리튬회수, 인산리튬, 탄산리튬

전기자동차 시장의 폭발적인 성장으로 리튬이온배터리 생산량이 크게 증가함에 따라, 공정 스크랩 및 End-of-Life(EoL) 배터리에서 유가금속을 회수하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 리튬 인산 철($LiFePO_4$, LFP) 배터리는 니켈과 코발트를 사용하지 않는다는 환경적 이점을 지니고 있으나, 리튬 함량이 상대적으로 낮아 재활용 과정에서 효율적인 리튬 회수 기술이 요구된다. 본 연구는 EoL LFP로부터 리튬 회수 효율을 극대화하기 위해, 양극재·음극재 혼합비, 불순물 존재 등 구성 성분 조건이 회수율에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고자 하였다. 이를 위해 배소 실험을 통해 상분리 거동을 분석하고, 형성된 리튬 화합물의 종류에 따른 침출 적합성을 검토하였다. 본 연구를 통하여 다양한 구성 성분 조건이 리튬 회수 과정의 반응 메커니즘과 공정 효율성에 미치는 영향을 제시함으로써, EoL LFP 재활용을 위한 최적 공정 조건을 도출하고자 하였다.

[이차전지1-2 | 09:15]
황화수소 이용 환원법에 의한 황산리튬으로부터 고순도 황화리튬 제조: 최범모, 강정신*(서울대학교 에너지자원신기술연구소,서울대학교 에너지자원공학과)
Keywords: lithium sulfide, lithium sulfate, hydrogen sulfide, all-solid-state batteries, sulfide solid electrolyte

본 연구에서는 황산리튬 (Li_2SO_4)으로부터 고순도 황화리튬 (Li_2S)을 제조하기 위해 황화수소 (H_2S)를 이용한 환원법을 개발하였다. 298 K에서 황화철 (FeS)과 황산 (H_2SO_4) 수용액의 반응으로 생성된 H_2S 가스를 사용하여 873 – 1073 K에서 Li_2SO_4 와 H_2S의 반응을 진행하였다. 실험 결과, 반응 시간 및 온도가 증가함에 따라 Li_2SO_4 의 전환율이 향상되었으며, 1073 K에서 6시간 반응 시 대부분의 Li_2SO_4 가 Li_2S로 전환되었다. 또한, H_2S의 분해와 SO_2 와 H_2S 간의 부반응으로 인해 높은 황 분압 하에 반응이 진행됨을 확인하였다. 따라서 본 연구결과로부터 H_2S 이용 환원법에 의해 Li_2SO_4 로부터 고순도 Li_2S의 제조가 가능함을 알 수 있다.

[이차전지1-3 | 09:30]
스포듀민 하소 공정에서 로터리 킬른 내부 온도가 클링커 및 융착물 형성 거동에 미치는 영향: 박성환(한양대학교), 이승석(포스코 미래기술연구원), 박주현*(한양대학교)
Keywords: 스포듀민, 로터리 킬른, 클링커, 융착물, 하소 온도

스포듀민(spodumene) 광석으로부터 리튬을 추출하는 과정에서, 로터리 킬른에서 α-스포듀민을 β-스포듀민으로 변환하는 하소 공정은 리튬 추출 공정의 핵심적인 단계이다. 그러나 로터리 킬른 내부의 불균일한 온도 분포와 원료 내 맥석의 영향으로 클링커와 융착물이 형성되어 공정 효율이 감소하는 문제가 발생한다. 이에 본 연구는 온도별 스포듀민 하소 실험을 통해서 킬른 내부 온도가 클링커와 융착물 형성에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 스포듀민 광석은 펠릿화한 후, 900ºC~1300ºC 범위에서 100ºC 간격의 Ar 분위기 하에서 30분간 수직관상로를 이용해 열처리를 수행하였다. 이후 시편은 냉각 후 미세구조 분석과 결정상 분석을 위해 가공하였다. 결정상 분석 결과, 900ºC 시편에서는 스포듀민의 상변태 과정에서 나타나는 준안정상인 γ-스포듀민이 확인되었고, 1000ºC 시편에서는 γ-스포듀민과 β-스포듀민이 함께 확인되었다. 1100ºC 시편에서는 전량 β-스포듀민으로 전환되었다. 하소 온도 증가에 따라 스포듀민 펠릿은 스포듀민 상변태에 따른 부피 팽창을 보였으며, 1100ºC 시편에서 최대 팽창 후 다시 감소하는 것을 확인하였다. 1100ºC 시편의 미세구조 관찰 결과, 클링커와 융착물에서 관찰되었던 장석(feldspar) 조성의 유리상이 관찰되었다. 특히 1200ºC와 1300ºC 시편에서는 냉각 과정에서 유리상으로부터 형성된 수지상(dendritic) 구조의 스포듀민을 관찰되었다. 따라서 스포듀민 펠릿의 부피 감소는 원료 내 맥석인 백운모(muscovite)와 각섬석(hornblende)의 분해로 생성된 유리상에 스포듀민이 용해되어 유리상 비율이 증가하고, 이 유리상이 펠릿 내부를 치밀화시킨 결과로 해석된다. 스포듀민의 용해로 인한 유리상 증가는 융착물 형성을 가속화하여 공정의 안정성을 저해하고, 결과적으로 생산 효율을 저하시킨다. 본 연구를 통해, 스포듀민 하소 공정에서 킬른 내부의 불균일한 온도 분포가 유리상 증가와 융착물 형성에 기여하는 주요 인자 중 하나임을 확인하였다.

[이차전지1-4 | 09:45]
알칼리 로스팅을 이용한 리튬이온전지 침출잔사 흑연 음극재 재생 및 특성 평가: 김기현, 안낙균, 박경수*(고등기술연구원)
Keywords: 리튬이차전지 재활용, 침출잔사, 흑연 음극재, 알칼리 로스팅

전기차 및 에너지저장시스템 확산에 따라 사용 후 리튬이차전지 발생이 급증하고 있으나, 양극재 중심의 유가 금속 회수에 비해 음극 흑연 재활용 기술은 상대적으로 미비한 실정이다. 본 연구에서는 리튬이차전지 재활용 습식제련 공정에서 블랙파우더 침출 후 잔사로 회수된 침출잔사인 흑연을 대상으로 간단한 공정을 통한 재생 전략을 제안하였다. 제안된 공정은 2단계로 수침출 및 알칼리 로스팅을 통한 불순물 제거 및 음극재 구조 회복을 포함한다. 공정 후 재생 흑연은 기존 침출잔사에 비해 회분 함량이 감소하였으며, XRD 및 Raman 분석에서 (002) 피크 강화, 면간 거리(d_{002}) 감소, I_D/I_G 감소를 통해 결정성이 회복됨을 확인하였다. XPS 분석에서는 sp^2 구조 회복과 표면 기능기의 정제 효과를 입증하였다. 또한, 제안된 알칼리 로스팅 경제성 평가를 수행하였다. 본 연구는 침출잔사 기반 흑연의 재생 가능성을 제시함으로써, 사용 후 리튬이차전지 자원순환 달성에 기여할 수 있다.

[이차전지2-1 | 10:10] 초청강연

전기차/배터리 밸류체인의 중장기 트렌드 및 원료 시장 영향 전망: 박재범*(포스코경영연구원)

Keywords: 전기차, 배터리 밸류체인, 리튬, 니켈, 흑연, 원료 수급, 중장기 전망

전기차 산업의 급성장과 함께 배터리 밸류체인은 지난 10여 년간 급격한 성장을 거듭해 왔다. 이에 따라 리튬, 니켈, 흑연 등 핵심 원료는 '전략 자원'으로 부상하였으나, 동시에 대체 기술과 수요 구조 변화라는 중장기적 리스크에 직면하고 있다. 예컨대 니켈은 LFP(리튬인산철) 확산을 통해 이미 시장 충격을 경험한 바 있고, 리튬은 나트륨이온전지로부터 위협을 받고 있으며, 흑연은 실리콘계, 리튬메탈, 무음극 등의 대체재에 대한 잠재적 위협에 노출되어 있다. 이러한 요인들은 원료별 중장기 수급 전망을 불확실하게 만드는 핵심 변수로 작용한다. 그러나 자율주행차(로보택시), 휴머노이드 로봇, 드론 등 차세대 수요처의 시장 개화는 기존 배터리용 핵심 원료인 리튬, 니켈의 수요를 확대하는 긍정적 요인으로 작용 가능할 것으로 예상된다. 한편, 최근 밸류체인의 전체적인 공급과잉이 심화되고 업황 회복이 지연되면서, 리튬, 니켈의 공급량 조절도 시작되고 있다. 특히 리튬은 중국 정부에서 공급과잉 해소를 위한 정책들이 본격화될 전망이다. 공급과잉에 대한 해소와 새로운 수요처의 부각으로 수급 밸런스가 개선되며 업황 회복에 대한 기대감도 커지고 있다. 장기적으로는 재활용 원료의 유입이 시장에 미칠 영향도 관심의 대상이며, 특히 2030년 이후 중국발 재활용 원료 유입이 본격화되면 시장에 큰 영향이 불가피할 전망이다. 이처럼 글로벌 배터리용 원료 시장은 단기적 공급과잉 해소, 가격 조정 해소 국면 이후 구조적 업턴(Upturn)으로 전환될 수 있는 변수들과 시장을 위협할 리스크들이 상존하고 있다. 특히 △정책 및 규제 변화에 따른 수급 구조 재편 △신규 자원 개발의 지연 및 비용 상승 △기술 개발과 피드스탁 물량 급증에 따른 재활용 원료의 유입 확대 등이 중장기 수급 및 업황에 직접 영향을 줄 것으로 보인다. 본 발표에서는 리튬, 니켈, 흑연 등 핵심 배터리 원료가 직면한 긍정적·부정적 요인들을 종합적으로 점검하고, 기술 진화·수요 전환·자원 공급 구조의 상호작용을 분석한다. 이를 바탕으로 향후 원료 시장의 중장기 방향성을 예측, 업황에 대한 전망과 함께 밸류체인 전반에 주는 전략적 시사점을 제시하고자 한다.

[이차전지2-2 | 10:35]

이차전지 양극재용 고순도 망간 원료 확보를 위한 제련 기술 동향 분석: 박진균*, 최소원, 서민석, 김종호(RIST)

Keywords: 망간(Manganese), 이차전지(Secondary Battery), 고순도 황산망간(HPMSM), 제련(Refining), 습식제련(Hydrometallurgy)

전기차 시장의 급성장과 함께 2차전지 기술이 고도화되면서, 니켈, 코발트와 더불어 망간은 양극재의 핵심 원료로서 그 중요성이 부각되고 있습니다. 특히 망간은 가격 경쟁력이 높고 열적 안정성을 향상시키는 장점이 있어 NCM(니켈-코발트-망간) 양극재뿐만 아니라 차세대 하이망간(High-Mn) 양극재의 필수 원료로 주목받고 있습니다. 그러나 이차전지용으로 사용되기 위해서는 고순도의 황산망간(HPMSM, High Purity Manganese Sulfate Monohydrate)이 요구되며, 이는 안정적인 원료 수급과 고도화된 제련/정제 기술 확보를 전제로 합니다. 본 발표에서는 이차전지용 고순도 망간 원료 확보를 위한 공급망 전반을 리뷰하고, 핵심 제련 기술 동향을 분석하고자 합니다. 첫째, 글로벌 망간 시장의 구조(철강용 vs 배터리용)와 함께, 남아프리카 공화국, 호주 등에 편중된 망간 광석의 분포 특징 및 지정학적 리스크가 내재된 수급 현황을 고찰합니다. 둘째, 원료의 종류에 따른 제련 및 정제 기술을 비교 분석합니다. 전통적인 철강 산업용 합금철 제조에 사용되는 건식 제련(Pyrometallurgy) 기술과, HPMSM 생산의 핵심인 습식 제련(Hydrometallurgy) 기술의 특징을 비교합니다. 특히 습식 제련 공정에서 주요 광종인 산화망간 광석(Oxide Ore)과 탄산망간 광석(Carbonate Ore) 처리를 위한 핵심 단계(환원 침출, 직접 침출)와 불순물 제거 기술(침전, 용매 추출, 이온 교환)을 리뷰합니다. 마지막으로, 망간 자원이 없는 한국과 같은 국가에서 사업 추진 시 고려해야 할 경제성 관점에서, 광석을 직접 수입하여 제련하는 경로와 고순도 중간재인 전해망간금속(EMM, Electrolytic Manganese Metal)을 원료로 사용하는 경로의 장단점을 심층적으로 비교 분석합니다. 이를 통해 초기 원료 가격과 전체 공정 비용(CAPEX/OPEX), 환경 부담 등을 종합적으로 고려한 최적의 HPMSM 생산 기술 개발 방향에 대해 검토하고자 합니다.

나노융합소재
Room 2층 214, 10월 31일

[나노융합1-1 | 09:00]
Decoding the Relationships Between Synthesis Parameters and Optical Properties in $CsPbBr_3$ Perovskite via Machine Learning: Choe Hyejin, Kim Soo Young*(Korea University)
Keywords: Halide Perovskite, Machine Learning, Synthesis, Optical Properties

Halide perovskites, particularly $CsPbBr_3$, are of significant interest for optoelectronic applications owing to their high photoluminescence efficiency and easily tunable optical properties. However, the complex and non-intuitive relationships between multiple synthesis parameters and the resulting optical and physical properties have led to continued reliance on trial-and-error approaches in material development. In this study, we employed a solution-based synthesis approach to prepare 190 $CsPbBr_3$ samples by systematically varying key synthesis parameters, including the Cs:Pb molar ratio, ligand type and chain length, and reaction temperature. Comprehensive characterization was conducted, including photoluminescence quantum yield (PLQY), full width at half maximum (FWHM), photoluminescence lifetime, and additional optical and physical property measurements. A two-stage machine learning framework was implemented: classification models were used to distinguish possible synthesis conditions from unsuccessful samples, followed by regression models to predict target properties for the successful cases. This approach not only identified complex interactions among synthesis parameters that influence key material properties but also systematically mapped synthesis combinations likely to fail, reducing unproductive experimental trials. The results provide a comprehensive, data-driven understanding of how synthesis variables influence the optical and physical characteristics of halide perovskites, offering valuable insights for guiding future material design.

[나노융합1-2 | 09:15]
Cu_2O-Fe_3O_4 펜톤 나노입자를 활용한 고성능 수질 정화: 부홍은, 김연범, 강승원, 장영준, 김영근*(고려대학교)
Keywords: 산화철, 고도산화공정, 펜톤 반응, 반응성 산소종

산업 발전으로 인한 유기오염물질의 배출로 인하여, 물속의 잔류 및 농도가 점점 짙어지며, 기존의 수처리 기술로 아직 해결에 어려운 점이 존재합니다. 고도산화공정(AOPs)는 주로 하이드록실 라디칼(•OH)과 같은 반응성이 매우 높은 종을 이용한 산화 반응을 통해 물과 폐수 내의 유기물을 제거하기 위해 설계된 일련의 화학적 처리 방법입니다[1]. 본 연구에서는 효과적인 수처리용 펜톤 시스템을 구현하기 위해 산화구리(Cu_2O)가 고정된 산화철(Fe_3O_4) 매조결정 나노입자(CFNP)를 합성하였습니다. Fe_3O_4 나노입자 표면에 Cu_2O로 전략적 기능화하여 Cu^+/Cu^{2+} 및 Fe^{2+}/Fe^{3+} 이온 간의 산화환원 순환이 촉진되어 과산화수소(H_2O_2)의 분해가 가속화되고, 동시에 반응성 산소종(ROS)의 생성을 유도합니다. 이를 라디컬 소거 실험, Lineweaver-Burk 분석, TMB 산화 반응을 통해 •OH 생성 메커니즘과 CFNP의 우수한 촉매 성능을 규명하였습니다. 해당 시스템으로 메틸렌 블루와 같은 유기 염색물질과 산업에서 활용되는 대표적인 항생제 3종인 테트라사이클린, 시프로플록사신, 설파메톡사졸 등 난분해성 오염물질을 빠르고 효과적으로 분해하는 능력을 입증하였습니다. 본 펜톤 기능성 나노입자는 분자 수준의 오염물질 분해를 수행할 수 있는 유망하고 확장 가능한 해결책으로, 지속가능한 폐수 처리 기술의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대됩니다.

[나노융합1-3 | 09:30]
Abnormal Melting Behavior of Chemically-Reduced Spiky Gold Mesoparticles with Complex Size and Morphology: Lee Jieun, Kim Jiyoung, Kwak Minkyung, Min Hyungi, Park Eunsoo*(Seoul National University)
Keywords: Gold particle, Surface plasmon resonance, Spiky nanoparticle, Melting-point depression

Gold nanoparticles exhibit distinctive optical properties due to surface plasmon resonance (SPR), which varies with particle size and morphology. Their color and optical behavior can be tuned by controlling synthetic parameters such as temperature, pH, and the type of reducing agent. Furthermore, as particle size approaches the nanoscale, the melting point of gold decreases significantly—a phenomenon known as melting point depression. These unique size- and shape-dependent properties have attracted increasing interest in the synthesis and morphological control of gold nanoparticles. In this study, pure gold was recovered from dental gold inlay alloys via chemical reduction, resulting in the formation of gold mesoparticles with a distinct spiky, branched morphology. The formation mechanism of these spiky gold mesoparticles was investigated, along with changes in particle color and shape upon heat treatment. Additionally, melting point depression behavior was observed in the mesoscopic size range. Differential Scanning Calorimetry (DSC), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Transmission Electron Microscopy (TEM) were employed to characterize the thermal and structural properties of the particles. The study aims to elucidate the thermodynamic origins of melting point depression observed in complex-shaped mesoparticles, focusing on factors such as increased surface atom fraction and reduced bonding energy at the nanoscale and mesoscale. The results provide insights into the relationship between shape, size, color variation, and thermal behavior of spiky gold mesoparticles, offering useful guidance for future design and application of functional nanomaterials.

[나노융합1-4 | 09:45]

구리–마그네슘 전구체 탈합금화를 통해 제조된 나노다공성 구리의 기계적 물성 및 촉매 특성: 여지윤, 김효석, 김정기, 권재호, 이승현, 조승호*, 박성수*(울산과학기술원)

Keywords: nanoporous Cu, precursor, dealloying, mechanical properties, catalyst

나노다공성 구리 (nanoporous Cu)는 우수한 전기 전도성과 화학적 반응성, 높은 비표면적 등의 장점을 바탕으로 최근 촉매, 센서 등 다양한 유형의 기능성 소재로서 적용이 시도되고 있다. 또한 비교적 간단한 제조 방식인 탈합금 (dealloying) 기법을 활용하여 나노다공성 구리를 성공적으로 제조한 연구 결과가 보고되고 있다. 하지만 전구체 (precursor) 내 희생원소가 선택적으로 용해되는 탈합금 과정 중 불가피한 부피 수축으로 인한 균열 발생은 나노다공성 구리의 기계적 물성 뿐만 아니라 기능적 특성에 있어서도 부정적 영향을 끼친다고 알려져 있다. 탈합금 과정의 부피 수축에 기인한 균열 발생을 억제하기 위한 가장 직관적이고 효과적인 방법은 전구체 내 희생원소의 상대 비율을 낮추어 탈합금으로 인한 부피 수축을 감소시키는 것이다. 예를 들어 Al–Cu 합금 전구체를 탈합금 공정에 적용할 경우 희생원소인 Al의 상대 비율을 50 at% 이상 유지하여야 전 영역에 걸쳐 나노다공성 구조의 형성이 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구진은 Cu–Mg 합금 전구체를 탈합금에 적용할 경우 희생원소로 작용하는 Mg의 상대 비율을 33 at%까지 낮추는 것이 가능하며 이로 인해 기존 대비 나노다공성 구조체 내 균열의 분율을 매우 낮게 유지할 수 있음을 발견하였다. 본 연구에서는 Cu–33Mg 합금 전구체의 탈합금을 통해 제조된 나노다공성 구리 샘플의 미세조직 및 기계적 물성을 기존에 보고된 다양한 나노다공성 구리 사례와 비교하고, 기능성 소재로서의 적용 가능성을 파악하기 위해 수전해 과정에서의 제조 샘플의 촉매 특성을 확인하였다.

[나노융합1-5 | 10:00]

Metastable Mo_4P_3 Nanowires via Liquid Gallium CVD for Selective 2e$^-$ ORR: Kim Seo Hyun, Yeon Sik Jung*(한국과학기술원 / KAIST), Hyeuk Jin Han*(성신여자대학교 / Sungshin Women's University)

Keywords: Metastable Material, Liquid Gallium, CVD, 2e$^-$ ORR

Metastable materials are thermodynamically unstable and generally inaccessible under equilibrium conditions, normally requiring high-pressure or other non-equilibrium processes followed by quenching. Achieving such materials directly at ambient pressure remains a significant challenge. We present a liquid gallium–assisted chemical vapor deposition (CVD) method that enables ambient-pressure synthesis of metastable Mo_4P_3 nanowires and precise control of their aspect ratio by tuning growth kinetics. This morphological tunability allows a systematic investigation of how aspect ratio influences the activity of Mo_4P_3 for the two-electron oxygen reduction reaction (2e$^-$ ORR). Electrochemical measurements show that higher aspect ratios increase 2e$^-$ ORR selectivity and efficiency. Density functional theory (DFT) calculations show that facet-dependent electronic structure and adsorption energetics explain these trends. Liquid metal–mediated synthesis thus provides a practical route to engineer metastable, facet-optimized electrocatalysts under ambient conditions.

[나노융합1-6 | 10:15]

전기화학 가역증착기술 기반 스마트윈도우 개발: 문천우*(순천향대학교)

Keywords: 스마트윈도우, 금속가역증착, 플라즈모닉스

스마트윈도우 기술은 태양광 조절과 실내 심미성의 증진이라는 기능을 줄 수 있는 차세대 창호 기술 중 하나이다. 현재 이를 위한 전기변색 스마트윈도우 기술을 위해 연구되는 소재는 여러가지가 있다. 예를 들어, 금속-유전체 전이소재, 액정, 등등을 생각 할 수 있다. 이러한 잠재적 기술의 하나로서 전기화학 기술을 사용한 금속가역증착 (Reversible Metal Electrodeposition, RME) 이 있다. RME 기술은, 금속과 금속 이온으로의 산화환원 과정을 통해 빛을 차단층을 효과적으로 생성 및 제거할 수 있다. 이러한 금속 소재는 높은 허수 굴절율 (k) 및 자발적 나노구조화에 의한 플라즈모닉스 현상 덕분에, 약간의 광학층만 형성하더라도 효과적으로 빛을 제어할 수 있는 큰 장점이 있다. 이러한 RME 기반 스마트윈도우 기술은 전기화학적 가역성과 나노소재의 빛의 차단이라는 2가지 복잡성이 얽혀 있는 도전적인 분야이다. 본 발표에서는, 이러한 RME 기반 스마트윈도우 기술 개발을 위해 현재 진행중인 연구들을 가볍게 소개하고 논의하고자 한다.

[나노융합2-1 | 10:40] 조정강연

Reconfigurable ferroelectric field-effect transistors based on single-walled carbon nanotubes and aluminum scandium nitrid: Dongjoon Rhee*(Kookmin University)

Keywords: carbon nanotube, ferroelectrics, field-effect transistor, reconfigurable device, non-volatile memory

Ferroelectric field-effect transistors (FeFET) have emerged as promising candidates for nonvolatile memory due to their simple and compact architecture, which supports high-density integration, fast switching, and non-destructive read operations. Recent developments combining two-dimensional (2D) semiconductor channels with ferroelectric aluminum scandium nitride (AlScN) have yielded high-performance FeFETs with exceptionally large ON-state currents, high ON/OFF current ratios, and wide memory windows. A key limitation, however, is that wafer-scale synthesis of 2D semiconductors generally requires growth temperatures above 500 °C, making them incompatible with back-end-of-line (BEOL) integration and necessitating post-growth transfer step. As an alternative, solution-based assembly of semiconducting single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) offers a promising route to fabricate high-performance channels at room temperature, but achieving densely packed ultrathin films of SWCNTs required for large ON-state currents and high

ON/OFF ratios remains challenging. In this talk, I present large-scale arrays of FeFETs that integrate a dense, highly aligned monolayer of semiconducting SWCNTs with ferroelectric AlScN. The polarity of our SWCNT FeFETs can be engineered through the choice of contact metals at the metal-semiconducting interface, allowing the devices to be tuned from p-type to ambipolar. The ambipolar devices deliver high electron and hole current densities, both exceeding 200 μA μm^{-1} at a drain voltage of 3 V, combined with stable retention up to 2 days. Furthermore, ferroelectric polarization switching in AlScN enables the same devices to function as reconfigurable p- and n-FETs, highlighting their potential for multifunctional memory and logic integration at the circuit level.

[나노융합2-2 | 11:05] 조청강연

Emerging iontronic materials and devices: Hyeon Han*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Precise control of ionic motion and arrangement is key to advancing a wide range of iontronic technologies, including batteries, electrochromic systems, spintronic devices, and ionic transistors. Ionic transport between an electrolyte and a solid-state film, driven by applied electric fields, can lead not only to charge storage but also to striking modifications of material properties, such as insulator-metal transitions, the emergence of ferromagnetism or superconductivity, and neuromorphic functionalities. In this talk, I will present two representative studies that showcase how electric-field-driven ionic migrations can be harnessed to modulate the electrical and magnetic properties of epitaxial oxide thin films. First, I will introduce the synthesis of epitaxial T-Nb_2O_5 thin films exhibiting a colossal insulator-metal transition induced by ionic gating. These films feature vertically aligned ionic transport channels that facilitate rapid Li-ion migration, enabling fast and substantial resistance switching. Second, I will discuss the electric-field-induced reconfiguration of oxygen vacancy channels in brownmillerite $SrCoO_{2.5}$ thin films and nanostructures. These examples underscore the powerful role of iontronics in manipulating emergent quantum and electronic phases in complex oxides, offering promising pathways for the development of next-generation iontronic devices.

[나노융합2-3 | 11:30]

Bilayer Semiconductor Sensors for High-Performance Gas Sensing: Seo Jung-Hoo, Yoon Seong-Young, Jeong Seong-Yong*(Kongju National University)

Keywords: Gas sensors, Bilayer structures, Selectivity, Response

Metal oxide-based gas sensors are widely used owing to their advantages such as high response and fast response time. With recent progress in sensor networks and computing technologies, their applications have expanded into various fields. Nevertheless, their practical use is still hampered by challenges such as low gas response and poor selectivity. To address these limitations, this study proposes a bilayer gas sensor structure composed of a sensing film and a catalytic overlayer. Unlike conventional single-layer sensors, the bilayer sensors can separate the sensing and catalytic reactions into independent processes, which allows highly selective and sensitive gas sensing. The key advantages of bilayer sensors are 1) suppressing the cross-responses to interfering gases through catalytic filtering and 2) enhancing the gas responses to target gas via gas reforming. These advantages highlight the potential of bilayer-structured gas sensors as high-performance platforms with superior selectivity and sensitivity.

[나노융합2-4 | 11:45]

Electronic structure of oxygen-deficient $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ phases during electrochemical phase transitions: Shin Yongjin* (Dankook Univ.)

Keywords: 산화물, 페로브스카이트, 뉴로모픽 반도체, 제1원리 계산

The perovskite cobaltites $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ have been proposed as promising candidates for neuromorphic devices, as this class of materials exhibits a topotactically driven metal–insulator transition (MIT) that can be triggered by a moderate applied voltage. The control and minimization of such voltages are important for optimizing the efficiency of neuromorphic devices. By using a combination of density functional theory calculations and operando X-ray diffraction measurements on electrolyte-gated epitaxial films, here we investigate the impact of hidden Grenier phases on the nonmonotonic change in threshold voltage for varying Sr concentrations. We show that the threshold voltage for the reduction of $La_{1-x}Sr_xCoO_3$ to brownmillerite $La_{1-x}Sr_xCoO_{2.5}$ is influenced by the presence of intermediate $La_{1-x}Sr_xCoO_{2.67}$ Grenier phases, which are challenging to detect. We discuss how the stability of these Grenier phases depends on the Sr concentration, cation ordering, and the epitaxial strain applied to $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ films. In particular, our calculations show that by applying a biaxial strain of varied strength, one may obtain either metallic or insulating intermediate Grenier phases, which in turn may be controlled by the choice of the substrate. Our findings provide fresh insights into the importance of atomic-scale control of topotactic transitions in $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ films for neuromorphic computing applications. Lastly, we introduce the remaining opportunities, particularly associated with hydrogen doping in perovskites, for discovering emergent properties.

가공-표면처리
Room 3층 301, 10월 31일

[표면처리1-1 | 09:00]
Laser Shock peening 공정 변수가 SS 304의 부식 거동에 미치는 영향: 이주희, 장희진*(조선대학교)
Keywords: Laser Shock peening, corrosion, pasivity, Stainless Steel, Mott-Schottky
Laser Shock peening(LSP)은 초단펄스 고출력 레이저를 통해 금속 표면에 충격파를 유도하여 국부적인 소성 변형을 일으켜 압축 잔류응력을 부여하고 피로 강도를 개선할 수 있는 표면처리기법이다. LSP는 결정립 미세화, 경도 증가, 압축잔류응력 부여를 하며 기계적 특성 및 내식성에도 긍정적인 영향을 준다고 보고된다. 하지만 기존 LSP 연구는 주로 피로 마모나 응력균열부식의 관점에서 연구가 진행되어왔으며 부동태 피막 특성에 대한 영향은 아직 명확히 규명되지 않았다. 또한 레이저 강도 및 반복 조사수 증가는 표면 거칠기 상승, 응력 포화 등으로 인해 기계적 특성 및 내식성이 저하될 수 있어 공정 최적화 연구가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 동전위 분극시험, 정전위 분극시험, Mott-Schottky 분석을 통해 LSP 공정 변수에 따른 부식 및 부동태 피막의 반도체적 특성 변화를 평가하고 SS 304에서의 미치는 영향을 조사하였다. Acknowledgement: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217415)

[표면처리1-2 | 09:15]
Microstructural evolution and corrosion behavior of Al-Zn-Si-Mg-Ca coatings for hot-stamping after austenizing heat treatment: EunChan Wang(Korea Institute of Industrial Technology,Chonnam National University), Yun-Il Choi*(Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: HPF steel, hot dip coating, corrosion resistance
Hot-stamping steels employed in the automotive industry achieve ultra-high strength via hot press forming (HPF) followed by rapid die quenching. During HPF, steels are exposed to austenitizing at 900 °C for 5 min, which promotes high temperature oxidation and decarburization. To mitigate these issues, hot-dip aluminizing has been widely applied; however, conventional Al-based coatings exhibit limited corrosion resistance owing to their insufficient sacrificial anodic effect. In this study, the microstructural evolution and corrosion performance of Al-based coatings alloyed with Zn, Mg, and Ca were systematically investigated after austenitizing treatment. As results, Fe–Al interdiffusion induced the formation of a Fe2Al5 intermetallic layer at the coating/substrate interface. Zn remained enriched at the coating surface, and increasing Zn content decreased the intermetallic layer thickness while promoting the retention of Zn-rich and Al–Zn phases. Mg and Ca preferentially segregated to the surface and formed a thin oxide film effectively suppressing Zn oxidation and volatilization. Electrochemical evaluations using potentiodynamic polarization and zero resistance ammeter (ZRA) demonstrated a stable sacrificial protection effect of Zn. Zn-containing coatings exhibited a potential difference of 0.45–0.60 V relative to the substrate with ZRA showing sustained galvanic currents of 25–35 μA over 6 days in 3.5 wt% NaCl solution. In cyclic corrosion testing (CCT), coatings with higher Zn content significantly delayed the onset of red rust formation (1564 h) compared to those with lower Zn additions (432–768 h).

[표면처리1-3 | 09:30]
저기압 산화에 의한 황동의 탈합금 (dealloying) 거동 연구: 최문수, 황지인, 최은애(한국재료연구원), 주수현(단국대학교), 한승전*(한국재료연구원)
Keywords: Porous material, Brass, Dealloying, Low air pressure oxidation
황동이 고온에 노출될 경우, 구리에 비해 아연의 높은 증기압 그리고 빠른 확산속도로 인해 탈아연(de-zincification)이 일어난다. 그런데, 이러한 탈아연현상은 표면에 프로파일을 만들 수 있다. 이것에 착안하여 저기압 열처리를 통해 자연 탈합금(natural dealloying)을 유도하여 다공성 구리를 제조하고자 하였다. 사용된 재료는 상용 C2600 (70Cu30Zn) 과 C2700 (65Cu35Zn) 이고, 500ºC ~ 700ºC 그리고 1 atm ~ 1/10,000 atm 하에서 24 시간 동안 산화시켰다. 각 기압에서 산화된 황동은 표면에 ZnO 산화층이 생성되었으며 압력에 따라 산화물의 형태가 다름을 확인하였다. 그 후 10M HCl을 이용해 산화물을 제거하였다. 산화물 제거 후 황동 표면에 규칙적인 기공이 생성되었음을 확인하였다. 본 연구는 Zn 첨가량, 기압 그리고 산화온도에 따른 기공형성 거동을 분석하였다.

[표면처리1-4 | 09:45]
저기압 산화를 통한 철과 산화층 간의 접합성 향상: 박준상, 김강민, 정현우, 정일석, 최은애, 한승전*(한국재료연구원)
Keywords: Iron, Iron oxide, Interface, Bonding stability
철은 대기 중 표면에 쉽게 산화층이 형성되며, 이때 산화물은 작고 다공성(porous) 구조로 형성되어 박리되기 쉬우며, 이는 구조적 결함을 유발하고 제품의 성능과 내구성을 감소시킬 수 있다. 반면, 저기압에서는 산소 공급이 제한되어 산화물의 이차원 평면 성장(2D growth)이 유도되고, 치밀하고 큰 결정립이 형성되어 기지와의 계면 접촉 면적이 증가한다. 본 연구는 일반 구조용 강재인 SS400 (Fe–0.25C–0.45Si–1.4Mn)을 사용하여 1, 1/10,000, 1/50,000 atm의 기압에서 500ºC로 최대 240분 동안 산화 후 형성된

산화물의 형상, 두께 및 접합성을 분석하였다. 모든 조건에서 Fe2O3, Fe3O4 이중 구조의 산화물이 형성되었으며, Fe2O3 층은 표면에 수백 나노미터 두께로 매우 얇은 층으로 존재함이 확인되었다. 산화 시간에 따라 산화층의 두께는 증가하였고, 대기압에 비해 1/10,000 atm에서 가장 두꺼운 산화층이 형성되었다. 특히, 1/50,000 atm에서 240분간 형성된 산화층은 기지 금속과의 접합성이 가장 우수하게 나타났다. 낮은 기압에서는 산화물이 수 마이크로미터 크기의 큰 결정립을 가지며, 이는 기지-산화물 간 계면 접촉 면적을 증가시켜 접합성 향상에 기여하는 것으로 판단된다.

가공-열처리
Room 3층 301, 10월 31일

[열처리1-1 | 10:10]
A Study on Induction Heat Treatment Technology for Improving Deep Hardening Depth in High-Strength Heat-Treated Rails: Jinhyeok Kim, Jae Yeong Choi, JEONGHUN Kim, Jun Ho Chung, SUNG HO YEOM*(현대제철 기술연구소)
Keywords: Heat-Treated Rails, dual-frequency induction, Deep Hardening

Railways represent an environmentally sustainable mode of mass transportation, with increasing demand for enhanced rail strength and wear resistance driven by the expansion of high-speed transit systems and freight logistics. The growing operational loads from elevated passenger traffic and freight volume necessitate the deployment of high-performance rail alloys engineered for superior mechanical stability and wear durability under extreme service conditions. This study investigates the optimization of a dual-frequency induction hardening process to enhance the fatigue life of rails operating under heavy-load conditions by securing sufficient subsurface hardness. Distinct frequencies were applied during the primary and secondary induction heating stages, with power input at each stage and the coil-to-rail distance identified as critical process parameters. Finite element-based electromagnetic-thermal simulation using DEFORM-2D HT software was employed to predict the depth of austenitic phase transformation within the rail cross-section, serving as a basis for determining the optimal combination of processing parameters. The derived parameters were implemented in the industrial induction heated treatment line, and subsequent evaluation of hardness profiles and effective hardening depths on processed specimens exhibited strong correlation with simulation outcomes. The results confirmed that the targeted hardness and subsurface hardening depth were successfully achieved. Furthermore, microstructural analysis across various depths substantiated the effectiveness of the cooling process, providing additional validation of the proposed methodology.

[열처리1-2 | 10:25]
초고강도 냉간압조용 중탄소 Cr-Mo 강 선재의 구상화 어닐링 거동에 대한 연구: 강현우, 장병록*(제조혁신전문대학원)
Keywords: Cr-Mo steel , spheroidizing heat treatment, initial microstructure

Medium-carbon Cr-Mo alloy steels for cold heading applications exhibit superior mechanical strength and heat resistance compared to conventional carbon steels, making them widely utilized in the automotive, machinery, and aerospace industries for high-strength fastening and precision-formed components. However, such high-strength steels often suffer from die wear and cracking during cold forming processes. To address these issues, optimization of spheroidizing annealing conditions through appropriate microstructural control via heat treatment is essential. In this study, spheroidizing annealing conditions were optimized for two steel grades: the widely used CHQ-grade SCM435 and a newly developed 1600 MPa-grade ultra-high-strength Cr-Mo alloy steel. A series of spheroidizing heat treatment conditions were applied to both steels, and their spheroidization behavior and mechanical characteristics were comparatively analyzed based on initial microstructural differences. Intercritical Annealing (IA) and Subcritical Annealing (SA) cycles were designed based on Ac_1 and Ac_3 transformation temperatures determined via DSC analysis. The results revealed that both steels exhibited optimal spheroidization and hardness reduction when subjected to IA conditions with a second heating temperature approximately 20–40 °C below Ac_1. The lowest Vickers hardness was observed at 113 HV for SCM435 and 171 HV for the developed alloy, corresponding to an average decrease of 55% and 54.5% from their initial hardness, respectively. Microstructural observations showed that SCM435, which primarily consists of pearlite in a ferrite matrix, underwent effective spheroidization under both IA and SA conditions. In contrast, the bainitic structure of the developed alloy required prior austenitization under IA conditions to enable successful spheroidization. A Quantitative evaluation using the morphological shape factor (F) confirmed a clear inverse relationship between hardness and F values, indicating that this factor can serve as a reliable metric for assessing cold formability and the effectiveness of spheroidizing heat treatment.

[열처리1-3 | 10:40]
PM-HIP 공정을 통해 제작된 고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 미세조직 및 기계적성질: 이병찬, 문준오*, 홍현욱(국립창원대학교), 김동수, 안세환(두산에너빌리티)
Keywords: Small Modular Reactor (SMR), Powder metallurgy (PM), Hot Isostatic Pressing (HIP), High nitrogen austenitic stainless steel, Microstructure, Mechanical property

지속적인 기후 변화로 인해 세계적으로 탄소 배출을 줄이기 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 Small Modular Reactor (SMR)가 주목받고 있다. SMR은 우수한 안정성과 낮은 건설 비용, 짧은 건설 기간 등 다양한 장점을 바탕으로 활발히 연구되고 있다. SMR의 구성 요소들은 발전소 가동 중에 극한 환경에 노출되고 균일한 성질을 유지할 수 있어야 하기 때문에 우수한 물성이 요구된다. 이에 따라, 기계적 성질과 내식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강 (High nitrogen austenitic stainless steel, HNSS)이 SMR 구조용 후보 소재로 주목받고 있다. 한편, PM-HIP (Powder metallurgy – Hot Isostatic Pressing)공정은 높은 비교적 짧은 공정 시간으로 높은 치수 정밀도, 우수한 표면 품질 및 기계적 성질을 가지는 복잡한

형상의 부품을 제작이 가능하여 차세대 혁신제조기술로써 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 PM-HIP 공정을 통해 제작된 고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 Nb 함량에 따른 미세조직과 물성을 평가하기 위해 PM-HIP 공정을 적용하여 Nb 함량이 다른 HNSS 합금들을 제작하였다. 모든 샘플은 1050ºC 이상의 온도에서 각각 1시간 동안 열처리를 수행하였다. 샘플의 미세조직 및 석출 거동은 SEM, EBSD, TEM, XRD를 통해 분석하였으며, 비커스 경도, 인장 및 충격 시험을 통해 기계적 성질을 평가하였다. 마지막으로 미세조직과 기계적 성질 간의 상관관계에 대해 고찰하였다.

[열처리 1-4 | 10:55]

BA 처리 스테인리스 스틸 316L 전해연마 튜브의 미세조직 및 표면 특성에 관한 연구: 박은혜(한국폴리텍대학,인하대학교 제조혁신전문대학원), 이수연(인하대학교), 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)

Keywords: Bright Annealing, Electropolishing, Stainless steel 316L, Seamless tube, Surface morphology, Microstructure

BA(Bright Annealing) 처리된 스테인리스 스틸 316 L 전해연마(Electropolished, EP) 심리스 튜브는 반도체 및 바이오 산업의 고청정 배관재로 널리 사용된다. 특히 6.35 mm~25.4 mm의 소구경 튜브는 고집적 장비의 가스 라인에서 핵심적으로 적용되며, 직경에 따라 인발–재결정 과정의 반복, 변형률, 열처리 균일성이 달라져 최종 미세조직 형성에 영향을 미친다. 이러한 차이는 전해연마 과정에서의 전기화학적 제거와 표면 형상에도 반영된다. 본 연구에서는 6.35 mm, 12.7 mm, 19.05 mm의 직경별 BA 처리 316L 심리스 튜브를 대상으로 미세조직과 표면 특성을 비교하였다. 광학 관찰을 통해 DD, TD, ND 방향에서 오스테나이트 기지 내 결정립과 쌍정(twin)을 확인하였으며, 튜브 내부 전해 연마면에서는 국부적으로 불균일한 표면 형상을 확인하였다. 이러한 형상을 직경별로 비교하고, 성분 및 결정방위 분석을 위해 SEM-EDS와 EBSD 조사를 수행하였다. 본 연구는 직경 차이에 따른 인발–재결정 공정 이력이 미세조직과 전해연마 후 표면 형상으로 이어지는 인과관계를 규명하였으며, 이는 고청정 배관재 제조와 품질 관리 최적화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

표면계면
Room 3층 302/3, 10월 31일

[표면계면1-1 | 09:30]

Drying-Process-Driven Nanoporosity Control in Highly Crystalline Single-Walled Carbon Nanotubes for Enhanced Dispersibility: Kim Min Jun(Chonnam National University,Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON)), CHO HYE RI, NAM SEUNG HYUN(Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON)), JEON KWAN GU(E-CUBE Materials), KIM YOONG AHM(Chonnam National University), KIM WON SEOK, KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency(KCARBON))

Keywords: Single-walled carbon nanotubes, Floating Catalyst chemical vapor deposition, Nanopore, Freeze-drying, Pore structure

Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) with high crystallinity are attracting attention as promising materials for next-generation energy storage devices and aerospace applications due to their excellent electrical and mechanical properties. However, as the diameter decreases, SWCNTs tend to form large bundles through strong van der Waals interactions, leading to reduced dispersibility and structural limitations. Nevertheless, systematic studies on the influence of such bundled SWCNT assemblies on nanoporous structures remain limited. In this study, we investigated the effect of drying conditions on the nanopore structure of highly crystalline SWCNTs, characterized by a high Raman intensity ratio (I_G/I_D > 35), synthesized by floating catalyst chemical vapor deposition. After nitric/sulfuric acid purification under identical pretreatment conditions, two drying methods—thermal drying at 110°C and freeze-drying at –70°C—were applied. Interestingly, the freeze-dried samples exhibited a significant reduction in specific surface area and pore volume compared to the thermally dried samples, while pronounced mesopore development was observed. The surface structure and property differences of the samples were examined by field emission scanning electron microscopy, high-resolution transmission electron microscopy, Raman spectroscopy, and thermogravimetric analysis. Nitrogen adsorption experiments at 77 K were analyzed using the α_s-plot–based Subtracting Pore Effect method, and the micropore and mesopore distributions were determined using the Horvath–Kawazoe and Barrett–Joyner–Halenda models, respectively. These results suggest that a simple freeze-drying process can minimize surface aggregation among nanotubes within the SWCNT network, suppress micropore formation, and simultaneously promote mesopore development while enhancing dispersibility.

[표면계면1-2 | 09:45]

Germanene 단일층에서의 금속 (M = K, Ca, Sc, Ti, V) 단원자 흡착에 따른 수소 저장 메커니즘: 유승민, 김민중, 박상원*(수원대학교)

Keywords: Germanene, 금속단원자, 표면 반응, 수소, 밀도범함수이론(DFT)

본 연구에서는 Germanene 단일층 표면에서 3주기 금속단원자 (M = K, Ca, Sc, Ti, V)를 흡착시킨 기판 (Germanene:M)을 밀도범함수이론을 사용하여 수소저장재료로써 평가를 하였다. Germanene 단일층은 sp^2/sp^3 혼성 궤도로 인해 구조적 안정성과 전자적 특성이 공존한다. Germanene:M 표면에 수소 분자를 단계적으로 도입하여 최대 저장 수소 개수, 평균 결합 거리, 흡착 에너지 지표를 비교 분석하였다. 또한, 상온 조건에서의 열적 안정성은 AIMD 계산을 통해 검증하였으며, 금속 흡착 전후의 전자 상태 밀도, Charge Density Difference 분석을 통해 금속-기판 간 결합 특성 및 수소와의 상호작용을 평가하였다. 특히 K, Ca의 경우 클러스터링이 거의 발생하지 않았으며 수소 분자를 각각 5, 6개씩 흡착시킬 수 있는 성능을 보였다. 구조적, 전자적 차이는 수소 저장 능력과의 상관관계로 이어지며, 본 연구는 금속 종류에 따른 수소 저장 메커니즘의 일반적 경향성을 도출하고, 안정성과 저장 용량과 구조 안정성 간의의 균형점을 제시하고자 한다.

[표면계면1-3 | 10:00]

Electrochemical Functionalization of Graphene-on-Cu(111) : Substrate Effect & Reaction Mechanism Study: Kim Minhyeok, Rodney S. Ruoff*, Lee Sun Hwa*(Institute of Basic Science,Ulsan National Institute of Science and Technology)

Keywords: Graphene, Cu, Interface, Covalent bond, Electrochemistry, Functionalization

The controlled chemical modification of graphene remains a critical challenge for tailoring its electronic, mechanical, and chemical properties for diverse applications. This presentation reports a comprehensive investigation of electrochemical functionalization approaches for single-crystal monolayer graphene grown on copper substrates, revealing fundamental insights into substrate-dependent reactivity and molecular selectivity. We developed a transfer-free electrochemical method to functionalize single-crystal graphene directly grown on Cu(111) foils by chemical vapor deposition, eliminating contamination and defects typically introduced during transfer processes. We systematically investigated the functionalization with various organic halides, including 4-iodoaniline, phenyl iodides with various substituents. Our findings demonstrate that the underlying copper substrate facet significantly influences graphene reactivity. Graphene on Cu(115) exhibited higher reactivity compared to graphene on Cu(111), with different potential thresholds for electrochemical functionalization. Kelvin probe force microscopy revealed that Gr/Cu(115) has lower work function than Gr/Cu(111), facilitating easier electron transfer. Density functional theory calculations confirmed these experimental observations, showing that the stepped Cu(115) surface creates more thermodynamically stable configurations for functionalized carbon atoms. Investigation of

different phenyl iodides revealed distinct reactivity patterns by substituents. Molecules with electron-withdrawing groups showed enhanced reactivity compared to those with electron-donating groups. Molecules containing double or triple bonds in their substituents failed to functionalize graphene, attributed to resonance stabilization of reduced intermediates. We identified distinct "onset potentials" for different reagents and suggested a possible reaction mechanism with the differential pulse voltammetry and DFT calculations. Exploiting onset potential differences, we demonstrated selective functionalization using mixed reagent solutions. This work establishes fundamental principles governing electrochemical graphene functionalization, providing a roadmap for precise control over graphene properties. The transfer-free approach, combined with understanding of substrate effects and molecular selectivity, opens new avenues for reliable graphene modification with applications in electronics, sensors, and catalysis. The ability to fine-tune functionalization through potential control and molecular design represents a significant advancement in graphene chemistry.

[포면계면 1-4 | 10:15]

DFT 계산을 통한 2차원 전이금속 tetraboride(TiB_4, CrB_4, VB_4)의 Li, Na, Ca 이온 저장 메커니즘 연구: 이동휘, 김예은, 박상원*(수원대학교)

Keywords: 표면 반응, 밀도범함수이론(DFT), 이온배터리, 음극재

본 연구는 차세대 고성능 이온 배터리 음극재 개발을 목표로, 제일원리 계산을 통해 2차원 전이금속 tetraboride (MB_4, M = Ti, Cr, V) 단일층의 단가(Li, Na) 및 이가(Ca) 이온의 저장 특성을 체계적으로 분석하였다. MB_4 단일층은 Borophene 이중층 사이에 hexagonal 금속 원자층이 삽입된 형태의 2차원 hexagonal lattice 구조를 이룬다. 이러한 구조는 이온의 흡착 및 확산을 위한 넓은 표면적과 통로를 제공하며, 고유의 금속성은 우수한 전기 전도성을 나타내 기존 흑연 음극재의 한계를 극복할 잠재력을 가진다. 포논 분산 및 분자동역학 시뮬레이션 결과, 세 물질은 300K에서 동정 및 열적으로 안정한 것을 확인하였다. 특히, TiB_4는 이온에 대해 2,000 mAh/g 이상의 매우 높은 이론적 저장 용량을 보였으며, CrB_4는 Na이온에 대해 약 0.18 eV의 낮은 확산 에너지 장벽을 보였다. 반면, Ca 이온은 2 전자 반응을 통해 높은 용량이 기대되나, 강한 정전기적 상호작용으로 인해 상대적으로 높은 약 0.63 eV의 확산 장벽을 보였다. 전자 구조 및 전하 밀도 차이 분석을 통해, 이온 흡착 시 호스트 물질로의 전하 이동과 금속성 유지 메커니즘을 규명하였다. 본 연구는 고용량 및 고속충전이 가능한 차세대 이온 배터리 음극소재로써 Borophene을 기반으로 한 MB_4의 가능성을 제시한다.

[포면계면 1-5 | 10:30]

Molecular Surface Activation of Al-8079 for Enhanced Direct Bonding with Cast Polypropylene in Lithium-Ion Battery Pouch Films: Appiah Emmanuel Owusu, Park Jin Woong, Byoung Jun Han, Kim Jeoung Han*(Hanbat National University)

Keywords: Triazine mixture, environmental resilience, direct adhesion, peel off strength

A durable, solvent-free interphase for direct bonding of aluminum 8079 to cast polypropylene (CPP) was developed via electrochemical grafting of a novel triazine mixture. The mixture was applied to Al_2O_3, and the surface was comprehensively characterized by EDS, XPS, SEM, profilometry, Kelvin probe force microscopy (KPFM), and contact-angle measurements. The mixture uniquely preserves 67.5 wt.% Al, 29.9 wt.% O, and 1.6 wt% S, yet achieves the high porosity (47.5 % at 25.9 nm) and balanced roughness (Sa = 0.87 μm). KPFM shows that the surface electrostatic force increased after the electrochemical activation. Contact angle measurement shows that the triazine mixture, despite θ = 72.2°, yields strong adhesion, demonstrating that optimal bonding requires a synergy of covalent Al–S coupling, polymer-matched surface energy, and engineered nanoscale topography. The mixture produced an initial peel off strength of 24 N/mm and retained> 90 % after 168 h at 85 °C/85 % RH and in 1 M $LiPF_6$ electrolyte, surpassing ISO 14678-2 and ASTM D1876 criteria and outperforming commercial urethane primers (15 - 17, > 30 % degradation). Molecular dynamics (MD) and DFT simulations reveal an energy-favored “alkane-down, thiol-up” triazine thiol (DBT) orientation, induced surface amorphization with nanoscale voids, and sulfur-centered frontier orbitals that drive robust Al–S anchoring. This ultrathin, VOC-free interphase offers a scalable platform for high-reliability, lightweight lithium-ion pouch cells and is readily adaptable to other metal–polymer systems.

[포면계면 2-1 | 10:55]

친환경차 내장부품 코팅용 비불소계 고분자복합재료의 마찰마모특성에 관한 연구: 정동일(한국자동차연구원,고려대학교), 김인서(한국자동차연구원), 강희민(고려대학교), 최현주*(한국자동차연구원)

Keywords: 생체친화 윤활코팅, 비불소계 고분자복합재료, 마찰마모특성, 친환경차 내장부품

최근 과불화화합물(PFAS, per- and polyfluoroalkyl substances) 사용 규제가 강화됨에 따라 친환경차 내장재의 내구성 및 안정성 확보를 위한 대체물질 개발의 중요성이 대두되고 있다. 친환경차 내장재 표면코팅에는 PFAS 계열 재료 중 PTFE(Polytetrafluoroethylene) 기반 고분자복합재료가 널리 사용 중인데, 특히 윤활 효과 및 마모 저항성을 향상시키기 위해 Graphite, MoS_2, Al_2O_3 등 세라믹 입자를 첨가하고 있다. 본 연구에서는 생체친화 윤활코팅을 위해 비불소계 고분자복합재료 내 금속 이온과 리간드 조합에 따른 가역적 배위결합을 형성시키는 미량의 Ag를 첨가하여 코팅액을 제조하였고, 인가하중 및 속도별, 온도별 마찰마모시험평가를 실시하여 PTFE가 포함된 기존 상용 코팅재료와 비교분석하였다.[ASTM G-133 규격 참고] 그 결과로, 코팅시험편의 두께, 코팅 균일성, 표면조도[Ra], 표면경도 등에 영향을 받았으며 각 시험편별 마모흔 관찰을 통해 전반적인 마찰마모 메커니즘을 예측하였다.

[표면계면2-2 | 11:10]

레이저 클리닝 조건에 따른 금속 미세조직 및 물성 변화 연구: 강현식, 박창규*(서울과학기술대학교/Seoul National University of Science and Technology)

Keywords: 금형강, 레이저 클리닝, 표면처리

레이저 클리닝 조건에 따른 금속 미세조직 및 물성 변화 연구 강현식[1], 박창규[1] [1]서울과학기술대학교 6000계열 석출경화형 Al-Mg-Si 알루미늄 합금은 우수한 내식성과 내열성을 갖추고 비교적 높은 강도를 보유하여 건축용 구조재뿐만 아니라 차량의 엔진 후드, 트렁크, 지붕 등의 소재로 활용됨. 이 합금의 가공에는 프레스 금형이 사용되며, 알루미늄의 높은 연성으로 인해 칩, 버(burr), 슬러리(sliver) 등이 발생함. 이러한 오염물질은 반복되는 고압 하중에 의해 금형 표면에 소착되며, 이로 인해 최종 제품의 품질 저하와 불량 발생, 추가 가공 공정 요구로 이어져 시간적·경제적 손실이 초래됨. 본 연구에서는 이러한 문제 해결을 위해 레이저 클리닝을 적용하여 금형 표면에 소착된 알루미늄을 제거하고, 클리닝 조건에 따른 금속 미세조직 및 물성 변화를 체계적으로 분석함. 레이저 클리닝은 고출력 레이저 빔을 소재 표면에 조사하여 레이저 어블레이션 및 충격파 효과를 통해 오염물을 제거하는 기술임. 본 연구에서는 금형 소재 HK600에 소착된 알루미늄을 나노초 펄스 레이저를 이용해 제거하고, 다양한 클리닝 조건에 따른 금형 표면의 미세조직 변화와 물성 변화를 관찰함. 그 결과, 레이저 클리닝 후 금형 표면의 미세조직 및 표면 조도 변화가 확인됨. 또한 경도와 내마모성 등 기계적 특성의 변화가 관찰됨. 정밀 분석을 위해 주사전자현미경(SEM), 에너지 분산형 X선 분광분석기(EDS), 전자 탐침 미소분석기(EPMA)를 활용함.

[표면계면2-3 | 11:25]

DED 기반 레이저 재조사를 통한 적층 제조된 샘플의 표면 특성 개선 연구: 장연하, 주효문, 조영철, 김성진, 용왕현, 최준혁, 김한재*(현대자동차)

Keywords: Laser Rescanning, 표면처리, 표면조도

최근 우주항공과 자동차 산업을 포함한 여러 산업 분야에서는 높은 형상 자유도와 우수한 물성의 제품 제조가 가능한 3D 프린팅 공법이 각광받고 있다. 하지만 3D프린팅 제작품에서는 한 층씩 적층하는 공법 방식과 열과 중력에 의한 변형을 억제하기 위한 서포트 삽입에 기인한 특성으로 인해 동일 부품내에서도 적층 각도에 따라 표면 특성이 상이하게 나타나게 된다. 특히 오버행 영역과 서포트가 형성되었던 영역의 경우 매우 거친 표면을 보이며, 샷 블라스팅 등의 표면처리를 통해서도 이를 완벽히 개선하기란 어려운 실정이다. 따라서 일반 양산 공법에서 요구되는 수준의 균일한 표면 특성을 갖기 위해서 적층제조 부품의 국부적인 열세부에 대한 선택적 표면처리 방법에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 Directed Energy Deposition 방식의 적층제조 공법으로 제작된 샘플에 대해 최외곽면에 레이저를 재조사하여 표면특성을 개선할 수 있는 수준에 대하여 검토하였다. 먼저 DED 방식 적층 제조를 통해 적층 각도가 상이한 평면형 샘플을 제작하였으며, 평면부에 레이저 빔 직경, 레이저 세기, 스캔 속도, 오버랩 수준 등을 변수로 하여 레이저 재조사를 수행하고 전후 표면조도와 형상, 표면 경도와 미세조직을 비교 분석하였다. 이때 레이저 재조사에 사용되는 레이저는 적층제조 공정과 연속 공정으로써의 가능성을 검토하기 위해 DED 공정에 사용되는 레이저 타입을 사용하였다. 평가 결과, 표면처리 전 샘플의 경우 적층 각도에 따라 표면 조도가 상이하였으며, 층 두께 및 빔사이즈에 따라 골 패턴이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 레이저 재조사를 진행하였을 때, 레이저 세기가 낮고 스캔 속도가 빠르며 오버랩이 클 때 더 낮은 표면조도 수준을 보이는 것을 확인하였다. 입열량이 유사한 조건이라도 레이저 빔 직경에 따라 표면 형상 및 조도가 크게 달라지는 것을 확인할 수 있었으며, 레이저 재조사 조건에 따라 표면에 형성되는 미세조직과 표면 경도 역시 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 DED공법으로 제조된 샘플에 대해 표면에 레이저를 추가적으로 조사하여 용융 시켰을 때 발생하는 표면특성 변화에 대해 확인하였으며, 이를 통해 향후 DED 제조품에 대한 표면처리 방안으로써의 가능성을 확인하였다.

[표면계면2-4 | 11:40]

자동차 브레이크 분진 배출 저감을 위한 디스크 코팅 공법 연구: 박종성, 이상목*(현대자동차)

Keywords: 브레이크 디스크, 환경규제, 코팅 공법

전 세계적으로 환경 문제에 대한 대중의 관심이 높아짐에 따라 자동차 시장에서도 환경 문제와 관련된 다양한 규제들이 제정 및 발효되고 있다. 과거 내연기관 자동차에서는 엔진에서 배출되는 가스와 미세 입자들에 대한 연구가 진행되고 규제가 만들어졌으나, 전동화 차량이 급증하고 있는 현재에는 비배기계 시스템에서 배출되는 입자들에 대해 이목이 집중되고 있다. 특히 유럽과 중국에서는 향후 몇년 내에 타이어와 브레이크에서 발생되는 분진량에 대해 PM10 기준으로 규제를 발효하려는 움직임을 보이고 있으며, 이를 대응하기 위해 자동차 산업계에서는 다양한 기술을 적용 개발하고 있다. 그 중 대표적인 기술로 유럽 내 자동차 업계에서는 레이저 클래딩 공법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 해외에서 개발하고 있는 레이저 클래딩 공법의 대표적인 사례를 연구하여 실제 전동화 차량에서의 미세 분진 관련 규제를 대응할 수 있는지 확인하는 한편, 새로운 공법의 적용에 따른 개발 과정에서의 발생 가능한 문제점에 대해서도 조사하였다. 또한 레이저 클래딩 공법을 활용하여 제작한 코팅층의 물성에 대한 연구를 통해 제동 현상에 대해 이해하고자 하였다. 연구 결과, 레이저 클래딩 공법을 적용할 경우, 분진의 배출량을 저감할 수 있다는 것은 확인하였으나 코팅에 사용된 소재의 특성에 의해 불안정한 제동 특성이 발현된다는 것을 확인하였다.

상변태
Room 3층 304, 10월 31일

[상변태1-1 | 09:00] 초청강연

Effect of constitutional undercooling on fluidity during rapid cooling of Bi-Mn alloys: Ryu Wook Ha(Kumoh National Institute of Technology), Kwak Min Kyung , Park Eun Soo *(Seoul National University)

Keywords: casting, undercooling, rapid solidification, crystallization, crystal growth

The fluidity of alloys is a key parameter in casting processes, yet its underlying mechanisms remain insufficiently quantified due to the interplay of thermal and microstructural factors. In this study, the fluidity of Bi–Mn binary alloys containing 0–20 at.% Mn was systematically investigated under rapid solidification conditions using low-pressure casting methods. Flow tests revealed that all compositions solidified through equiaxed dendrite formation, indicating that flow blockage was not governed by columnar growth but by other mechanisms. Comparative analyses of pure Bi and the eutectic composition demonstrated that enhanced fluidity near the eutectic arises from larger constitutional undercooling, which extends the temperature and time window for liquid flow. In contrast, alloys containing more than 4 at.% Mn exhibited markedly reduced fluidity due to the formation of BiMn intermetallic compounds, which act as heterogeneous nucleation sites and promote equiaxed dendritic growth that prematurely impedes flow. Flash differential scanning calorimetry (FDSC) confirmed that the magnitude of undercooling correlates with flow length, while the fraction of BiMn phases accounts for heterogeneous nucleation effects. These findings establish that alloy fluidity during rapid cooling is determined by the competitive influence of constitutional undercooling and heterogeneously induced equiaxed nucleation. This mechanistic framework provides new insights into the fluidity control of short freezing-range alloys and offers a basis for extending casting design principles to bismuth-based and other low-melting alloys.

[상변태1-2 | 09:25]

Tailoring Thermal Expansion of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloys via Thermomechanical Training and Ti Alloying: Park Yejun*(KAIST), Won Seok Choi(SK Innovation), Won-Seok Ko(Inha University), Pyuck-Pa Choi(KAIST)

Keywords: Shape memory alloy, coefficient of thermal expansion, thermomechanical training, martensite

Most materials exhibit thermal expansion due to the anharmonicity of interatomic potentials. A large coefficient of thermal expansion (CTE) can cause dimensional instability under temperature fluctuations and generate thermal stresses when materials with different CTEs are integrated. Therefore, low-CTE materials have been developed and applied in fields such as electronic packaging, aerospace, display technologies, and MEMS. Shape memory alloys (SMAs) have recently emerged as promising candidates for low-CTE applications. Certain crystallographic orientations of martensite exhibit negative CTE, and inducing such textures allows the macroscopic CTE to be reduced or even negative. This approach can be applied to a wide range of SMAs, enabling multifunctional low-CTE materials that also meet property requirements such as electrical and thermal conductivity and mechanical performance. In this study, a Cu–Al–Ni alloy was selected for its higher transformation temperature and cost advantages over conventional NiTi SMAs. Thermomechanical training under compression reduced CTE, achieving nearly zero CTE in specific orientations. Furthermore, to relieve anisotropy and improve stability, Ti was added to refine grains and generate precipitates. Grain refinement enabled more uniform deformation, yielding a more isotropic low-CTE, while Ti-induced precipitates promoted the two-way shape memory effect, further enhancing thermal stability. These findings demonstrate that Cu–Al–Ni SMAs can serve as low-CTE materials through training, and that their properties can be further tailored by alloying-based microstructural engineering.

[상변태1-3 | 09:40]

Ti 결정립계 구조에 따른 입계 수소화물 석출 분포 분석: 전초롱(한국과학기술연구원(KIST), 서울대학교), 정원석(로렌스리버모어국립연구소), 김태엽(한국과학기술연구원(KIST)), 윤영철(한국과학기술연구원(KIST), 서울대학교), 강재동(한국과학기술연구원(KIST)), 허태욱*(로렌스리버모어국립연구소), 박은수*(서울대학교), 김진우*(한국과학기술연구원(KIST))

Keywords: 타이타늄, 수소화물, 결정립계, 결정방위 관계, 방위차 각도, EBSD

타이타늄과 그 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성으로 다양한 분야에 활용된다. 그러나 상온에서 낮은 수소 용해도로 인해, 가공이나 사용 환경에서 흡수된 수소가 수소화물로 석출되며 연성과 강도 저하를 유발한다. 이러한 수소화물은 격자 변형과 계면 에너지를 최소화하기 위해 특정 결정방위 관계(orientation relationship)을 따르며, 이로 인해 미세구조 내 침상 형태로 관찰된다. 특히 일부 결정립계(grain boundary)를 따라 형성되는 수소화물은 인접한 결정립 중 하나와의 결정방위 관계성만을 만족한다. 본 연구에서는 순수 Ti를 모델 소재로 선정하여 고온 수소가스 충전을 통해 수소를 주입하여 결정립계 수소화물의 형성 분포와 결정립계 특성의 상관관계를 분석하였다. 전자후방산란회절(EBSD)을 이용하여 수소화물이 석출된 결정립의 배향과 방위차 각도(misorientation angle), 슬립면/방향 각도차(slip plane/direction misorientation angle)등과의 상관관계를 통계적으로 분석하였다. 또한 2D EBSD에서는 규명하기 어려운 결정립계면(grain boundary plane)의 배향과 수소화물 분포의 상관관계를 확인하기 위해 집속이온빔(FIB)을 이용한 3차원 결정립계 면 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 결정립계의 정량적 특성을 통계적으로 분석하여, 각 요인이 수소화물 석출에 미치는 영향을 평가하였다.

[상변태1-4 | 09:55]

초기 구조가 다른 Zr계 비정질 합금의 열처리를 통한 물성 제어: 이명준, 유근희(서울대학교), 류욱하(국립금오공과대학교), Shuang Su(Harbin Institute of Technology), 박은수*(서울대학교)

Keywords: 비정질 합금, 열처리 공정, 나노인덴테이션

비정질 합금은 그 존재가 처음 보고된 이후로 높은 강도, 파괴 인성, 우수한 내식성 등의 뛰어난 특성으로 인하여 많은 주목을 받았다. 비정질 합금은 기존에 사용되던 대부분의 결정질 재료와는 달리 특유의 비정질 상태를 유지하고자 제조 이후 추가적인 공정 없이 사용되는 경우가 많고, 특성 제어는 조성 변화를 통해 이루어지는 경우가 많다. 비정질 합금이 제조된 이후 특성 제어를 위한 공정으로는 열처리를 통해 구조 완화를 거치거나 극심한 변형이나 이온 조사를 통한 구조 회복(rejuvenation)이 있는데, 저마다 한계가 있는 상황이다. 최근, 비정질 합금을 구조 완화 시간보다 길게 열처리를 진행하여 비정질 합금의 구조를 변화시키고, 이를 통해 특성 제어를 하는 방법이 제안되었다. 다양한 연구에서 해당 방법을 통해 비정질 합금의 물성을 제어하였다는 보고가 이루어져 있다. 본 연구에서는 그러한 공정이 같은 조성이지만 다른 초기 구조를 갖는 비정질 합금에서 어떠한 결과를 가져올지 확인하고자 한다. 우리는 국소적으로 조밀한 충진 영역으로 작용하는 icosahedral ordering이 존재하는 비정질 합금의 경우 그 복잡한 구조로 인하여 물성이 냉각 속도에 따라 더 민감하게 변화함을 보였고, 동일한 온도에서 열처리를 진행함으로 열처리 후 비정질 합금의 물성이 동일한 수준으로 맞춰지는지를 확인하고자 하였다. 열처리 후 비정질 합금의 구조 분석을 위해 밀도 측정, DSC 분석과 고에너지 X선 산란 실험을 진행하였고, 비커스 경도 측정과 나노인덴테이션을 통한 기계적 반응 변화를 확인하였다. 이러한 연구 결과가 비정질 합금의 post-processing 방식에 대한 새로운 insight를 제공할 것으로 기대한다.

[상변태1-5 | 10:10]

Al-Si eutectic system에서의 급속 응고 기반 비정질 실리콘 형성 : 문준혁(서울대학교), 류채우(홍익대학교), 박은수*(서울대학교)

Keywords: Amorphous Si, Eutectic system, Crystallization, Quenching

다공성 비정질 실리콘(a-Si)은 높은 이론 용량과 우수한 구조적 안정성으로 인해 리튬이온 배터리의 음극재를 비롯한 다양한 에너지 저장 및 전자소자 응용 분야에서 주목받고 있다. 그러나 기존의 비정질 실리콘 제조 공정은 주로 박막 증착 기반 제조법으로, 공정이 복잡하고 비용이 높아 상용화에 한계가 있다. 이에 따라 저비용, 고효율, 확장 가능한 새로운 제조 전략이 요구되고 있다. 본 연구에서는 Al-Si eutectic 조성 영역에서 급속 응고를 통해 비정질 실리콘을 형성하는 새로운 제조 경로를 제시한다. 급속 응고 시 알루미늄이 우선적으로 응고되며, 실리콘은 국부적으로 농축되고 과냉 상태의 실리콘이 결정화 거동을 거치지 않고 비정질 상으로 전이된다. 구조적 및 열적 분석을 통해 해당 실리콘이 비정질 특성을 지니며 가열 시, 결정화가 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 Al-Si eutectic system이 비정질 실리콘의 상 형성에 유리한 조건을 제공함을 시사하며, 본 연구가 제시한 합금 기반 제조 공정은 높은 확장성과 경제성을 바탕으로 비정질 실리콘을 효과적으로 제작할 수 있는 가능성을 보여준다. 더 나아가, 본 전략은 실리콘뿐만 아니라 다른 조성계로의 확장 가능성이 있어 에너지 저장 및 반도체 응용 분야 전반에서 활용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

[상변태2-1 | 10:30]

오스테나이트계 내열주강 (25Cr20Ni0.4C)에서의 Nb 첨가(0,1,2wt%)가 MC(M=Nb), $M_{23}C_6$(M=Fe,Cr) 정출 및 석출 거동에 미치는 영향: 홍창완*, 윤국태, 이락규, 김주업(대구기계부품연구원), 이만길(진성정밀금속), 최현주(한국자동차연구원), 김기용(계양정밀)

Keywords: Austenitic cast steel, Eutectic carbide, Nb-rich MC, Cr-rich M23C6, high temperature strength

고온 환경에서 사용되며 박육 주조 방식으로 제조되는 터보차저, 배기 매니폴드 등 자동차 배기계 부품 소재는 사용온도인 950도 이상 고온에서 장시간 노출 시, 산화층 형성 및 구상흑연주철 상이 분해되기 때문에 주철합금 대신 높은 Ni 함량의 오스테나이트계 내열주강(25Cr, 20Ni, 0.4C)이 사용된다. 오스테나이트계 내열 주강은 응고 시, eutectic 정출상 (carbide, Intermetallic compound 및 delta-ferrite)들로 인해 성형 불량, 주조 결함 및 조기 균열이 발생되며, 또한 사용중 950도 노출시 석출되는 조대 carbide에 의해 고온 열화가 발생한다. 이러한 오스테나이트계 내열주강 합금 설계는 주로 Nb, V, Co, Cu, Ti, Ta (석출 강화) 및 W, Mo, N (고용 강화) 첨가를 통해 이뤄져 있으며, 그중 Nb 첨가에 따른 고온 강도 연구는 많이 보고 되었지만 Nb 첨가 시 정출 및 석출 carbide 거동 (종류, 분율, 크기, 정합성)을 연관지어 해석한 연구는 부족하다. 본 연구에서 진공용해를 통해 25Cr20Ni0.4C에 Nb를 1~2 wt% 첨가한 ingot을 제작(0Nb, 1Nb, 2Nb 시편) 하였고 as-cast 조건 및 소재 사용온도인 950도 시효 조건에서의 정출 및 석출 carbide 거동을 연관지어 정량 분석하였다. Nb 첨가에 따라 As cast 조건에서, 정출 MC(M=Nb) carbide 분율은 증가하였고, 정출 M23C6(M=Fe,Cr) carbide는 감소하였다. Nb 첨가에 따라 950도 노출 시, 기 정출된 MC 및 M23C6에는 변화가 없었으나 석출 M23C6 carbide 분율이 감소하였으며 950도 인장강도에 차이가 발생하였다. 이는 응고시 Nb 첨가에 따라, 열역학적 구동력이 높은 정출 MC 생성 때문에 감소된 matrix 내 [C]γ 양이, 이후 950도 노출시 감소된 석출 M23C6 분율의 원인이라고 판단된다. 즉, Nb 첨가에 따라 eutectic 정출 MC, M23C6 carbide 분율 및 [C]γ 양과 응고 후 950도 시효 처리에 따라 생성된 석출 M23C6 carbide 거동을 정량분석 하였고 이에 의한 고온강도 변화를 확인하였으며, 최종적으로 오스테나이트계 내열주강에서의 고온 파괴거동에 미치는 주요한 미세조직인자를 이해하고자 하였다. 사 사 : 이 연구는 2023년도 정부(산업통산자원부)의 재원으로 산업기술평가관리원의 철강산업재도약기술개발-고부가가치화기술개발(20015098)의 지원을 받아 수행 된 연구임.

[상변태2-2 | 10:45]

CrMnFeCoNi계 고엔트로피 합금의 형상기억 특성에 미치는 탄소 첨가의 영향: 정회윤, 이제인*(부산대학교)

Keywords: Shape memory alloys, High-entropy alloys, Martensitic transformation, Solid-solution strengthening

FCC 및 HCP 상간의 가역적인 상변태를 갖는 형상기억합금의 형상기억 특성을 향상시키기 위해서는 소성변형 단계에서 응력 유기 마르텐사이트 상변태가 일어날 때, 비가역적인 슬립 변형이 억제되어야 한다. 이를 위해 모상인 FCC 기지의 항복강도가 높여 비가역적인 슬립이 억제되어야 한다. 탄소와 같은 침입형 원소를 고용시켜 고용강화를 통한 FCC 기지의 항복강도를 향상시켜 형상기억 특성을 향상시킨 연구가 최근 보고되었지만, 고용한 이상으로 첨가할 경우 형상기억 특성을 저하시킨다. 또한, 이종원소는 합금의 상변태 온도에 영향을 미치기 때문에 체계적인 분석이 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 상용합금에 비해 고용한이 큰 고엔트로피 형상기억합금에 이종원소를 첨가시켜 고용강화를 통해 비가역적인 슬립을 억제하여 형상기억 특성을 향상시키고자 한다. 구체적으로는 CALPHAD를 통해 이종원소가 고용될 수 있는 고용한을 예측하고, FCC 단상을 보이는 조성을 확인하였다. 또한, 이종원소의 첨가에 따른 상변태 온도를 확인하여 마르텐사이트 변태 개시 온도(M_s)가 상온 근처인 조성을 확인하였다. 이후 후보 조성들에 대하여 인장 변형 후 회복 열처리를 통해 형상기억 특성을 평가하였다. 변형 후 미세조직을 관찰하여 응력 유기 마르텐사이트 상분율을 측정하였고, 국부적인 방위차를 확인해 응력 유기 마르텐사이트 상변태 도중 소성변형이 억제된 정도를 확인하였다. 이를 통해, 이종원소가 고엔트로피 형상기억 신합금에 미치는 영향을 확인하였다.

[상변태2-3 | 11:00]

고강도 석출 강화형 중엔트로피 합금 설계를 위한 전위 밀도 기반 석출 거동 분석: 한상윤, 류채우*(홍익대학교)

Keywords: 전위(dislocation), 실시간 x선 회절(In-situ synchrotron X-ray diffraction), '파이프 확산(pipe diffusion), 제2상

전위(dislocation)는 결정 내 선형 결함으로, 낮은 확산 장벽과 느슨한 원자 배위를 통해 전위를 따라 원자 확산이 촉진되는 '파이프 확산(pipe diffusion)'이 발생한다. 또한 전위는 재료의 자유에너지를 증가시키며, 석출 핵의 형성이 전위를 제거하는 경우 활성화 에너지 장벽을 낮추는 효과를 일으킨다. 이러한 에너지 및 확산 역할을 통해 전위는 석출물의 형성 및 성장을 촉진하며, 제2상 석출 거동에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 전위와 석출 거동 간의 상관관계를 정밀하게 분석하는 것은 합금의 기계적 성능 향상을 위한 핵심 전략으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 CoCrNi 합금계 내 정합 석출 상(γ′)과 비정합 석출 상(σ)이 공존하는 조성을 대상으로, 냉간 압연을 통해 압연율의 차등을 적용함으로써 전위 밀도의 변화를 유도하고, 그에 따른 석출 거동의 변화를 고찰하였다. 이를 위해 냉간 압연된 시편과 완전 재결정된 시편을 대상으로, 101.78 keV (λ= 0.12173Å)의 에너지를 갖는 high-energy synchrotron을 통해 실시간 X선 회절(In-situ synchrotron X-ray diffraction)실험을 수행하였다. 분석된 회절 패턴을 기반으로 석출상의 형성과 전위 밀도 간의 상관관계를 정량적으로 분석하였다. 본 연구는 전위 밀도가 CoCrNi 기반 중엔트로피 합금의 석출 거동에 미치는 영향을 체계적으로 규명함으로써, 고강도 고엔트로피 및 중엔트로피 합금의 설계에 기여할 수 있는 기반 정보를 제공할 것으로 기대된다.

[상변태2-4 | 11:15]

고내마모-고인성 압연롤 개발을 위한 VC기반 공구강 합금설계: 박성민(한국생산기술연구원,고려대학교), 정소진(한국생산기술연구원), 정야호, 김한수(코나솔), 박광석, 서보성(한국생산기술연구원), 김동회(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

Keywords: 분말야금, VC기반 공구강, 나노인덴터, 압연모사

고속도공구강(high speed tool steel)은 일반적으로 고탄소강에 WC, VC, NbC, CrC, TiC등과 같은 탄화물을 통해 기계적 물성을 향상시킨다. 특히, 바나듐계 고속도공구강은 경도가 높은 VC를 석출시켜 우수한 경도와 내마모 특성을 갖는다. 따라서, GIGA steel, 고강도Al등과 같은 고강도 소재를 성형하는 압연롤, 다이, 절단공구와 같은 성형도구로 사용되고 있다. 최근 비강도가 높은 소재에 대한 이슈가 증가하여 고강도 소재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 고강도 소재는 공구 및 금형을 더욱 극한 환경에서의 수명에 영향을 미치며, 마모 및 국부적인 파손으로 제품생산에 악영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 VC 기반 공구강의 상 형성 및 기계적 물성에 기지조직이 미치는 영향에 대해 조사하였다. Crucible Powder metallurgy (CPM)-9V의 인성을 가지며 더욱 우수한 내마모특성을 갖는 합금을 제작하기 위해, 기지조성은 동일하지만, VC형성량을 증가시킨 합금분말을 각각 제작하였다. 분말 제조 후, Hot isostatic pressing을 통해 벌크 시료를 제작하고, quenching-tempering (QT) 열처리를 진행하였다. 제작된 벌크 시료는 Thermo-calc software를 이용해 평형상태에서 기지조성을 비교하였고, 나노인덴터 분석을 통해 기지 물성을 조사하였다. 또한, 상온 및 고온 내마모시험과 압연모사 시험을 통해 기지와 VC형성량의 차이가 합금의 기계적 물성에 미치는 영향을 조사하였다.

[상변태2-5 | 11:30]

Grain Refinement and Precipitqation Engineering in Fe-Mn-Si SMAs: Thermomechanical Treatment Optimization for Superior Recovery Stress: Yun Jane, Ji Young Kim , Eun Soo Park*(Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University)

Keywords: Shape Memory Alloys, Thermomechanical Treatment (TMT), Recovery stress

Iron-based shape memory alloys, especially Fe-Mn-Si based alloys, are gaining attention due for due to their excellent mechanical properties and lower cost. These properties make the alloy suitable for it to be used for seismic damping in civil structures, where recovery stress is essential for effective prestressing in concrete columns. Recovery stress—defined as the internal stress accumulated in SMAs during pre-stressing—is strongly influenced by the interaction of dislocations and defects. Therefore, achieving high recovery stress requires both high yield strength and superior shape memory effect (SME). Two key microstructural features—grain size and carbide precipitation—are crucial to meeting this goal. While precipitation enhances yield strength through precipitation hardening, it also promotes partial dislocation activity and stacking fault formation, serving as nucleation sites for the reverse transformation, thereby improving both recovery stress and strain. To address this, we aimed to optimize the thermomechanical treatment (TMT) process to

simultaneously control grain size and carbide precipitation, ultimately enhancing the recovery stress of Fe-20.2Mn-5.6Si-8.9Cr-5.0Ni-1(V,C) SMAs. As part of this optimization, we first refined the grain structure during the annealing step to achieve a uniform grain size near 10 μm, contributing to yield strength improvement via the Hall–Petch relationship. A detailed in-situ small-angle X-ray scattering (SAXS) analysis was then conducted during the aging step to investigate the kinetics and morphology of carbide precipitation, helping to determine optimal aging conditions. Furthermore, in-situ synchrotron X-ray diffraction experiments at the DESY beamline revealed that stacking fault probability increased during aging, suggesting that dislocation structures near precipitates contribute to stacking fault formation. As a result, we confirmed that the formation of fine, uniformly distributed grains and nano-sized carbides led to improvements in both yield strength and SME. Additionally, enhanced stacking fault formation promoted reversible martensitic transformation, thereby increasing the recovery stress. Through identifying optimal TMT conditions that balance these microstructural parameters, this study proposes a microstructural design strategy to improve both the mechanical and functional performance of Fe-Mn-Si based SMAs.

[상변태2-6 | 11:45]

Growth behavior of alpha Fe in Fe amorphous as a function of immiscible element type observed with small angle scattering technique: Ahn Subin, Min Hyun Gi , Park Eun Soo*(Seoul National University)

Keywords: Soft Magnetic Materials, Immiscible Elements, Nanocrystal, SAXS

Soft magnetic materials are essential for inductors, with growing demand from AI, robotics, and electric vehicle industries. Nanocrystalline alloys offer superior performance compared to amorphous materials, but conventional approaches using Cu and Nb additions reduce magnetic saturation (Bs), a critical property. This study aims to achieve fine nanocrystalline grain structures by diversifying immiscible elements in the Fe matrix while minimizing their total content. Designed alloy compositions were fabricated into amorphous ribbons via rapid solidification process (RSP). Differential scanning calorimetry (DSC) revealed composition-dependent crystallization behaviors. To investigate crystallization kinetics under various thermal conditions, Small Angle X-ray Scattering (SAXS) measurements were performed at PAL 4C beamline. Results demonstrated that specific compositions can successfully achieve fine nanocrystalline grain structures, offering a promising approach for developing high-performance soft magnetic materials with enhanced magnetic saturation.

생체재료
Room 3층 305/6, 10월 31일

[생체1-1 | 09:00]
Biodegradable optical multimodal monitoring platform for large area brain sensing : Junseok Shim, Jaeyoung Bae, Seung-Kyun Kang*(Materials Science & Engineering, Seoul National University)
Keywords: Biodegradable sensors, Brain monitoring, Optical sensors

Traumatic brain injury and related ischemic conditions require continuous and comprehensive monitoring of large and deep brain regions, yet existing systems remain invasive, limited in depth, and dependent on secondary removal surgeries. We introduce a fully biodegradable optical sensing platform designed for large-area, multimodal brain monitoring without surgical retrieval. Based on biodegradable polymer waveguides integrated with optical detection components, the system enables functional mapping of cerebral physiology through combined optical modalities. This approach offers a minimally invasive pathway toward precise ischemia localization and broadens the potential for transient neuro-monitoring technologies in clinical settings.

[생체1-2 | 09:15]
Nanoengineered Surface with Zn/AgNP to Inhibit Catheter-associated Urinary Tract Infection : Dong-Sung Won, Yubeen Park(Asan Medical Center), Myoung-Ryul Ok(Korea Institute of Science and Technology), Hyun Lee(The Catholic University of Korea), Hyun-Do Jung(Hanyang University), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine)
Keywords: Nanoengineering, AgNP, Zn, Dual-layer coating, Catheter-associated urinary tract infection, Antimicrobial

Catheter-associated urinary tract infections (CAUTIs) pose a significant complication. Novel antifouling strategies to prevent bacterial adhesion, biofilm formation, and encrustation for long-term use are needed. In here, we investigated the efficacy of nanoengineered Zn/AgNP dual-layer urinary catheter to prevent biofilm formation and sustain long-term antibacterial effects. The AgNP layer was fabricated with polydopamine and $AgNO_3$ (12 mg/mL), and then the Zn layer was coated by RF sputtering of 3μm thickness of Zn onto the AgNP layer. The nanoengineered Zn/AgNP dual-layer demonstrated initial burst kinetics for bactericidal effect from Zn, followed by a sustained antibacterial effect through the delayed release kinetics of Ag until 60 d. Antibacterial properties of Zn/AgNP dual-layer catheter were significantly reduced in E. coli and S. aureus without cytotoxicity in fibroblasts and bladder epithelial cells. Furthermore, Zn/AgNP dual-layer urinary catheter in the rabbit urethra significantly suppressed biofilm for 4-weeks without detachment of the coating layers. Histological findings demonstrated that inflammatory cell infiltration and myofibroblast changes were significantly reduced in the Zn/AgNP dual-layer catheter. This innovative catheter utilizes a dual-layered approach that synergistically combines the rapid bactericidal effects of AgNPs with the sustained, controlled release of Zn ions. Although additional studies are needed to verify the efficacy and safety of the coating layers, Zn/AgNP dual-layer seems to be promising approach to preventing CAUTI-related complications.

[생체1-3 | 09:30]
Biodegradable MgO@MnO_x Nanozyme: A Self-triggered ROS Scavenger for Anti-inflammation: Kim Taeyeon(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Seung-Kyun Kang*(Seoul National University), Pil-Ryung Cha*(Kookmin University), Seongchan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Gyeongsang National University), Hyojin Lee*, Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), University of Science and Technology (UST))
Keywords: Self-triggered reaction, Metal incorporation, Nanozyme, Anti-inflammation, Biodegradable

Nanozymes with antioxidant activity have emerged as promising candidates for treating diseases related to reactive oxygen species (ROS), providing a novel strategy to mitigate oxidative stress. However, their clinical applicability is often limited by potential biological toxicity and organ accumulation, particularly in the liver. Addressing these challenges requires developing nanomaterials that are both biodegradable and exhibit enhanced efficacy at low doses, along with improved biocompatibility. In this study, we present a novel reaction mechanism in the MgO@MnO_x hybrid system that synergistically combines high catalytic antioxidant activity with controllable biodegradability. The integration of magnesium oxide (MgO) into manganese oxide (MnO_x) enhances the formation of oxygen vacancies, and the repositioning of magnesium ions during degradation further reduces the energy barrier. This self-triggered cascade reaction within the nanozyme significantly improves the catalytic performance of MgO@MnO_x compared to MnO_x alone. The ROS-scavenging activity driven by the MgO@MnO_x system also contributes to anti-inflammatory effects. Our findings highlight the therapeutic potential of MgO@MnO_x, particularly in managing oxidative stress and inflammation, providing a promising platform for future regenerative medicine applications.

[생체1-4 | 09:45]
Enhanced Delivery of RB1 mRNA and Triptolide Using Lipid Nanoparticles for Synergistic Retinoblastoma Treatment: 이효진*, 최소영, 전규민(한국과학기술연구원)
Keywords: Retinoblastoma, Lipid nanoparticle, Gene therapy, Combinatorial therapy

Retinoblastoma(RB) is a rare but aggressive pediatric eye cancer caused by mutations in the RB1 gene, leading to uncontrolled cell proliferation. As most patients are infants or very young children, conventional therapies often result in significant side effects due to the immaturity of their organs. To overcome these challenges, combinatorial therapies, which combine two or more treatment strategies, have been actively investigated. Although chemotherapy is typically used as the first-line therapy, many anticancer agents have not been applied to retinoblastoma due to their limitations. For example, Triptolide, a potent small-molecule drug with strong anti-tumor activity in other cancers, remains unsuitable for retinoblastoma because of its narrow therapeutic window and poor water solubility. Therefore, combinatorial approaches are crucial for enhancing both safety and efficacy. Among promising strategies, delivering RB1 mRNA can restore tumor-suppressor function in retinoblastoma cells, effectively complementing the apoptotic effects of small-molecule drugs. However, both mRNA and Triptolide are highly unstable and require a protective and efficient delivery system. To address this, we developed lipid nanoparticles (LNPs) incorporating ionizable lipids that become positively charged in acidic endosomal environments, promoting endosomal escape and cytosolic delivery. These LNPs co-encapsulate RB1 mRNA and Triptolide, aiming to restore RB1 protein function while simultaneously enhancing cytotoxic effects. This platform offers a promising combinatorial approach by enabling efficient intracellular delivery and improved therapeutic outcomes for retinoblastoma treatment.

[생체2-1 | 10:10]

교류 기반 안정적 역이온영동을 위한 마이크로니들 전기삼투 다이오드: 최이정, 최명균, 한지은, 강승균*(서울대학교)

Keywords: 웨어러블 디바이스, 전기화학, 고분자, 이온동역학

최근 고혈압, 당뇨, 암과 같은 만성질환의 증가로 인해 환자 상태를 지속적으로 모니터링할 수 있는 기술의 필요성이 높아지고 있다. 기존의 혈액·소변 검사는 실시간 정보를 제공하기 어려운 한계가 있어, 최소 침습적이고 자가 관리가 가능한 경피 바이오센싱 기술이 주목받고 있다. 특히 간질액은 다양한 바이오마커를 함유하고 있어, 이를 추출하기 위한 마이크로니들 및 역이온영동 기반 접근이 활발히 연구되고 있다. 그러나 기존 직류 기반 역이온영동은 피부 자극, 낮은 효율, 높은 에너지 소모 등의 문제가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 교류 기반 역이온영동 마이크로니들 플랫폼을 제안한다. 특히, 마이크로니들 내부에 전기삼투 다이오드 구조를 도입하여 전기장 방향에 따른 이온 축적 및 고갈 상태에서의 전기삼투 흐름 차이를 활용함으로써, 간질액의 단방향 추출을 가능하게 하였다. 이 구조는 비대칭 기공 구조를 통해 전기삼투 유동을 정류하는 원리에 기반하며, 이를 통해 기존 방식 대비 안정적이고 효율적인 유체 수송을 구현할 수 있다. 제작된 마이크로니들은 전하를 갖는 고분자막을 이용해 제작되었으며, 전기화학적 특성 분석을 통해 전기삼투 다이오드의 정류 현상을 확인하였다. 또한 다양한 구동 조건에 따른 용액 이동 및 국소 환경 변화를 평가하여 추출 환경을 최적화하였다. 이를 바탕으로 형광 분자를 모델 바이오마커로 사용한 실험을 통해 간질액의 추출 가능성을 검증하였으며, 확산 기반 추출 및 물분해 임계 전압 이하에서의 직류 구동과 비교하여 향상된 간질액 추출 효율을 확인하였다. 본 연구의 교류 기반 전기삼투 다이오드 마이크로니들 플랫폼은 기존 직류 방식의 한계를 극복하여 간질액의 안정적 장기 추출과 만성질환 모니터링 적용 가능성을 제시한다.

[생체2-2 | 10:25]

Biodegradable Metallic Stents with Spatiotemporal Drug Delivery via Magnetic Hyperthermia Suppresses Tissue Hyperplasia and Enhances Urethral Regeneration: 박유빈(Hanyang University, Asan Medical Center), 나유현(The Catholic University of Korea), 이현(Korea Institute of Industrial Technology), 정현도(Hanyang University), 박정훈*(Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine)

Keywords: Magnesium stent, Magnetic hyperthermia, Tissue hyperplasia, Sirolimus

Urethral strictures frequently result in recurrent fibrosis and luminal narrowing due to smooth muscle hyperplasia and impaired urothelial regeneration. To address these limitations, a biodegradable magnesium (Mg) stent was developed with dual-layer coatings: polycaprolactone (PCL) layer to control corrosion, and PCL/thermos-responsive phase-change matrix loaded with sirolimus nanoparticles. In vitro evaluations confirmed that magnetic hyperthermia (MHT) at 42°C selectively induced drug release. Based on these findings, MHT was applied on day 7 in vivo to target the early proliferative phase. In a rat urethra model, MHT-treated stents achieved a 45.6% reduction in submucosal fibrosis thickness and a 21.9% increase in urothelial layer integrity compared to control groups ($p < 0.01$). Urethrogram and micro-computed tomography (CT) examinations demonstrated effective maintenance of luminal diameter over 4 weeks, while the dual-layer coating conferred relatively slow Mg stent degradation. Immunohistochemistry revealed decreased alpha-smooth muscle actin (α-SMA) expression and collagen deposition, with enhanced fibroblast growth factor receptor 1 (FGFR1)-positive regenerative activity. These results demonstrate that magnetically triggered, spatiotemporal delivery of sirolimus effectively suppresses urethral tissue hyperplasia and promotes epithelial recovery. This validates the stent as a clinically relevant "theragenerative" strategy using biodegradable metallic stents.

[생체2-3 | 10:40]

Long-term stable and scalable delivery of biopharmaceuticals via a cryoprotectant-compatible nanoporous platform: 이시안(한국과학기술연구원,고려대학교), 정주은(서울대학교), 구자현(고려대학교), 강지형*(서울대학교), 이효진*(한국과학기술연구원)

Keywords: Freezed-dried formulation, nano banker & blowball, gene editing, ambient-stable biopharmaceuticals, scalable therapeutic platform

Despite the development of biopharmaceuticals, challenges persist in the production and distribution of therapeutic reagents. Unlike conventional chemical drugs, biopharmaceuticals are unstable and require refrigerated storage and advanced stabilization techniques. Freeze-drying is a cornerstone for producing stable dried drug formulations, which are essential for long-term storage and versatile administration. The delivery of drugs can be enhanced by using nanoparticles as carriers. However, many carriers undergo collapse after freeze-drying, thereby reducing delivery efficiency and hindering mass production. This study investigates the synergistic potential of porous inorganic nanoparticles and freeze-drying technology to develop a novel drug delivery system capable of prolonged room-temperature storage and enhanced biopharmaceutical distribution. Specifically, CRISPR ribonucleoprotein (RNP) complexes were loaded onto porous silica nanoparticles to evaluate freeze-drying efficiency, thereby enhancing their therapeutic potential. The combination of freeze-drying and complexation has been demonstrated to preserve the activity and efficacy of RNA and proteins, which are generally susceptible to ambient temperatures, for a duration exceeding six months. Furthermore, the incorporation of a powdered formulation post-lyophilization using microneedles demonstrated new customizable administration routes with scalability. The findings of this study present a promising approach to improving the long-term stability and distribution of advanced biopharmaceuticals, highlighting the potential for scalable and tailored delivery systems in clinical and commercial applications.

[생체2-4 | 10:55]

Tough, solvent-free polymer networks with tissue-like softness: HYUNJUN KIM, JIHEONG KANG*(Seoul National University)

Keywords: tissue-like softness, elastomer, bottle brush polymer

Soft materials exhibiting tissue-like softness have recently garnered considerable interest for wearable and bioimplantable applications. Biological tissues typically exhibit moduli in the range of 1 kPa to 500 kPa, a remarkable combination of softness and mechanical toughness derived from their inherently hierarchical network structures. These network structures, however, present significant challenges for replication using conventional synthetic approaches. Here, we present highly stretchable and tough polymer network with tissue-like softness, constructed from a pure tri-block bottlebrush polymer. The designed polymer self-assembles into a strain-adaptive crosslinking domains composed of BBP blocks. Under applied strain, BBPs exhibit rapid exchange dynamics between these domains. Compared to linear polymers (LPs), BBPs possess higher chain rigidity and interfacial tension, promoting distinct microphase separation and enabling rapid, unhindered exchange without becoming kinetically trapped. This unique combination of crosslinking structure and dynamicity overcomes the intrinsic limitations of short chain lengths, resulting in exceptional stretchability and mechanical toughness. Without solvent, the resulting material exhibits record-high stretchability (>1,300%), high fracture toughness (9,300 J/m^2), and high elasticity with tissue-like softness (~50 kPa), surpassing the performance of previously reported elastomers and gel systems. The advantage of this softness–toughness combination is further demonstrated through in vivo implantation, which reveals excellent biocompatibility and minimal immune response. This material system offers a new platform for tissue-like bioimplantable devices with tissue-like softness, exceptional mechanical resilience, and environmental stability.

P1 : Wiley ▪ Advanced Materials 특별 포스터 세션

Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P1-1]

Chemical interaction trends in rare-earth oxides (RE_2O_3): from binary to high-entropy oxide systems: Jeong-Min Cheon, In-Ho Jung*(Seoul National University)

Keywords: Rare-earth oxides, High-entropy oxides, CALPHAD, Protective oxide coating

Rare-earth oxides (RE_2O_3) exhibit exceptional chemical stability under high temperatures and corrosive atmospheres, making them ideal for protective coatings. They are widely used as thermal and environmental barrier coatings (TBCs and EBCs) on gas turbine blades in the aerospace industry. In the semiconductor industry, RE_2O_3 coatings are increasingly being considered as ceramic protective coating for clean process chamber components due to their potential durability in highly corrosive F_2-based plasma environments. RE_2O_3 compounds exhibit systematic variations in properties due to the progressive filling of the 4f orbital and decreasing RE^{3+} ionic radii. Using CALPHAD methodology, this study examines the chemical interactions between different RE_2O_3 compounds by evaluating all phase diagram and thermodynamic data in literature. This reveals that the interactions remain ideal when the ionic radius difference is small but deviate systematically from the ideality as the difference increases. Using the systematic chemical interaction trends, we evaluated and predicted the Gibbs energy functions for all solid and liquid phases and successfully constructed the phase diagrams for all 136 RE_2O_3-RE'_2O_3 binary systems for the first time. The developed thermodynamic database can be used to predict thermodynamic properties and phase diagrams of high-entropy RE_2O_3 systems.

[P1-2]

Anharmonic Phonon Scattering Triggering Multi-Ion Migration in Oxide-based Superionic Conductors: Jae-Bum Kim, Wootack Chung, Yong-Mook Kang*(Korea Univ.)

Keywords: Li battery, solid electrolyte, phonon, solid physics, multi-ion migration

Enthusiasm toward solid electrolytes has been surging for the last decade due to the energy density and safety potential of ASSBs (all solid-state batteries). However, there lacks any design framework regarding solid electrolytes that allows for this material to reach ionic conductivity similar of the currently used liquid electrolytes. Therefore, we believe that our presentation titled ‘‘Anharmonic Phonon Scattering Triggering Multi-Ion Migration in Oxide-based Superionic Conductors’’ would be of great interest for your consideration for The Korean Institute of Metals and Materials as it provides a mechanistic framework do develop solid electrolytes with competing performance values to that of liquid ones by utilizing quantum-mechanical ideas along with advanced characterization analysis methods. This is done by acknowledging the limitations of a static lattice structure, which assumes that elements within the solid lattice stays still in a thermodynamic equilibrium. This is insufficient in describing solid electrolytes, where mobile elements constantly move around. By applying a more dynamic-based perspective that incorporate non-equilibrium phonon interactions and transient structural responses, we can more accurately describe and improve ionic mobility in superionic conductors. In our work, this has been done by comparing the in garnet-structured oxide solid electrolytes Ta-doped $Li_{6.6}La_3Zr_{1.6}Ta_{0.4}O_{12}$ (LLZTO4), and $Li_{6.24}La_3Zr_2Al_{0.24}O_{11.98}$ (LLZO). Through a synergistic combination of terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS), ^{7}Li magic-angle spinning nuclear magnetic resonance (MAS NMR), and Raman spectroscopy, we show that Ta doping softens the host lattice which enhances anharmonic phonon modes. This softening not only induces a dynamically disordered energy landscape that lowers activation barriers and yields Li ion conductivities approaching those of liquid electrolytes, but also enable collective, multi-ion migration which can serve as the driving force for ultra-fast Li ion migration in solid electrolytes that will go beyond the limits of single-ion hopping models. This presentation will then conclude by establishes a fundamental link between lattice thermodynamics and superionic conduction, providing a conceptual and experimental framework for the design of highly conductive solid-state electrolytes.

[P1-3]

생성형 확산 모델 기반 DNA 오리가미 설계 기술: 트렁콕치엔, 전경화(서울대학교), 이찬석*(한양대학교), 김도년*(서울대학교)

Keywords: 나노바이오소재, DNA 나노구조체, 생성형 확산 모델

생성형 확산 모델은 단백질의 대규모 데이터로부터 구조적 정보를 직접 학습하여 단백질 역설계를 크게 발전시켰다. 이러한 패러다임을 DNA 나노구조체 분야로 확장하면 복잡한 형상과 기능을 갖춘 나노구조체를 설계할 수 있어 설계 자유도를 크게 높일 수 있을 것이다. 그러나 DNA 나노구조체는 구조 정보를 포함한 대규모 표준화 데이터셋이 부족하여 생성형 설계 연구의 진전이 제한적이었다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 DNA 나노구조체용 멀티스케일 해석 플랫폼 SNUPI(Structured NUcleic acids Programming Interface)로부터 평형 상태의 구조 데이터를 확보하고, 이를 기반으로 확산형 생성 설계 프레임워크 Generative SNUPI를 개발하였다. Generative SNUPI는 사용자가 정의한 목표 형상을 입력으로 받아, 목표 형상을 따르는 확산 샘플링과 DNA 가닥 경로 배치를 통해 물리적으로 타당한 DNA 나노구조체 설계를 생성한다. 또한 구조 해석 도구를 통합하여 생성된 구조가 실험적으로 실현 가능한지 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다. 100개 이상의 생성 구조 중 일부를 실험적으로 검증한 결과, 해당

구조체가 의도한 대로 제작되었으며 음의 포아송비(auxetic) 변형 및 모듈식 조립(modular assembly)과 같은 기능적 거동을 나타내는 것을 확인하였다. 본 연구는 DNA 나노구조체 설계를 위한 생성형 모델의 잠재력을 입증하며, DNA 나노기술 기반 설계 영역을 확장하여 정교하고 재구성 가능한 기능성 구조체의 창출을 가능하게 한다.

[P1-4]

선택적 레이저 용융으로 제조된 순수 타이타늄의 열간 등방 가압법 후처리 공정에 따른 효과 연구 : 한승준, 강경록(한국생산기술연구원, 성균관대학교), 이택우, 김건희(한국생산기술연구원), 한혁수(한양대학교), 강현수*, 김원래*, 김형균*(한국생산기술연구원)

Keywords: 적층제조, 선택적 레이저 용융 공정, 타이타늄, 후처리 공정, 열간 등방 가압법

적층 제조 공정 중 하나인 선택적 레이저 용융 공정은 금속 분말을 선택적으로 용융 시켜 적층 과정을 통해 3차원 형상을 구현하는 방식으로 선택적 레이저 용융 공정은 기존의 제조 기술에 비해 공정 시 재료 손실이 적고 공정 시 정밀도를 바탕으로 복잡한 형상 구현에 유리하여 다양한 금속 소재와 함께 여러 산업 분야에서 활발히 응용되고 있다. 다양한 금속 소재 중 순수 타이타늄은 비강도, 생체적합성, 내식성이 우수하여 생물의학 및 환자 맞춤형 의료 분야에 적극 활용되고 있다. 하지만, 선택적 레이저 용융 공정에서 높은 열 구배로 인한 열 잔류응력 및 다양한 메커니즘에 의한 기공과 같은 결함은 순수 타이타늄 제품에 악영향을 미칠 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 열적 후처리 공정을 필수적으로 동반하고 있으나, 회복과 재결정, 결정립 성장 등 순수 타이타늄 적층품이 보유한 높은 기계적 특성을 저해하는 요소로 작용한다. 따라서, 본 연구에서는 선택적 레이저 용융 공정으로 제조한 순수 타이타늄 적층품의 미세구조와 기계적 특성을 제어함과 동시에 결함 회복 및 잔류응력을 해소하기 위하여, 기존 열에너지기반의 분위기 제어 열처리와는 다른 열에너지와 동시에 기계적에너지 기반의 분위기 제어 공정인 열간 등방 가압 후처리 공정을 직접 적용하며, 공정을 통한 열적 회복 및 기계적 변형기구의 제어에 따른 미세구조와 기계적 특성간의 상관관계를 연구하였다. 특히, 온도와 시간을 포함한 열간 등방 가압 후처리 공정 조건이 SLM으로 제작된 순수 타이타늄 적층품 특성에 미치는 영향에 주목했다.

[P1-5]

Quasi-Abundant Electron Charging Station by Multifunctionality of AlOX Shell on ZnS:Cu Microparticles for Highly Repeatable Mechanoluminescence: Hong In Jeong*(한양대학교)

Keywords: Mechanoluminescence, ultrasound-induced mechanoluminescence, self-recoverable mechanoluminescence, mechanoluminescence stability, metal oxide shell, multifunctionality of metal oxide shell

Mechanoluminescent materials have emerged as a promising candidate for power-less healthcare and biomedical technologies owing to their unique mechano-to-photon conversion process. However, significant issue of poor repeatability in ML responses, which is attributed to the absence of a fundamental solution, poses a decisive barrier that could ultimately preclude their practical commercialization. Here, we propose a foundational strategy to resolve the sporadic ML performance, enabled by the multifunctionality of the alumina shell on copper-doped zinc sulfide. It is revealed that Al^{3+}, introduced during the alumina shell coating process, induces an n-type doping state that facilitates electron accumulation, while the overlying AlOX layer forms an energy barrier that confines the injected charges, thereby enabling sustained electron supply within the ZnS:Cu system. This effective electron charging station demonstrates the highest operational stability benchmarked to date in ML systems, maintaining consistent performance under the mechanical cycles and focused ultrasound. Our model, which integrates a metal oxide shell inherently hosting n-doping trap centers, offers a fundamentally grounded strategy to stabilize a broad class of trap-assisted ML materials, thereby accelerating the commercial realization of next-generation power-free luminescent technologies.

[P1-6]

Development of Dual-phase High-entropy Alloy with Enhanced Work-hardening Behavior through Heat Treatment: jongtae kim, Juree Jung(Korea Institute of Industrial Technology, Yonsei Univ.), Jinwoo Seok, Leeseung Kang(Korea Institute of Industrial Technology), Donghyun Bae(Yonsei Univ.), Junhee Han*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: High entropy alloy, Dual phase microstructure, Mechanical properties

High-entropy alloys (HEAs) with a single Face-Centered-Cubic (FCC) structure generally exhibit high ductility but insufficient strength. To overcome this trade-off, dual-phase microstructures have been considered as a promising strategy. In this study, a dual-phase HEA was developed through controlled heat treatment, resulting in the formation of Body-Centered-Cubic (BCC) grains containing finely dispersed B2 precipitates alongside retained FCC phases. This dual-phase configuration provides a distinct microstructural contrast that effectively increases the work-hardening rate, thereby enhancing both strength and ductility simultaneously. The evolution of microstructure and its mechanical response were systematically investigated using X-ray diffraction, scanning electron microscopy, electron backscatter diffraction, transmission electron microscopy, and tensile testing. The findings demonstrate that tailoring phase stability and precipitation behavior via heat treatment is a viable approach for optimizing the mechanical performance of HEAs.

[P1-7]

Physiological Mechanical Stimulation and Real-Time, Non-Invasive Stiffness Measurement in a Microphysiological Lung-on-a-Chip System: Junmin Lee*, Giheon Ha(POSTECH)

Keywords: biomaterial, in-vitro organ on a chip

Physiological mechanical forces, such as cyclic stretching and relaxation during respiration, play a vital role in maintaining lung homeostasis and influencing disease progression. In lung fibrosis, abnormal extracellular matrix (ECM) remodeling increases tissue stiffness, disrupts mechano-transduction, and impairs respiratory function. Such stiffness changes not only indicate disease progression but also directly affect drug response, making accurate and continuous monitoring a key aspect of fibrosis research. However, conventional in vitro models struggle to simultaneously replicate the lung's breathing-induced mechanical environment and monitor stiffness changes in real time. Here, we present a lung-on-a-chip platform that integrates physiologically relevant cyclic mechanical stimulation with real-time, label-free stiffness sensing. The device features a thin, patterned polydimethylsiloxane (PDMS) membrane mimicking the alveolar basement membrane, coated with a cell-laden gelatin methacrylate (GelMA) hydrogel. Cyclic pressure modulation in the underlying air channel reproduces inhalation–exhalation dynamics, while an image-based deformation analysis quantifies mechanical properties without destructive assays. This system enables continuous monitoring of the transition from soft, healthy-like tissue to stiff, fibrotic-like tissue during fibrosis induction, as well as the recovery toward a softer state following antifibrotic drug treatment. Measurements were validated using nanoindentation and cross-verified through finite element simulation, confirming high accuracy. This platform provides a dynamic, non-invasive, and predictive tool for preclinical antifibrotic drug screening.

[P1-8]

Controlling Structural Disorder Toward Reversible Phase Transition in a Layered Manganese Oxide Cathode: Suwon Lee, Seongkoo Kang, Jihyun Kim, Yong-Mook Kang*(Korea Univ.)

Keywords: Secondary battery, Cathode material, Layered manganese oxide, Structural disorder, Reversible phase transition

Layered oxide cathodes are widely used as high-energy-density materials in commercial batteries. Their development has progressed from $LiCoO_2$ to $Li(Ni_xCo_yMn_{1-x-y})O_2$ and further to Li-rich layered cathodes, with increasing structural disorder within the materials. Interestingly, this increasing disorder has been accompanied by improvements in electrochemical performance. Building on this insight, our researches aim to harness structural disorder to further enhance electrochemical properties. Layered lithium manganese oxides suffer from irreversible phase transitions induced by Mn migration and/or dissolution associated with the Jahn–Teller effect (JTE) of Mn^{3+}, leading to inevitable capacity fading during cycling. Here, we demonstrate a layered lithium manganese oxide that can be charged and discharged without any serious structural collapse using metastable Li-birnessite with controlled structural disorder. The control over crystal water in the interlayer provides intriguing short-range order therein, which can help to suppress parasitic Mn migration and dissolution, thereby ensuring a reversible electrochemical cycling. The reversible Mn redox and suppressed phase transitions in Dh Li-birnessite contribute to dramatically improving its electrochemical reversiblity during cycling. Sodium manganese oxides are promising Na-ion battery cathodes but they suffer from irreversible phase transitions during electrochemical reactions. Here, we increase atomic disorder in the Na-birnessite, a layered sodium manganese oxide, and thereby modulate its phase transition behavior toward improved electrochemical reversibility. Our study reveals that Mn vacancies and Mn migrated into the interlayer affect interlayer local environment of Na^+ and water molecules consequently enhancing Na^+ mobility. We observe better capacity retention for disordered "D-Na-birnessite", which undergoes a reversible phase transition from the birnessite-type structure to an O′3-type α-Na_xMnO_2-like structure through another intermediate metastable birnessite-type phase. Our findings highlight the positive effects of controlled structural disorder to regulate phase transition routes for achieving superior electrochemical reversibility, finally paving the way to overcoming the limits of layered oxide cathodes.

[P1-9]

Polycarbonate based thermal switch for on-demand biodegradation of transient electronics: wonhyoung Choi, Jaewon Kim, KWON MIN SEONG, Jahyun Koo*, Kyu Back Lee*(Korea Univ.)

Keywords: Poly(5-tetrahydropyranyloxy-trimethylene carbonate), On-demand degradation, Implantable transient electronics

Biodegradable electronic devices offer high biocompatibility and obviate the need for secondary removal surgeries, making them a key focus of research for therapeutic applications. However, the precise control of their degradation rate remains significant challenge, limiting their practical clinical translation. To address this issue, in this study we synthesized a new monomer and polymer by substituting the 5-hydroxyl functional group of poly(5-hydroxytrimethylene carbonate) (PHTMC) with a hydrophobic protecting group, tetrahydropyranyl ether (THPE). Integrating this polymer into biodegradable devices enables remote, on-demand control over the timing of their degradation. Compared with PHTMC, PHTMC-THPE exhibits improved stability and hydrophobicity, enabling long-term functional retention; moreover, catastrophic degradation can be induced on demand by triggering the decapping of THPE groups. The synthesized monomer was characterized and its structure and molecular weight (203.09 g/mol) were confirmed using 1H-NMR, 13C-NMR, and LC-MS. The polymer obtained via ring-opening polymerization demonstrated a contact angle of 88.7°, a Young's modulus of 600 MPa, and a glass transition temperature (Tg) of 31.9 °C, confirming stable processability at room temperature. Furthermore, by employing citric acid, pentaerythritol, and nonionic surfactants, we developed an optimized catalyst system and validated the polymer degradation mechanism through molecular structure analysis. To achieve on-demand degradation, we introduced a sacrificial coconut wax layer that liquefies upon heating to release its embedded catalyst molecules. This composite coating layer demonstrated a lifetime

exceeding 14 days under simulated physiological conditions, making it suitable for therapeutic devices that require a 1–2 week clinical window. Moreover, under elevated temperature conditions (43°C), catalyst release accelerated polymer degradation, confirming the feasibility of externally triggered biodegradation. Finally, we established a processing strategy for integrating these materials into functional systems and demonstrated their application in the fabrication of a wireless electrical stimulator and a drug delivery device with controllable release timing. These results show that the proposed approach simultaneously prolongs the functional lifetime of biodegradable electronic devices and enables precise control of their degradation onset through an on-demand mechanism, representing a significant advance toward next-generation implantable bioelectronics and personalized drug delivery technologies.

[P1-10]

Surface Specularity-Driven Conductivity Enhancement in Co/Co_xTi_{1-x} Iso-elemental Stacked Films : A Potential Barrier-free Metallization: Gayun Kim, Joonho Moon, Kiyoung Lee*(Hongik Univ.), Shinyeong Park, Jiwon Chang (Yonsei Univ.), Yehbeen Im, Changhwan Choi (Hanyang Univ.), So-Yeon Lee(Geumo Univ.), Hwanhui Yun(Korea Research Institute of Chemical Technology)

Keywords: iso-element, interconnect, surface scattering, phase separation, amorphicity

This study evaluates the electrical performance of potential barrier-free metallization structure of Co/Co_xTi_{1-x} stacks with respect to the resistivity size effect and their viability for next-generation interconnects. To identify an optimal Co_xTi_{1-x} composition, we adopted two criteria for ultrathin barrier: (i) an amorphous structure to suppress possible ionic diffusion paths[1, 2] and (ii) the absence of phase separation upon annealing.[3] Between $Co_{0.6}Ti_{0.4}$ and $Co_{0.79}Ti_{0.21}$, $Co_{0.6}Ti_{0.4}$ satisfied both criteria and was therefore employed as the barrier. Co films (8–50 nm) were deposited in-situ on $Co_{0.6}Ti_{0.4}$ (3 nm)/SiO_2/p-Si and subjected to rapid thermal annealing as-deposited stacks. Fitting the combined Fuchs–Sondheimer/Mayadas–Shatzkes (FS–MS) model[4] to thickness-dependent resistivity revealed reduced surface scattering compared with Co/SiO_2/p-Si, with the extracted specularity parameter p higher by 0.68 for Co/$Co_{0.6}Ti_{0.4}$/SiO_2/p-Si, while the grain-boundary reflection coefficient R remained unchanged. Independent materials and reliability assessments confirmed that 3-nm $Co_{o.6o}Ti_{o.4o}$ functions as an effective diffusion barrier by suppressing ionic diffusion, exhibiting robust adhesion, remaining thermally stable during annealing, and retaining an amorphous structure. Accordingly, guided by amorphicity and the absence of annealing-induced phase separation and validated for ionic-diffusion blocking with robust adhesion, 3-nm $Co_{0.6}Ti_{0.4}$ reduces surface scattering and thus mitigates the resistivity size effect, establishing its feasibility for next-generation M0/M1 metallization. [1] Yan, H., et al. ‘‘Amorphous metallic thin films as copper diffusion barrier for advanced interconnect applications.’’ 2009 11th Electronics Packaging Technology Conference. IEEE, 2009. [2] Cao, Z. H., K. Hu, and X. K. Meng. ‘‘Diffusion barrier properties of amorphous and nanocrystalline Ta films for Cu interconnects.’’ Journal of Applied Physics 106.11 (2009). [3] Hosseini, Maryamsadat, et al. ‘‘Co and CoTix for contact plug and barrier layer in integrated circuits.’’ Microelectronic Engineering 189 (2018): 78-84. [4] Gall, Daniel, et al. ‘‘Materials for interconnects.’’ MRS Bulletin 46.10 (2021): 959-966.

[P1-11]

Dual-Mode Mechanical Stimulation Enables Biomechanical Coupling and Functional Maturation in Arterial Microphysiological Systems: Geonwoo Kim, Lee Junmin*(POSTECH)

Keywords: dual mode stimulation, biomimetic, vascular model

Engineering functional arterial tissues in vitro requires dynamic cues that recapitulate native mechanical environments. A dual-mode stimulation approach, termed blood and tissue side stretch (BTS), is presented, applying cyclic circumferential stretch and pulsatile luminal flow to drive maturation of arterial microphysiological systems (aMPSs). These stimuli replicate key biomechanical forces present in vivo—namely, transmural pressure and wall shear stress—enabling a more physiologically relevant tissue architecture. Human umbilical vein endothelial cells (HUVECs) and human smooth muscle cells (hSMCs) are co-cultured within a bilayered vessel structure composed of an elastomeric hydrogel that mimics native vessel geometry and compliance. BTS stimulation enhances alignment of collagen fibers, promotes expression of contractile markers in hSMCs, and improves barrier function and junctional protein localization in HUVECs. The matured aMPS exhibits vasomotor responsiveness and biomechanical integrity, validating its physiological relevance. Comparative analysis shows that BTS outperforms static and single-mode controls in promoting vascular tissue maturation. This platform provides a scalable and biomimetic solution for vascular tissue engineering and disease modeling. By integrating orthogonal mechanical cues that mimic the in vivo arterial environment, this approach represents a significant step forward in the development of predictive, functional, and high-fidelity vascular models for drug testing and regenerative medicine applications.

[P1-12]

Self-assembly prediction of architecture-controlled bottlebrush copolymers in solution using graph convolutional networks: Wooseop Hwang(KOREA Univ.), Sangwoo Kwon, Won Bo Lee*(SEOUL NATIONAL Univ.), YongJoo Kim*(KOREA Univ.)

Keywords: Bottlebrush Copolymers, Polymer, Machine Learning, Molecular Dynamics

The investigation of bottlebrush copolymer self-assembly in solution involves a comprehensive approach integrating simulation and experimental research, due to their unique physical characteristics. However, the intricate architecture of bottlebrush copolymers and the

diverse solvent conditions introduce a wide range of parameter spaces. In this study, we investigated the solution self-assembly behavior of bottlebrush copolymers by combining dissipative particle dynamics (DPD) simulation results and machine learning (ML) including graph convolutional networks (GCNs). The architecture of bottlebrush copolymers is encoded by graphs including connectivity, side chain length, bead types, and interaction parameters of DPD simulation. Using GCN, we accurately predicted the single chain properties of bottlebrush copolymers with over 95% accuracy. Furthermore, phase behavior was precisely predicted using these single chain properties. Shapley additive explanations (SHAP) values of single chain properties to the various self-assembly morphologies were calculated to investigate the correlation between single chain properties and morphologies. In addition, we analyzed single chain properties and phase behavior as a function of DPD interaction parameters, extracting relevant physical properties for vesicle morphology formation. This work paves the way for tailored design in solution of self-assembled nanostructures of bottlebrush copolymers, offering a GCN framework for precise prediction of self-assembly morphologies under various chain architectures and solvent conditions.

[P1-13] Canceled

Radiation Tolerance of All-Graphene Gas Sensor: Jaeyeon Oh, Seungwook Choi, Ansoon Kim, Jongin Park, Yeonhoo Kim*(Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS))

Keywords: Graphene, Two-dimensional materials, Gas sensor, Radiation tolerance, Electron beam

With the growing demand for electronic devices capable of withstanding a variety of radiation environments, the effect of radiation on these devices is gaining significant attention. Among them, research on two-dimensional (2D) materials-based electronic devices is particularly needed, since 2D materials possess an ultrathin structure with excellent radiation endurance. With this advantage, Graphene is promising gas sensing material that can potentially replace commercialized metal-oxide semiconductors due to its excellent gas sensing properties at room temperature, as well as its mechanical and chemical stability. For these reasons, graphene-based gas sensors have been extensively explored for harsh environments such as nuclear reactors, outer space and high-altitude flights to effectively monitor air quality. However, the specific mechanism and the standard damage controls depending on detailed dosages have not been defined and discussed yet. The high-energy radiation from the space environment inevitably induces damage to the material's structure, morphology, and sensing performance, leading to significant degradation in the usability of these sensors in aerospace applications. Consequently, thorough investigations about the effects of radiation on graphene gas sensors are crucial for advancing their further development and application. Herein, we report a comprehensive evaluation of the gas sensing properties exposed to electron beam irradiation. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and Raman analysis were performed before and after irradiation to examine the effect of the radiation, and no chemical changes or structural defects were observed. Gas sensing performance was assessed after cumulative electron beam irradiation. After irradiation, the changes in gas sensor response to nitrogen dioxide (NO_2) gas were less than 3%, with the response time and recovery time also maintaining excellent performance. Gas sensing characteristics were also tested using a variety of volatile organic compounds (VOCs). The results showed that the sensor exhibited remarkable stability even after exposure to high levels of radiation, demonstrating its robustness and reliability for radioactive environments. Furthermore, when compared to commercial metal oxide-based gas sensors, which exhibited severe resistance changes and degradation in gas sensing performance under same conditions, our graphene-based sensor maintained superior stability, confirming its availability for radiation environments. Ultimately, our study offers significant advancements for various industries including the space industry, contributing to the development of next-generation sensing technologies.

[P1-14]

Machine Learning-Guided Discovery of High-Entropy Alloy Nanoparticles for Highly Conductive and Dendrite-Free Lithium Metal Anodes: Hyechan Park, YongJoo Kim*(Korea Univ.)

Keywords: Machine Learning, High-Entropy Alloy, Lithium Metal Anode, DFT

One of the primary challenges for lithium metal anodes (LMAs) is the growth of lithium dendrites, which is associated with volume expansion during long-term cycling. Furthermore, enhancing battery stability requires increasing the electrical conductivity of the conductive material to reduce internal resistance, thereby lowering ohmic overpotential and mitigating heat generation. This study aims to predict the composition of High-Entropy Alloy (HEA) nanoparticles using Machine Learning (ML) to simultaneously achieve two objectives: suppressing Li dendrite growth and enhancing electrical conductivity. The screening protocol evaluated catalytic activity using the Li atom adsorption energy (Eads) and assessed electrical conductivity via the magnitude of the band gap using density functional theory(DFT).

[P1-15]

Advancing the Design of RHEAs via Atomic Size Misfit: Juree Jung, Jongtae Kim(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH), Yonsei Univ.), Jinwoo Seok(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)), Donghyun Bae(Yonsei Univ.), Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology(KITECH))

Keywords: Alloy Design, High Entropy Alloys, Light Weight Alloys, Atomic size misfit

Refractory High Entropy Alloys (RHEAs) are known for their excellent mechanical properties at elevated temperature. Typical examples include TiNbZrHfTa and TaWNbMo commonly referred to as Senkov alloys. However, their broader application is limited: TaWNbMo exhibits poor elongation at room temperature, and bcc HEAs generally consist of heavy and costly elements. Moreover, research on bcc HEAs remains limited due to the inherent challenges associated with casting. In this study, we designed new light weight Refractory High Entropy Alloys that retain superior mechanical properties at both room and elevated temperatures of recent bcc HEAs using several distortions caused by atomic size misfit. Such lightweight RHEAs have strong potential for commercial use in aerospace and energy applications. The microstructure of the designed alloys was characterized using SEM, EDS, EBSD and XRD, while their mechanical properties were evaluated using compression and tensile tests under various temperatures. Furthermore, the atomic size misfit was quantitatively assessed via Pair Distribution Function (PDF) analysis using Synchrotron XRD. Based on the results, we propose an alloy design strategy using quantitative evaluation of atomic size misfit as a guiding principle for the development of advanced RHEAs.

[P1-16]

From Greenhouse Gases to Single-walled Carbon Nanotubes: Tandem process via CO_2 Methanation and CH_4 Pyrolysis:
Jaewon Jang(Korea Institute of Industrial Technology, Hanyang Univ.), Junghoon Yang, Jungpil Kim*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Tandem process, Greenhouse gases, CO_2 conversion, CO_2 methanation, CH_4 pyrolysis, Single-walled carbon nanotubes

Global warming caused by greenhouse gas emissions underscores the urgent need for effective carbon reduction strategies. Current carbon capture and utilization (CCU) technologies are limited by low economic feasibility and carbon utilization efficiency, with most pathways focusing on fuels or chemical feedstocks that risk re-emitting carbon into the atmosphere. In contrast, single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) represent a high-value carbon material with applications in advanced technologies such as secondary batteries. As a solid carbon form, SWCNTs effectively sequester carbon and avoid re-emission through combustion, making them a suitable target for the conversion of greenhouse gases (GHGs). This study presents an integrated strategy for converting GHGs into CNTs through a thermocatalytic tandem process. In the initial investigation, direct utilization of CO_2/CH_4 mixtures as the feed gas revealed fundamental limitations: in the single-process CH_4 pyrolysis route, incomplete CO_2 conversion and excess H_2 suppressed CNT growth, resulting in few-walled CNTs (FWCNTs). By controlling complete CO_2 conversion and tuning H_2 concentration in the CNT growth environment, a tandem process ($CO_2 \rightarrow CH_4 \rightarrow CNT$) was designed to overcome these limitations. This tandem process is defined as a sequential pathway of CO_2 methanation ($CO_2 \rightarrow CH_4$) followed by CH_4 pyrolysis into CNTs ($CH_4 \rightarrow CNT$). However, the resulting CNTs were still formed as FWCNTs with mixed single- and double-walled CNTs (SWCNTs and DWCNTs). To further address this challenge, the Step 1 CO_2 methanation conditions were systematically tuned, enabling selective synthesis of SWCNTs and DWCNTs while elucidating the underlying growth mechanisms. Systematic variation of Step 1 reaction temperature and H_2/CO_2 ratio revealed distinct reaction–property relationships. At low temperatures ($\alpha \leq 300$ °C), limited CO_2 conversion hindered CH_4 formation, yielding no CNTs. At elevated temperatures, the methanation pathway shifted from the formate to the CO route, increasing CH_4 and CO formation. While this boosted CNT yield up to 79.1 wt.%, it also reduced crystallinity aınd wall selectivity due to excessive carbon feedstock. Higher H_2/CO_2 ratios left residual H_2, disrupting CH_4 pyrolysis equilibrium in Step 2 and further degrading CNT crystallinity and yield. Three growth regimes were thus identified: a no-CNT zone ($T<300$ °C), a DWCNT zone ($T>360$ °C and $H_2/CO_2>6$), and a SWCNT zone ($T \leq 360$ °C and $H_2/CO_2 \leq 6$), demonstrating that Step 1 conditions directly dictate CNT wall number, crystallinity, and yield in Step 2. Furthermore, life cycle assessment confirmed that the tandem CO_2-to-CNT process exhibited a markedly lower global warming potential (GWP) than conventional CNT synthesis methods. This advantage stems from directly using CO_2 as the carbon feedstock, highlighting its superior performance in greenhouse gas mitigation compared to conventional hydrocarbon-based CNT synthesis. Collectively, these findings establish both the necessity of tandem process design to overcome single-process limitations and the potential of methanation tuning to achieve controllable CNT structures with validated environmental sustainability.

[P1-17]

Biodegradable Shape-Morphing Vascular Clip for Stepwise Control of Cerebral Blood Flow in Post-Ischemic Recovery:
Sungeun Kim, Sehwan Park, Seunghun Han(Korea Univ.), Soo-Hhwan Lee, Hyojin Lee(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Unseong Baik, Jintae Kim(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Won-Sang Cho(Seoul National University Hospital (SNUH)), Jahyun Koo*(Korea Univ.)

Keywords: Shape Memory, Biodegradable, Blood Flow Rate Regulation, Cerebral Hyperperfusion Syndrome, Ischemia

Cerebral hyperperfusion syndrome (CHS) is a rare but devastating complication of revascularization procedures for ischemic stroke. CHS is difficult to diagnose and may result in fatal cerebral hemorrhage. Consequently, current management relies on intensive systemic blood pressure control for all patients, a resource-intensive strategy with systemic challenges. This highlights an unmet need for approaches that directly regulate regional cerebral blood flow (CBF) after revascularization, preventing hyperperfusion while allowing gradual recovery as autoregulation improves. Here, we present vascular clips composed of shape-memory polymer (SMP), enabling autonomous cerebrovascular compression in response to body temperature, combined with biodegradable polymer for gradual release.

This design reduces excessive post-revascularization CBF and restores normal flow over time. Using 3D printing, vascular clips can be customized for various vessel sizes, and clip geometry can be tailored to control the degree of flow reduction. Autonomous compression via SMP ensures ease of use and reproducibility for clinical translation. The clip's blood flow regulation was validated through finite element fluid–structure interaction analysis, a customized artificial circulation system, and in vivo rat models.

[P1-18]

High-Conductivity, Deformation-Insensitive Biodegradable Fiber Electrodes for Sustainable Wearable and Implantable Device: Jinho Kim, Jaehong Lee*(대구경북과학기술원)

Keywords: Biodegradable electronics, Fiber electronics, Biodegradable fiber electrode, Healthcare devices, Green electronics

Fibers have been broadly employed in textile manufacturing and remain integral to everyday life [1]. Thanks to their inherent softness and flexibility, garments made from fibers naturally follow the body's complex, curved contours, enhancing comfort and wearability. Over the past few decades, rapid progress in electronics has enabled a wide range of wearable and implantable devices for biosignal monitoring, energy harvesting, and related functions. More recently, fiber-based electronic devices have garnered increasing attention because their fibrous form factor offers high flexibility, lightweight design, effective workspace, and structural adaptability [2]. For these reasons, fiber electronics are considered promising for wearable and implantable applications. Despite these advances, an important issue persists. Conventional electronic products generate substantial e-waste each year, exacerbating environmental pollution [3]. To address this problem, biodegradable electronic platforms that undergo natural degradation under environmental factors, such as light, heat, and microorganisms, have emerged as a promising direction [4, 5]. Although these materials provide a sustainable pathway to mitigate environmental concerns, broader adoption is still limited by intricate fabrication routes, a narrow materials selection, and inherently modest electrical conductivity and stability, which complicate the development of high-performance fiber-based sensors. In this study, we develop a high-performance biodegradable fiber electrode featuring deformation-insensitive behavior, aimed at enabling stable and efficient operation in biodegradable fiber-based electronics. The electrode consists of zinc nanoparticles dispersed in a polypropylene carbonate (PPC) matrix and is fabricated by dip-coating followed by chemical sintering. The resulting conductive fiber exhibits excellent electrical conductivity (~0.7 Ω/cm) and robust mechanical durability. Moreover, its electrical performance remains stable under diverse mechanical stress, including knotting, twisting, weight loading, and tape peeling, thereby verifying its deformation-insensitive characteristics. We also systematically evaluate the biodegradability of the fiber electrode under varied environmental conditions. References 1. Peng, H. Fiber Electronics. Adv. Mater. 32, 1–2 (2020). 2. Kim, J. et al. Progresses and Perspectives of 1D Soft Sensing Devices for Healthcare Applications. Adv. Funct. Mater. 2406651, 1–23 (2024). 3. Recycle and recover. Nat. Electron. 7, 1 (2024). 4. Boutry, C. M. et al. A stretchable and biodegradable strain and pressure sensor for orthopaedic application. Nat. Electron. 1, 314–321 (2018). 5. Ouyang, H. et al. A Bioresorbable Dynamic Pressure Sensor for Cardiovascular Postoperative Care. Adv. Mater. 33, 1–9 (2021).

[P1-19] Canceled

Lightweight alloy design for additive manufacturing: High-modulus steel: Eun Seong Kim, Soung Yeoul Ahn(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Sang Guk Jeong(Hanwha Aerospace), Gangaraju Manogna Karthik(IIT (BHU) Varanasi), Jaemin Wang(Max Planck Institute), Byeong-Joo Lee(Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Soonjik Hong(Kongju National University), Hyoung Seop Kim*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: Lightweight steel, high-modulus steel, metal additive manufacturing, mechanical properties

TiB_2-reinforced steel, also referred to as high modulus steel (HMS), is a metal matrix composite (MMC) composed of a ferrite matrix reinforced with TiB_2 ceramics. This material has attracted significant interest in a number of fields, including wear environments, aerospace, and transportation, due to its advantageous properties of high stiffness and strength. However, the brittle characteristic of TiB_2, which is susceptible to cracking during conventional manufacturing processes, is a common cause of concern. Consequently, TiB_2-reinforced HMS with significantly enhanced ductility has been produced by combining Fe and TiB_2 in appropriate ratios. Moreover, the Metal Additive Manufacturing (MAM) process is attracting significant attention due to its ability to offer high design freedom for a variety of shapes and to facilitate user-customised environments. The utilisation of this MAM process in the manufacture of HMS, which exhibits low stiffness and strength, is expected to yield synergistic effects, in addition to an optimal combination of mechanical properties, thereby facilitating a multitude of potential applications. Consequently, a significant number of researchers have attempted the TiB_2-reinforced HMS MAM process; however, the resulting products either exhibited cracking or were found to be brittle, thus rendering it impossible to achieve the expected tensile properties. However, if manufacturing via the MAM process is feasible, this alloy has the advantage of potential utilisation across diverse industrial sectors, including repairing, cladding, and functionally graded materials. If the cause of cracking is found to be thermal-induced cracking originating from the high stiffness and strength of the TiB_2 phase due to its sharp morphology, then devising a new approach for designing MAM-specific material components could be the solution. In this study, a thermodynamic simulation was performed to design a crack-avoidance manufacturing method for TiB_2-reinforced HMS. In this study, a thermodynamic simulation was performed to design a crack-avoidance manufacturing method for TiB_2-reinforced HMS.

[P1-20]

Self-Amplifying Catalytic Cascades for Efficient ROS Scavenging and Anti-Inflammatory Applications: Taeyeon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Seung-Kyun Kang*(Seoul National University), Pil-Ryung Cha*(Kookmin University), Seongchan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Gyeongsang National University), Hyojin Lee*, Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), University of Science and Technology (UST))

Keywords: ROS Scavenging, Cascade Reaction, Anti-inflammation Therapy, Biodegradable Nanomaterials

Nanozymes that modulate reactive oxygen species (ROS) have emerged as promising therapeutic platforms for oxidative stress-related diseases, including neurodegeneration, cardiovascular disorders, and cancer. However, their clinical translation is often limited by potential biological toxicity and organ accumulation, particularly in the liver. Overcoming these challenges requires the development of biodegradable nanozymes that exhibit high catalytic efficiency at low therapeutic doses. Here, we report a biodegradable MgO@MnO_x hybrid nanozyme that integrates the high biocompatibility of magnesium oxide with the catalytic properties of MnO_x nanosheets for efficient ROS scavenging. The MgO@MnO_x nanozyme is fabricated through a controlled synthesis of MnO_x nanosheets on a MgO core, resulting in a high density of oxygen vacancies. This design enhances structural stability and catalytic efficiency while minimizing cytotoxicity. Density functional theory (DFT) simulations reveal that the release of Mg^{2+} ions during degradation reduces the reaction energy barrier, initiating a self-amplifying cascade that significantly enhances ROS-scavenging activity. In vivo studies confirm the excellent biocompatibility and anti-inflammatory effects of the nanozyme in a systemic inflammation model. This study advances in nanozyme engineering by addressing key limitations of Mn-based systems through the strategic integration of materials. The MgO@MnO_x hybrid nanozyme represents a versatile platform for treating oxidative stress-related diseases and holds promise for applications in wound healing, inflammation control, and regenerative medicine

[P1-21]

Ultra-density chemical functionalized M13 bacteriophage reprograms the tumor microenvironment through covalent anchoring for antitumor immunotherapy: munhwan lee(Hanyang University), hyunsun park, junsang doh*(Seoul National University), juhun lee*(Hanyang University)

Keywords: M13 bacteriophage, Tumor microenvironment, TME, TME reprogramming, Immunotherapy

The tumor microenvironment (TME), marked by hypoxia, acidosis, physical barriers, and immunosuppression, depletes cytotoxic T cells, restricts immune-cell infiltration, and suppresses antigen-presenting cell (APC) activation. Although anticancer immunotherapy harnesses the host immune system, its efficacy in solid tumors is critically constrained by the TME. Reprogramming the TME from an immune-suppressed to an immune-activated state has therefore emerged as a key strategy to improve therapeutic efficacy. Owing to its unique features-including capacity of high-density surface conjugation, versatility of chemical and genetic modification and single-strand(ss) phage DNA that trigger TLR9 signaling-M13 bacteriophage has emerged as a promising bionanomaterial for TME reprogramming. In this work, high density artificial functional group displayed M13 bacteriophage was synthesized and applied to CT26 tumor mouse model as TME reprogramming agents. Modified M13 phage effectively anchors to the TME via high-density target specific chemistry, enabling long-term retention and sustained stimulation of the tumor microenvironment. The sustained stimulation plays important role in overall anticancer immune system through innate to adaptive immunity. Retention of M13 bacteriophage in the TME recruits innate immune cells that mediate clearance of foreign proteins. During the process, phage ssDNA is internalized and activates APCs through the TLR9 signaling pathway, promoting inflammation and initiating tumor-specific adaptive immunity. The maturation of APCs and adaptive immune cells further amplifies immune-cell recruitment, establishing an innate-adaptive feedback loop that reinforces antitumor responses. Notably Modified M13 phage demonstrated potent antitumor activity, suppressing tumor growth as a monotherapy, and in combination with anti-PD-L1, completely eradicating tumors in a subset of mice. These findings demonstrate that Ultra-density chemical functionalized M13 bacteriophage effectively activates the TME and holds promise as a versatile platform for TME remodeling, owing to its chemical and genetic programmability.

[P1-22] Canceled

Digital SERS platform with fixed nanoparticle pattern generation sites based on trench geometry and hydrodynamic behavior: Young Woo Han, Gwangsik Mun, Junil Ryu, Hyoungsoo Kim*, Yeon Sik Jung*(한국과학기술원)

Keywords: SERS, Hydrodynamic control, Metal nanoparticle

Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) offers exceptional sensitivity for molecular detection; however, its broader application is constrained by the complexity of substrate fabrication and poor quantification performance. In addition, capturing agents are often required to localize analytes near hot spots, which adds another layer of complexity. To overcome these challenges, the development of facile substrate fabrication strategies and advanced hot spot engineering approaches is essential. In this study, we present a digital SERS platform utilizing aggregated nanoparticle (NP) patterns formed on a trench substrate through hydrodynamic behavior. By adjusting the composition of nanoparticle and analyte solutions as well as the surface energy of the trench substrate, NPs aggregate at the vertex, forming dense and uniform hot spots. This facilitates the spontaneous localization of analytes near the hot spots, enabling universal detection without the need for additional modifications. Furthermore, NP patterns are generated at fixed

sites by controlling the trench geometry, allowing for automatic SERS measurements. Quantification of molecules down to concentrations of 10^{-12} M is achieved by counting the NP patterns with discernible SERS peaks. This work highlights the potential of SERS for the accurate quantification of trace analytes and the rapid fabrication of highly sensitive substrates, thereby broadening its applicability across various fields.

[P1-23]

Investigating the effects of amorphous film condition on the phase stability: case study of Sn-O system: MinSung Kang, Sung Beom Cho*(Ajou Univ.)

Keywords: Crystallization, amorphous condition, Molecular dynamics simulation

Formation of the target phase remains a critical challenge in materials science, yet its underlying mechanisms are not fully understood. Specifically, during thin-film fabrication via atomic layer deposition (ALD), the stability of the desired target phase can vary substantially, depending on the condition of the initially deposited amorphous film influenced by factors such as deposition temperature and precursor selection. In this study, we investigate the effects of the density and composition of the initial amorphous film on target phase stability within the classical nucleation theory (CNT) framework, using the SnO system as a representative model. To this end, we develop a machine learning-based interatomic potential (MLP) specifically for the SnO system and combine molecular dynamics (MD) simulations with metadynamics to efficiently capture the rare phenomenon of nucleation, enabling accurate calculation of thermodynamic and kinetic factors. Our results provide a robust theoretical basis for optimizing thin-film fabrication processes by clearly demonstrating the influence of amorphous film density and composition on target phase stability.

[P1-24] Canceled

Ambient-Pressure Synthesis of Metastable Phases via Liquid Metal Mediated Growth: Seo Hyun Kim(KAIST, Sungshin Women's University), Yeon Sik Jung*(KAIST), Hyeuk Jin Han*(Sungshin Women's University)

Keywords: Metastable Phases, Liquid Gallium–Mediated Growth, Chemical Vapor Deposition (CVD)

Metastable compounds often require non-equilibrium routes such as high-pressure synthesis, limiting their scalability and integration into functional devices. Here we introduce a liquid gallium–assisted chemical vapor deposition (CVD) strategy that enables the direct formation of metastable Mo_4P_3 nanowires at ambient pressure. Beyond providing access to an otherwise inaccessible phase, the method allows kinetic control over nanowire morphology, offering a versatile handle to tailor structure–property relationships. While demonstrated for Mo_4P_3, this approach establishes a general platform for stabilizing metastable phases and expanding the accessible materials space under technologically relevant conditions.

[P1-25]

Impact of bottom electrode Ar plasma treatment on the electrical and structural properties of HZO thin film: 이정광, 박민혁*(Seoul Nat.l Univ.)

Keywords: 강유전체, 하프니아, FeRAM, 플라즈마, 계면 처리

Ferroelectric thin films based on hafnia have recently garnered significant attention as promising materials for next-generation semiconductor devices. Their compatibility with CMOS fabrication and suitability for device scaling make them highly attractive for energy-efficient memory and logic applications.[1] Nevertheless, key obstacles remain before full commercialization can be achieved. In particular, Hf0.5Zr0.5O2 (HZO)-based FeRAM devices exhibit substantial polarization values but still lag behind traditional memory technologies in cycling endurance, switching kinetics, and large-scale reliability. Titanium nitride (TiN) has been widely employed as an electrode material due to its potential to enhance device robustness. Yet, an enduring challenge lies in the inevitable emergence of interfacial by-products such as TiOxNy at the TiN–HZO boundary.[2] These parasitic phases act as leakage channels, undermining switching efficiency and long-term retention. In this study, we employed Ar plasma pretreatment of TiN electrodes to suppress interfacial oxidation and tailor surface morphology, thereby improving ferroelectric switching characteristics in HZO films. Atomic force microscopy confirmed a notable reduction in roughness, decreasing from 0.564 nm for untreated TiN to 0.423, 0.472, and 0.403 nm for plasma-modified surfaces, yielding smoother and more stable interfaces for ferroelectric operation. Grazing-incidence wide-angle X-ray scattering revealed that extended plasma exposure promotes the preferential (002) orientation, which facilitated enhanced polarization switching, faster wake-up dynamics, and more uniform domain formation. Devices incorporating the treated electrode exhibited a maximum 2Pr of 37.23 $\mu C/cm^2$, approximately 16% higher than the untreated counterpart (32.07 $\mu C/cm^2$), while maintaining comparable endurance stability. Furthermore, interfacial analysis via XPS combined with electrical evaluation demonstrated suppressed TiOxNy layer formation and a thinner dead layer, correlating with improved capacitive response. Collectively, these findings establish plasma surface engineering of TiN as an effective pathway to stabilize interfacial chemistry, optimize microstructure, and advance the performance of HZO-based ferroelectric devices. References 1. T.S. Böscke et al., Appl. Phys. Lett. 99, 102903 (2011) 2. H Alex Hsain et al., Nanotechnology 34, 125703 (2023)

[P1-26]

Enhancing Oxygen Reduction Kinetics of Fe-N-C Catalysts by Asymmetric Electron Coordination and Stereo-geometry: Lulu Lyu, Yong-Mook Kang*(Korea University)

Keywords: Fe–N–C single-atom catalysts, oxygen reduction reaction, electronic and structural engineering, Zn–air batteries

Fe–N–C single-atom catalysts (SACs) are regared as promising cathodes for metal–air batteries. Yet, their sluggish oxygen reduction reaction kinetics and poor structural stability degrade the energy efficiency and cycle life span of metal-air batteries. We present two complementary, mechanism-driven strategies that reshape the electronic and stereogeometric environments of Fe centers. First, creating pyridinic-N vacancies in N-doped carbon hosts breaks the symmetry of Fe–N_4 sites (FeNC-V_N), strengthens Fe–N covalency, and weakens *OH binding, thereby accelerating ORR kinetics. In situ spectroscopy coupled with DFT tracks the evolution of *O_2^- and *OOH and verifies a dominant 4e^- associative pathway during the charging/discharging process of Zn-air batteries. Second, we engineer curvature in the carbon scaffold and anchor Fe SACs on highly curved N-doped carbon (Fe SA/NhcC). This structural curvature modifies the geometric and electronic properties of the Fe–N sites, resulting in superior catalytic activities for both ORR and urea oxidation reaction (UOR). A rechargeable Zn–urea–air battery using Fe SA/NhcC delivers high energy efficiency and durable cycling stability. Our findings not only advance the fundamental understanding for the catalytic origin of SACs by in situ spectroscopy and DFT calculations, but also provide pathways for developing next-generation ZABs with enhanced efficiency and longevity.

[P1-27]

Revealing Outstanding Specific Capacity Above 2000 mAh g^{-1} in MWCNT Electrodes Enabled by Electrochemical Activation: JeongA Kim, Jungpil Kim, Junghoon Yang*(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: Multi-walled carbon nanotubes, Capacity evolution, Electrochemical activation, Outstanding capacity, Lithium-ion storage mechanism, Lithium-ion battery

Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) are composed of concentric graphene layers with a hollow structure and high specific surface area. Unlike conventional carbon materials that store lithium mainly through insertion and surface adsorption, MWCNTs can accommodate lithium through adsorption on both inner and outer tube surfaces as well as intercalation between graphene layers and into the inner cavity. Owing to this unique architecture, MWCNTs exhibit excellent electrical conductivity, which enables efficient electron transport pathways and makes them promising conductive additives in rechargeable batteries. In addition, MWCNT-based composite active materials provide enhanced structural stability through the intrinsic mechanical support of MWCNTs and improved electrochemical properties by buffering volume changes and forming conductive networks. Incorporation of MWCNTs into anodes has also been shown to reduce charge transfer resistance and facilitate lithium-ion diffusion, underscoring their potential as next-generation high performance materials. In our previous study, we compared the electrochemical performance of few-walled carbon nanotubes (FWCNTs) and MWCNTs when employed as standalone active materials [1]. Both FWCNTs and MWCNTs exhibited a remarkable capacity increase of about 200% after 100 cycles compared to the first cycle. This phenomenon was more pronounced in FWCNTs, where the relatively thinner wall structure was more susceptible to repeated lithium-ion insertion/extraction, which likely led to the activation of additional lithium storage sites. These findings highlight the unique cycling induced electrochemical activation of CNT structures and provide the basis for our ongoing investigation into the correlation between structural changes caused by repeated lithium-ion insertion/extraction and electrochemically driven capacity activation of CNT electrodes. To conduct this study, we investigated the differences in charge/discharge profiles and capacity evolution under low, medium, and high charging cut-off voltage. The samples were designated as MWCNT-L, MWCNT-M, and MWCNT-H according to their charging cut-off voltages. The charge/discharge capacity of MWCNT-H gradually increased with cycling, reaching nearly 200% of the initial capacity after 100 cycles. This was accompanied by a distinct change in the voltage profiles, particularly in the charge curve, where a significant increase in capacity was observed above 1.0 V. In contrast, MWCNT-L showed almost no capacity increase or profile change under the same conditions. MWCNT-M exhibited moderate capacity growth (about 120%) and slight profile changes, but far less pronounced than MWCNT-H. Importantly, a higher charging cut-off voltage allows a larger amount of lithium ions to be repeatedly inserted and extracted, which induces greater structural modifications and thereby activates additional lithium-ion storage sites. The most striking observation was obtained for MWCNT-H when galvanostatic charge/discharge tests was repeated after rate capability tests. Remarkably, MWCNT-H did not just recover its electrochemical performance but exhibited an explosive capacity expansion, exceeding 700% of its initial reversible capacity and reaching an unprecedented value above 2, 000 mAh g^{-1}, far beyond what is typically expected for carbon-based electrodes. This unprecedented phenomenon underscores the promise of CNTs as emerging carbon-based materials capable of delivering ultra-high capacities. Through this study, we will reveal the origin of this electrochemically induced capacity activation using various characterization and will develop next-generation CNT electrodes designed to maximize this remarkable performance. [1] Energy & Fuels 2024, 38, 22974−22985

[P1-28]

LLM-Based Recipe Generator for Accelerating Solid-State Materials Synthesis: Dong Won Jeon, Sung Beom Cho*(Ajou Univ.)

Keywords: Large Language Models, Solid-phase synthesis, solid-state electrolytes, Density Functional Theory, High-Throughput Screening

The discovery of new inorganic materials often suffers from labor-intensive synthesis trials and scattered literature knowledge. To accelerate this process, we developed a retrieval-augmented generation (RAG) framework that extracts and structures synthesis information from 4, 407 solid-phase synthesis papers. The model predicts stepwise synthesis recipes by combining literature-derived embeddings with large language models. Benchmarking confirmed reliable reproduction of precursors, process types, and qualitative workflows, while iterative expert feedback refined quantitative parameters. We further applied the framework to explore underexplored oxy-selenide solid electrolytes, generating 660 hypothetical Li-M-O-Se structures and identifying three promising candidates. Experimental validation demonstrated that the recipe generator can reproduce reported routes and converge on synthesizable conditions for new candidates through feedback loops. This study establishes a data-driven approach for guiding solid-state synthesis, highlighting the potential of Large Language Models (LLMs) to shorten materials development cycles.

[P1-29]

Effect of Process Condition and Position of Dopant Layer on Ferroelectricity of Al-doped HfO_2: Dong In Han, Jaewook Lee, Hyojun Choi, Ju Yong Park, Min Hyuk Park*(Seoul National University)

Keywords: 산화하프늄, 강유전성

Ferroelectric Al-doped HfO_2 (HAO) is a promising material for next-generation electronic devices, but its use is limited by the high-temperature annealing (typically near 1, 000°C) required for crystallization [1,2]. This high thermal budget hinders device scaling and low-voltage operation. This study addresses these challenges by optimizing process conditions and film configurations for 7 nm-thick HAO films, enabling low-voltage operation at a lower annealing temperature. The films were fabricated using atomic layer deposition (ALD) at 300°C, followed by a rapid thermal process (RTP) at 700°C for 30 seconds. It was found that an Hf:Al ALD cycle ratio of 30:1 yielded a relatively high polarization value, and an ozone dose time of 6 seconds resulted in the lowest leakage current density. The optimized films exhibited a high remanent polarization ($2P_r$) value exceeding 20 $\mu C/cm^2$ at a low operating voltage of 2.2 V and an excellent endurance of $2*10^8$ cycles. This marks a significant achievement, as the annealing temperature was reduced by over 200°C for films thinner than 10 nm while still achieving low-voltage operation. Furthermore, a detailed investigation was conducted into the effect of the Al doping layer's position on the film's properties. Three different stack configurations—Bottom, Middle, and Top. Grazing-incidence Wide-angle X-ray Scattering (GIWAXS) and Grazing-incidence X-ray Diffaction (GIXRD) analyses showed that the crystallographic features and phase orientation were significantly different for each stack. Specifically, the middle stack showed a higher degree of out-of-plane orientation of the (200) planes of the orthorhombic phase, which is presumed to degrade ferroelectricity. Consistent with this, the bottom and top stacks exhibited strong ferroelectricity with distinct P-E and J-E switching peaks, whereas the middle stack showed weaker switching peaks. Therefore, the findings conclude that the bottom and top stacks, which is an asymmetric configuration, is highly effective at enhancing the ferroelectric properties of 7 nm-thick HAO films. References [1] Mueller, S. et al. Adv. Funct. Mater. 22, 2412–2417 (2012). [2] Choi, Y. et al. Nanotechnology 34, 185203 (2023).

[P1-30] Canceled

Promising cryogenic strength-ductility and hydrogen resistance of a computational guided gradient face-centered cubic alloy by additive manufacturing: Renhao Wu, Hyojin Park, Eun Seong Kim(POSTECH), Xiaoqing Li(KTH - Royal Institute of Technology), Peihao Geng(Shanghai Jiao Tong University), Hyoung Seop Kim*(POSTECH)

Keywords: in situ alloying, Gradient stacking fault energy, Cryogenic mechanical performance, Hydrogen embrittlement resistance, Nano twinning

The development of hydrogen propulsion systems for planetary landing and exploration is highly attractive and cutting-edge. However, structural metallic materials in such systems are often exposed to extreme environments, including cryogenic temperatures and hydrogen-rich environment, which challenge their performance and durability. To address this, a gradient $(CoCrMn)_{100-x-y}Fe_xNi_y$ alloy with a single face-centered cubic structure was fabricated via laser additive manufacturing through phase diagram calculations and precise control of the composition ratios between Fe-50Ni and CoCrFeMnNi high-entropy alloys. The resulting material exhibits continuous chemical composition and stacking fault energy (SFE) gradients along the build direction, engineered to achieve a synergistic enhancement of cryogenic mechanical properties and resistance to hydrogen embrittlement. Quasi-static tensile tests reveal that nanoscale twins are sequentially activated in response to the compositional gradient, resulting in a graded distribution of twin density. This effect becomes more pronounced with decreasing temperature, culminating in a phase transformation at 20 K. Molecular dynamics simulations and density functional theory calculations reveal that the intrinsically low SFE in the CoCrFeMnNi-rich region promotes the formation of stacking faults and twins, which act as effective barriers to dislocation motion, thereby contributing to hydrogen embrittlement resistance. This study establishes a novel paradigm for the design of integrated structural-functional materials for cryogenic and/or hydrogen-involved environments through a multidisciplinary strategy combining multiscale modeling and laser additive manufacturing.

[P1-31] Canceled

A Parametric Study of Torch Angle on Weld Bead Formation in Immiscible Copper-Cast Iron Welding: Jae-Deuk Kim*, Young-Ho Lee, Seok Yoon, Jin-Seop Kim(Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI))

Keywords: Disposal canister for spent nuclear fuels, Arc welding, Torch angle, Immiscible binary system, thermophysical property mismatch, arc instability

The reference design for spent nuclear fuel canisters comprises a load-bearing nodular cast iron insert encapsulated by a high-purity copper corrosion barrier. While conventional manufacturing of this copper overpack is resource-intensive, Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) offers a promising alternative. However, fabricating the high-purity copper overpack for nuclear waste canisters via Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) is challenged by the metallurgical incompatibility between copper and the nodular cast iron insert. This immiscible binary system leads to process instabilities and interfacial dilution. As variations in torch angle are known to influence molten pool behavior and droplet transfer, its role in this unique system is critical yet unstudied. We hypothesize that changing the torch angle, known for its effect on weld pool dynamics and droplet transfer, thereby affecting arc stability and bead geometry, can mitigate these issues. Using a CMT process, high-purity copper (>99.99%) was deposited with varying torch angles. The resulting bead morphology and interfacial integrity were rigorously evaluated through a suite of characterization techniques, including 3D laser point cloud analysis, cross-sectional microscopy, and in-situ observation of the molten pool.

[P1-32]

Accelerated Multi-Objective Optimization of High-Entropy Alloy Electrocatalysts for Hydrogen and Oxygen Evolution: Kwangsoo Kim(Korea University), Byung-Hyun Kim*(Hanyang University ERICA), YongJoo Kim*(Korea University)

Keywords: High-entropy alloy catalysts, Density functional theory, Active learning, Water electrolysis

The transition to a carbon-neutral society relies heavily on the production of green hydrogen, which in turn requires highly active and durable electrocatalysts for water electrolysis. Even though, Precious-metal-based catalysts exhibit remarkable activity, their limited availability and high cost restrict large-scale application. As a result, alternative electrode materials that minimize the use of noble metals while maintaining high performance are urgently needed. High-entropy alloys (HEAs) have emerged as promising candidates thanks to their multi-element synergy, which can boost both catalytic activity and stability. However, the enormous compositional space of HEAs poses a major challenge in identifying optimal composition. In this work, density functional theory (DFT) was integrated with an active learning to achieve a balance between accuracy and efficiency, enabling the discovery of optimal catalysts for the hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER) at significantly reduced computational cost. Active learning guided the selection of essential calculations, thereby minimizing redundancy, lowering resource consumption, and accelerating exploration across all compositions. Furthermore, to identify multi-objective catalyst compositions with both high performance and cost-effectiveness, a Pareto-front approach was applied to the Ni–Cu–Pt–Ag–Pd multi-element system. This strategy facilitates the rapid screening of efficient and economical catalyst candidates and offers a transferable methodology for the accelerated design of other advanced functional materials.

[P1-33]

Strain-driven Adsorption Site Modification on Pd-Based Nano Cube for Fuel Cell Application: Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Seokho Lee, Seohee Jang, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

Keywords: DFT, catalyst, fuel cell, nanocube, surface reconstruction

This study concentrated on optimizing the catalytic performance of nanocubes (NCs) with exposed (100) facets. The main objective was to lower the adsorption energies of the intermediates, thereby improving the efficiency of fuel cell catalysts and approaching the ideal position on the volcano plot. Strain was introduced by incorporating core elements such as Ru, Rh, Ir, Au, Ag, Ni, Pt, Cu, and their intermetallic alloys. Adsorption energies of key intermediates (O, OH, and OOH) were determined by examining multiple adsorption configurations. Both strain and charge distribution analyses were carried out, offering more profound insights into atomic-scale interactions. Strain investigations demonstrated how different core compositions influence the lattice constants and, in turn, the adsorption behavior of intermediates. Charge density analysis unveiled the redistribution of electrons during adsorption, shedding light on the interplay between strain, electronic characteristics, and catalytic reactivity. The findings highlighted the potential to advance fuel cell systems by comprehensively understanding the coupling of surface reconstruction and strain on the (100) plane. Such knowledge provides effective approaches for tuning adsorption energetics, presenting promising routes toward enhancing catalyst activity in fuel cells.

[P1-34]

Catalytic Enhancement Through Element Substitution in Core-Shell Pt Nanoparticles: Seohee Jang, Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Seokho Lee, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

Keywords: DFT, Nanoparticle, Fuel Cell, Pt, Core-shell

Platinum (Pt) is a highly active catalyst for the oxygen reduction reaction (ORR) in fuel cells, but its high cost and scarcity limit large-

scale applications. This study aims to enhance catalytic activity while reducing Pt usage by designing core–shell Pt nanoparticles in which the core is substituted with smaller elements such as Ir and Rh. Using density functional theory (DFT), we evaluated the adsorption energies of key ORR intermediates (O*, OH*, OOH*) on Pt, Ir@Pt, and Rh@Pt nanoparticles at various surface sites including vertex, edge, and face. We found that introducing smaller core atoms induces compressive strain in the Pt shell, shortening the Pt–Pt bond length and modulating adsorption behavior. Among the structures, Rh@Pt exhibited the weakest OH* and OOH* adsorption energies, facilitating intermediate desorption and enhancing reaction kinetics. Gibbs free energy analysis revealed that Rh@Pt offers the flattest energy profile across all four ORR steps, suggesting a thermodynamically favorable pathway. The theoretical onset potential was calculated to be 0.49 V for Rh@Pt, significantly higher than 0.38 V for Ir@Pt and 0.14 V for pure Pt. Furthermore, volcano plot analysis based on OH* adsorption energy showed that the face site of Rh@Pt lies at the peak of catalytic activity. These results indicate that core substitution with smaller atoms is an effective strategy to tune electronic and geometric properties, enabling the development of cost-efficient and high-performance ORR catalysts. In particular, Rh@Pt emerges as a promising candidate for next-generation fuel cell applications.

[P1-35]

Exploring the Possibilities of Pt Nanostructure Size for Enhanced Oxygen Reduction Reaction Efficiency: seokho lee, Seohee Jang, Yeonwoo Do, Janghyeon Oh, Kihyun Shin*(Hanbat National University)

Keywords: Nanoparticles, Fuel Cell, Pt, ORR, DFT

The efficient development of catalysts for fuel cell cathodes plays a crucial role in advancing fuel cell technology. In this study, we utilized platinum (Pt), renowned for its high catalytic activity, and synthesized octahedral (Oh), cubo-octahedral (COh), and icosahedral (Ih) structures. We investigated how variations in their sizes affect the catalytic activity for the oxygen reduction reaction (ORR). We introduced O, OH, and OOH intermediates at three primary sites (vertex, edge, face) to understand the relation between activity and specific site. Based on these analyses, we conducted comparative studies of various Pt nanoparticles (NPs) in terms of size and structure to identify optimal catalysts that effectively enhance the ORR reaction rate. This research underscores the potential of size control in improving ORR catalytic activity and provides crucial foundational data for the design of high-performance fuel cell cathodes.

[P1-36]

실리콘 섬유 기반 음극재 개발을 위한 용융염 전해 정련 연구: 이효연, 최우석(충남대학교), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고 신소재연구소)

Keywords: 음극재, 실리콘 섬유, 전해정련

실리콘 음극재(3580mAh/g)는 기존 흑연계 음극재(373 mAh/g) 대비 약 10배 높은 용량을 가지며, 이로 인해 2배 이상 향상된 주행거리와 충전 속도를 구현할 수 있는 차세대 고성능 배터리 핵심 소재로 주목받고 있다. 그러나 실리콘은 충·방전 과정에서 약 300%에 달하는 부피 팽창이 발생하여 구조적 불안정성과 성능 저하를 유발하는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 전략 중 하나로, 실리콘 섬유 구조는 입자 간 연결성을 유지하여 부피 팽창을 효과적으로 완화할 수 있어 활발히 연구되고 있다. 레이저 어블레이션, 화학 기상 증착(CVD), 기액-고체 성장(VLS) 등 다양한 나노섬유 합성 기술이 보고되어 왔으나, 전해 정련 공정은 저가의 MG-Si을 원료로 사용할 수 있으며, 제조과정 중 불순물이 제거되며 유해물질과 폐기물 발생이 적다는 점에서 경제적인 방법으로 주목받는다. 본 연구에서는 LiF–KF 공융염을 기반으로 한 고온 용융염 전해 정련 공정을 통해 실리콘 섬유를 제조하였다. K_2SiF_6 농도 및 양극 전류밀도 변화에 따른 섬유 형상 거동을 분석하였으며, 이 과정을 통해 획득된 실리콘 섬유의 차세대 이차전지 음극재로서의 가능성을 확인하고자 한다.

[P1-37] Canceled

Stabilizing Metastable PtO_2 on SnO_2 Nanowires: Oxidation State-Dependent Gas Sensing Mechanisms: seongsu Choi, Yeon Sik Jung*(KAIST), Hyeuk Jin Han*(성신여자대학교)

Keywords: Metastable, Pt, stabilization, oxidation states, gas sensor

Stabilizing metastable catalyst phases is a critical challenge in designing high-performance gas sensors. Here, we present a novel strategy to successfully stabilize the metastable platinum dioxide (PtO_2) phase within tin oxide (SnO_2) nanowires, even at temperatures far exceeding its conventional decomposition limit. Through precise thickness deposition and thermal annealing, we systematically controlled the oxidation state of Pt, achieving the substitutional doping of Pt^{4+} into the SnO_2 lattice. This approach enables independent modulation of the catalyst's oxidation state without morphological disruption. Atomic-scale imaging and X-ray photoelectron spectroscopy confirmed that Pt^{4+} integrates into the SnO_2 lattice, forming structurally coherent and highly selective interfaces. Gas sensing measurements demonstrated that the fully oxidized PtO_2–SnO_2 nanowires exhibit exceptional sensitivity and selectivity toward hydrogen sulfide (H_2S). Density functional theory (DFT) calculations validated that this superior performance is attributed to favorable charge-transfer dynamics at the PtO_2–SnO_2 interface. Our findings elucidate the critical influence of the catalyst's oxidation state on sensor performance and provide a broadly applicable approach to enhancing sensor performance by stabilizing metastable catalysts through atomic-scale interface engineering.

[P1-38]

A Successful Fabrication of Fine-Grained Nd-Fe-B Permanent Magnets Using Fine Particles Synthesized by Reduction Diffusion Proces: keunki cho, Seol-mi Lee, Sumin Kim, Tae-Hoon Kim*, Jung-Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Permanent magnet, Reduction-diffusion

The Paris Agreement has accelerated the demand for environmentally friendly energy systems, which in turn has driven the rapid growth of electric drive systems as their fundamental operating principle. Representative examples include the demand for electric vehicles (EVs) and the increasing deployment of wind turbines through the RE100 initiative. In line with this trend, the demand for permanent magnets in the green-energy ecosystem encompassing both EVs and wind turbines is projected to surge from 200 kt in 2022 to 450 kt by 2030, highlighting the importance of research into high-performance permanent magnets. Among permanent magnets, Nd-Fe-B exhibits significant performance degradation as temperature increases from room temperature to ~200 °C, whereas the operational environments of EV and wind turbine motors can easily reach the same temperature. Therefore, modern Nd-Fe-B magnets must be developed to ensure thermal stability, which is essentially equivalent to maximizing their coercivity (H_c). Originally, the strategy to enhance H_c involved doping with heavy rare earth (HRE) elements such as Dy and Tb, which possess high anisotropy fields (H_A). However, due to concerns over the global supply risk of HREs, increasing attention has shifted toward strategies to enhance H_c without HRE doping. This approach is based on a purely microstructural design, particularly by reducing the grain size according to the statistical model of Ramesh et al. ($H_c = 1/\ln D^n$, where D is the grain size). Based on this rationale, the standard industrial approach has been the “top-down” route, in which strip-cast alloys are pulverized via hydrogen decrepitation followed by jet milling. However, despite decades of optimization, the particle size has plateaued at ~2.7 μm—still much larger than the ~300 nm required for single magnetic domain. Although Une and Sagawa reported the preparation of ~1 μm powders via He-jet milling and the successful fabrication of sintered magnets, this approach has not been industrialized due to the practical limitations associated with costly helium gas. To overcome such limitations, the reduction–diffusion (RD) method has emerged as a promising “bottom-up” process for synthesizing fine Nd-Fe-B particles (~1 μm). In this process, Nd reduced from Nd_2O_3 by Ca, together with B, diffuses into Fe precursors to form $Nd_2Fe_{14}B$ intermetallics, making the size of the $Nd_2Fe_{14}B$ particles dependent on the initial Fe particle size. Compared with the conventional top-down approach, RD is inherently advantageous for producing finer powders. However, a critical bottleneck has been the washing step: while water effectively removes the byproduct CaO, it also induces oxidation of the $Nd_2Fe_{14}B$ products, severely deteriorating their magnetic properties and sinterability. Consequently, no successful fabrication of anisotropic Nd-Fe-B sintered magnets from RD powders had been reported to date. In this work, for the first time, we report a successful fabrication of fine-grained Nd-Fe-B sintered magnets using the fine particles synthesized from the RD process. The dominant contributor to the success of this work is to develop a novel oxidation-inhibited washing process, consisting of ethylenediamine coating and acetic acid etching, to synthesize low-oxygen $Nd_2Fe_{14}B$ particles. Using this method, we successfully produced high-purity, single-crystalline Nd-Fe-B particles of ~1 μm, exhibiting hard magnetic properties ($4\pi M_s$ ~ 15.9 kG and H_{cJ} ~ 1.5 kOe) comparable to commercial counterparts. As a result, for the first time, we fabricated anisotropic Nd-Fe-B sintered magnets from RD powders, achieving $4\pi M_r$ = 13 kG, H_{cJ} = 11 kOe, and $(BH)_{max}$ = 42 MGOe. We believe that the RD process combined with our oxidation-inhibited washing technique provides a viable pathway to overcome the inherent size limitation of the conventional top-down approach and offers a new platform for developing fine-grained, high-performance Nd-Fe-B sintered magnets.

[P1-39]

공침법 및 용액 연소 합성법을 이용한 LLZO 합성과 열처리 온도에 따른 특성 변화 평가: 윤혜진(충남대학교), 네르시시얀 하이크(충남대학교 급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고 신소재연구소)

Keywords: LLZO, 공침법, 수열합성법, 전고체 전해질, DFT 계산

전통적인 고체상 반응을 통한 LLZO 합성은 900–1200 ºC의 고온과 반복적인 분쇄-가열 사이클이 필요하며, 마이크로미터 크기의 입자와 응집체 형성으로 인해 고체전해질 제작에 어려움이 있다. 수용액 기반 합성(sol-gel, Pechini, 스프레이 파이롤리시스)은 저온(약 700ºC)에서 미세한 입자를 얻을 수 있으나, 고가 전구체와 반복적인 건조·가열 과정이 요구된다. 본 연구에서는 c-LLZO를 위한 공침 및 용액 연소 합성법을 제시하고, 도핑이 없는 순수 LLZO 합성을 통해 소성 및 소결 온도에 따른 결정 구조와 형태 변화를 조사하였다. 주요 결과는 무도핑 LLZO 분말의 결정 구조가 하소 및 소결 온도에 따라 변화한다는 것이다. XRD와 SEM 분석을 통해 이러한 결정 구조와 미세 구조 변화를 확인하였으며, Mattergen을 활용하여 LLZO에 적용 가능한 새로운 도핑 원소를 도출하였다. 본 연구를 통해 입자 크기에 따른 LLZO의 저온 열처리 가능성을 확인하고, 전극과의 계면 안정성을 확보하기 위한 전략을 제시하였다.

[P1-40] Canceled

적층 제조 Ni 기반 합금의 온도 불감 강도–연성을 구현하는 석출상 셀 네트워크: 박효진, 렌하우, 이재흥, 허윤욱, 이도원, 이지수, 김선규(포항공과대학교), 하프트랑 파라나즈(northwestern university), 정상국(한화 에어로스페이스), 주효문(현대자동차), 이병주, 이동화, 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 적층 제조, 니켈계 합금, 넓은 온도

적층제조는 극한 환경에서 사용 가능한 니켈 기반 다원소 합금(MPEAs)을 제조하는 혁신적인 경로를 제공하지만, 기존 γ′ 강화 합금은 낮은 프린팅 안정성과 후열처리 의존성에 제약을 받는다. 본 연구에서는 적층제조에 최적화된 Self assembled BCC/$L2_1$ 석

출상 cell network를 형성하는 니켈기반 고엔트로피합금을 설계하였다. 이러한 석출상은 반정합 계면을 이루어 초기에는 전위 이동을 억제하여 Back-stress 강화 효과를 유도하는 동시에, 77 K에서 부터 873 K 의 넓은 온도 구간에서 slip transfer가 공통적으로 나타나 재료의 우수한 가공경화와 연신율을 유지한다. 해당 합금은 상온에서 1.43 GPa의 인장강도와 25%의 연신율을 도달하였으며, 전 구간에 1 GPa 이상의 강도와 20% 이상의 연신율을 유지하여 온도 둔감한 기계적 안정성을 입증하였다. 이러한 공정 내재적 접근은 별도의 열처리 과정을 우회하고, 계면 매개 메커니즘을 통해 소성 안정성을 확보한다. 본 연구는 LAM을 통한 온도 불감·고신뢰 합금 설계의 기반으로서 계면 공학의 중요성을 제시한다.

[P1-41]

고상 연소 합성법을 통한 CaB_6 나노 큐브 촉매의 수전해 특성 평가 및 DFT 기반 반응 메커니즘 연구 : 정준모(충남대학교), 네르시시얀 하이크(충남대학교 급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

Keywords: 수소 발생 촉매, 고상 연소 합성법, DFT, Charge Density

금속 산업은 산업부문 온실가스 배출량의 38.3%를 차지하며, 산업부문 중 가장 많은 온실가스를 배출하고 있다. 온실가스 배출을 줄이기 위해 금속산업에서는 철광석을 수소로 환원시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해서는 고순도 수소가 요구된다. 고순도 수소는 대부분 전기분해를 통해 얻어지며, 고가의 금속인 Pt를 촉매로 사용하기 때문에 이를 대체하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 수소 발생 촉매로 (100) 면이 노출된 CaB_6 나노 큐브를 합성하기 위해 고상 연소 합성법을 사용했다. 합성된 CaB_6 나노 큐브의 미세 구조와 형상 분석을 위하여 주사전자현미경(SEM) 및 투과전자현미경(TEM) 분석을 진행하였다. 합성된 CaB_6 나노 큐브의 수전해 특성 평가를 위해 LSV, EIS, 이중층 커패시턴스(C_{dl}), 파라데이 효율(F.E.) 등의 기초 전기화학 분석을 수행하였다. DFT-GPAW를 활용하여 CaB_6의 수소 흡착 특성과 활성 사이트를 규명하고자, Ca, B 및 hollow site에서의 수소 흡착 에너지와 전하 밀도(Charge Density)를 계산하였다.

[P1-42]

초극저온 변형 불안정 거동에 미치는 적층결함에너지 영향에 관한 연구: 신필옥(부경대학교), 김영균(한국재료연구원), 김형섭(포항공과대학교), 이수빈*(Karlsruhe Institute of Technology), 나영상*(한국재료연구원), 배재웅*(부경대학교)

Keywords: 초극저온, 변형 불안정성, 적층결함에너지, 중엔트로피 합금

초극저온(0.5 ~ 35 K) 환경에서 금속 재료는 변형 불안정성(discontinuous plastic flow, DPF) 현상을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 이는 극저온 구조재 설계에 있어 기계적 신뢰성 확보를 저해하는 주요 요인으로 작용한다. 변형 불안정성은 주로 나선 전위(screw dislocation)의 열적 활성화 부족, 적층결함에너지(stacking fault energy, SFE) 감소에 따른 교차슬립(cross-slip) 억제 및 Lomer-Cottrell lock (L-C lock)과 같은 결정학적 장애물에서의 전위 축적 및 불연속적 방출과 같은 전위-장애물 상호작용, 그리고 낮은 열전도도 및 열용량으로 인한 국부적 열 연화 등에 기인하는 것으로 알려져 있다. 적층결함에너지는 재료의 기계적 거동을 결정짓는 전위와 결정학적 장애물 간의 상호작용을 매개하는 열역학적 핵심 변수로서, 적층결함에너지와 초극저온 변형 불안정 현상의 상관관계에 대한 이해는 극저온 변형 거동을 지배하는 근본적 메커니즘에 새로운 통찰을 제공한다. 따라서, 본 연구는 극저온 환경에서의 재료 안정성과 신뢰성 확보를 위한 기초 메커니즘 규명을 목표로, 중엔트로피 합금 (medium-entropy alloys, MEAs)의 적층결함에너지 변화와 변형 불안정성 간의 상관관계를 정성/정량적으로 평가하였다. 이를 위해 Fe-Cr-Ni-Co-Mo 5원계 중엔트로피 합금을 대상으로, 적층결함에너지가 높은 Ni과 낮은 Co 조성을 제어하여 최종적으로 Fe55Cr12.5NixCo25-xMo7.5(x=7, 13, 19) 세 가지 합금 조성군을 선정하여 298 K, 77 K, 4.2 K 온도에서 인장 시험을 수행하였다. 그 결과, Ni 함량이 증가하고 Co 함량이 감소됨에 따라 FCC 상 안정성 및 적층결함에너지의 증가로 인해 주요 변형 메커니즘이 변형 유기 마르텐사이트 변태 (deformation-induced martensite transformation, DIMT)에서 쌍정유기소성 (twinning-induced plasticity, TWIP)으로 전이되어 강도-연성 간의 trade-off가 발생하였다. 특히, 4.2 K에서는 Ni이 증가하고 Co가 감소함에 따라 변형 불안정성이 억제되는 뚜렷한 경향을 나타내었다. 해당 결과를 고찰하기 위해 X-선 회절 분석(X-ray diffraction), 주사전자현미경(scanning electron microscope) 및 투과전자현미경(transmission electron microscope)을 통한 마이크로에서 나노 단위의 다중 스케일 미세조직 분석을 진행하였다.

[P1-43]

3-Dimensional Structurally Colored Heterogeneous Polymer Nanopatterns forChemically Tunable Optical Devices: Su Min Lee, Nam Tae Won*(Pusan National University)

Keywords: 3-dimensional nanopattern, structural color, polymers

Structurally colored nanomaterials, whose color originates from periodic modulation of refractiveindex rather than pigments, provide sustainable, non-fading, and tunable optical properties foradvanced photonic applications. In this study, a multilayer stack transfer printing technology isintroduced to fabricate 3-dimensional nanopatterns composed of heterogeneous polymers, exhibitingvivid, structural coloration. Spectral properties of the polymer nanopatterns can be partiallymodulated through precise geometric control at the nanoscale. The fabricated 3-dimensional polymernanopatterns exhibit subtle variations, or even extinction, in nanoscale periodicity upon exposure toexternal chemical environments. These periodic structural alterations result in distinct yet limitedchanges in structural coloration, demonstrating sensitive optical responsiveness to chemical stimuli.This method provides a versatile and scalable approach for developing chemically responsive 3-dimensional structural color systems using heterogeneous polymers, with promising applications inoptical sensors, interactive displays, and environmentally adaptive surfaces, where subtle colorchanges visually indicate chemical stimuli. 이 연구에서, 다층 스택 전송 인쇄 기술은 이질적인 폴리머로 구성된 3 차원 나노 패턴을 제조하기 위해 소개되어 생생하고 구조적 채색을 나타낸다.

[P1-44]
Facile Fabrication Approach for Synaptic Transistors Based on Mixed Metallic and Semiconducting CNTs: Donghee Shin, Beomjin Jeong*(부산대학교)
Keywords: CNT, Neuromorphic, Transistor

The growing demand for high-capacity data processing has led to the development of neuromorphic devices toward precise weight modulation and scalable fabrication. Carbon nanotubes (CNTs) are promising materials based on their solution processability, mechanical flexibility, stretchability, and transparency, as well as tunable chirality and conductivity. Nevertheless, the requirement for chirality-specific separation has remained a major barrier to practical utilization. Here, we demonstrate mixed-CNT channel synaptic transistors that enable conductivity modulation by reversible ion doping without a separation step. A ferroelectric polymer combined with an ionic liquid was employed to store and transport ions to the CNT channel for reversible doping. The ratio of metallic to semiconducting CNTs was characterized. The electrical performance of the device was systematically evaluated, revealing clear switching behavior. Raman spectroscopy provided direct evidence of ion doping in the CNT channels. Synaptic functionalities were clearly exhibited, and the results demonstrated short-term plasticity (STP) characteristics. Pattern recognition simulations were performed utilizing the synaptic behaviors of the mixed-CNT channel synaptic transistors. This simplified fabrication route with highly linear conductance modulation provides an effective platform for advancing neuromorphic electronics.

[P1-45]
Overcoming the solubility limit in iridium-based oxides for durable oxygen evolution electrocatalysis: Ki Hyun Park, Sung-Yoon Chung*(KAIST)
Keywords: Oxygen evolution reaction, electrocatalyst, iridium oxide, iridate, Hume-Rothery Rule

According to the Hume-Rothery rules, forming solid solutions between rutile IrO_2 and other metal oxides with different crystal structures poses significant solubility limitations. In this study, we present complex iridium oxide–based perovskite $BaIrO_3$ as a prominent family of iridium oxides capable of forming solid solutions with various foreign metal cations with diverse electronic configurations, from d^0 to d^{10}. X-ray absorption spectroscopy (XAS) and ab initio molecular dynamics (AIMD) simulation results of electrochemically cycled samples consistently indicate that the face-sharing [IrO_6] octahedral framework remains structurally stable unless disrupted by rapid electrochemical leaching. This structural robustness enables the catalysts to achieve remarkably high stability (S-numbers), on the order of 10^6 under strongly acidic conditions. In addition, the incorporation of ionic-bonding d^0 cations such as Ta^{5+} and Nb^{5+} can suppress the lattice oxygen evolution, as identified by DFT calculations and TOF-SIMS experiments. Our study suggests that further solid-solution approaches in face-sharing iridates will be viable for identifying new stable catalysts with different compositional combinations.

[P1-46]
Mechanically Robust and Ion-Conductive Polyampholyte Elastomers via Dimeric Ionic Bonding: Taebin Kim, Jong Gun Jung, Cheolmin Park*(연세대학교)
Keywords: all-solid-state baterries, ionic conductivity, ionic dimer elastomer, mechanical strength, resistive-type iontronic sensor

The development of ionic materials with high ionic conductivity and mechanical strength is challenging. This study presents a novel synthetic strategy for the development of a mechanically robust and ionically conductive polyampholyte elastomer based on ionic dimers (IDs) with strong ionic bonds between imidazolium and sulfonate. Polymerization of ID monomers with a network that forms a cross-linking moiety results in a novel polyampholyte ID elastomer (IDE). The addition of lithium (Li) salts in the IDE substantially enhances the ionic conductivity up to 0.82 mS cm^{-1} with a high Li^+ transference number (t_{Li^+}) of 0.79. The mechanical properties of the IDE with Li salts are remarkable, with a tensile strength of 27.4 MPa and a Young's modulus of 211 MPa, outperforming previous polyampholyte elastomers. A resistive-type iontronic sensor using the IDE exhibited excellent sensitivity (gauge factor = 2.92) and reliable cycle performance (≈400 cycles) under repetitive stress. The IDE serves as a polymer electrolyte in a pouch-type full cell, showing stable capacity at a high current density of 1.0 C (corresponding to 4.0 mA cm^{-2}) under ambient conditions (25 °C, 0.2 MPa). This synthetic strategy offers a new approach for designing ionic materials with high conductivity and mechanical strength.

[P1-47]
Three-Dimensional Structural Evaluation of Porous Carbon Derived from Amygdaloideae Fruit Tree Pruning Waste: INSEO KO, Jong Ho Won*(Dankook University)
Keywords: supercapacitor, Amygdaloideae wood, waste wood upcycling, carbon material, hierarchical porosity, 3D pore analysis

The development of sustainable carbon materials is essential for reducing dependence on fossil-based resources and minimizing environmental impacts. In this study, the potential of wood—with its inherent hierarchical porous structure and favorable chemical composition—as a carbon precursor was thoroughly investigated among renewable and cost-effective biomass sources. Unlike previous research that has primarily focused on conventional wood species such as bamboo and pine, this work examines the upcycling potential of pruning waste from Amygdaloideae fruit trees (apricot, plum, cherry, apple, and pear), which are cultivated worldwide and subject to

routine annual pruning. Wood samples from each species were carbonized at 800 °C for 15 minutes to produce carbon structures, which were subsequently analyzed using SEM for surface morphology and micropore observation, BET analysis for quantification of specific surface area, and both XRD and Raman spectroscopy to evaluate crystallinity and chemical structure. Moreover, three-dimensional comparisons of the porous structures were performed using X ray micro-computed tomography analysis, revealing that the anatomical and chemical differences between species significantly influence pore distribution, crystallinity, and specific surface area. These findings not only confirm the upcycling potential of pruning waste from fruit trees into high value-added materials but also provide robust scientific evidence for the selection of biomass precursors tailored to specific applications, thereby making a substantial contribution to sustainable, eco-friendly carbon material development and the efficient utilization of waste wood resources.

[P1-48] Canceled

Intrinsic Separation of Heat and Charge Transport in the New Thermoelectric Candidate $SrSb_2$: Kangkeon Lee, Hanhwi Jang, Yeon Sik Jung*(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min-Wook Oh*(Hanbat National Univ.)

Keywords: Low- to mid-Temperature, Thermoelectric

Thermoelectric materials have garnered significant attention for their unique ability to directly convert heat into electricity, enabling self-powered devices and active thermal management in emerging Internet of Things (IoT) technologies. Although bismuth telluride (Bi_2Te_3)-based alloys remain the benchmark near room temperature, their practical deployment is limited by the scarcity of tellurium (Te). Recently, density functional theory (DFT) calculations identified strontium antimonide ($SrSb_2$) as a promising thermoelectric candidate with a high theoretical figure of merit (zT) in the low- to mid-temperature range, yet experimental verification has been absent. Here, we report the first comprehensive experimental realization of polycrystalline $SrSb_2$ synthesized by vacuum arc melting and optimized through induction hot pressing. Structural analysis confirms a monoclinic $SrSb_2$ phase with secondary Sb-rich impurities effectively suppressed at elevated sintering temperatures. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) analysis demonstrates a homogeneous stoichiometry (Sr:Sb = 1:2), leading to thermoelectric performance that closely matches theoretical predictions. High-Angle Annular Dark-Field Scanning Transmission Electron Microscopy (HAADF-STEM) reveals the layered-chain structure of $SrSb_2$, while electron localization function (ELF) mapping identifies stereochemically active lone-pair electrons. These features induce strong phonon scattering and lattice anharmonicity, resulting in intrinsically low lattice thermal conductivity. Moreover, the Sb chains play a central role in charge transport, coupling structural anisotropy with electronic conduction. Collectively, these results establish $SrSb_2$ as a new and experimentally validated thermoelectric candidate, offering a viable alternative to Te-based alloys for low- to mid-temperature energy conversion.

[P1-49]

Grain boundary targeted dewetting for low adhesion graphene transfer printing strategy: Juhyun Kim, Nam Taewon*, Lee Hyunjin(Pusan Univ.)

Keywords: graphene transfer, dewetting, grain boundary, PMMA residue

Polycrystalline CVD graphene contains grain boundaries that often become defect sites for polymer residues during conventional PMMA-assisted transfer printing. Such residual polymer particles degrade graphene's electronic properties, acting as scattering centers that lower carrier mobility and device performance. We present a transfer printing strategy that exploits controlled dewetting to minimize grain boundary contamination. Binary solvents in the PMMA solution induce targeted dewetting on the grain boundaries of graphene, thereby reducing polymer-residue formation at defect sites. The resulting transferred graphene promises improved carrier transport and highly reliable device integration.

[P1-50]

Ultrasensitive, Multiplexed On-Microneedle Sensors with Ultrabright Plasmon-Enhanced Fluorescent Nanoprobes for Diagnosis of Skin Diseases : Sungjae Yoo, Sang Ihn Han*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: plasmon-enhanced fluorescence, microneedle sensors, skin diseases, point-of-care testing

Herein, we report a high-performance fluorescence-based microneedle diagnostic platform utilizing ultrabright plasmonic circular nanogap-enhanced fluorescent nanoprobes (UPCEFs), which enables the minimally invasive diagnosis of skin diseases. The UPCEFs, composed of Au double nanorings, a polysiloxane spacer, and BSA scaffolds conjugated with IRdye 800CW and biotin, exhibit 64-fold fluorescence enhancement per fluorophore by tuning their unique structural and optical properties. Leveraging this enhancement, microneedle-based fluorescence-linked immunosorbent assay achieves an ultralow detection limit of 0.06 pg/ml, exhibiting 50-fold higher sensitivity than conventional enzyme-linked immunosorbent assay and enabling multiplex detection. Notably, this microneedle-based sensor demonstrates the capability to detect protein biomarkers in interstitial fluid of mice. Furthermore, skin diseases such as psoriasis and atopic dermatitis could be successfully distinguished by analyzing relative fluorescence signals for multiple disease-specific biomarkers. Ultimately, integration of microneedle patches with a smartphone-based portable device demonstrates its potential as a point-of-care diagnostic platform.

[P1-51]
Photoluminescence Enhancement of Quantum Dots via Phase-Separated Polymer Thin Films: KIHOON KIM, NAM Tae Won*(Pusan National University)
Keywords: Photoluminescence, Quantum Dots, Transparent Display, Phase-Separation, Polymer

Advanced visualization technologies, such as smart glasses and automotive head-up displays, rely on transparent displays, with the key challenge being to optimize transmittance and brightness for clear and vivid image delivery under diverse lighting conditions. However, conventional light-emitting device structures have difficulty improving transparency. Previous efforts on improving transparency has primarily been focused on the electrode materials, while limited attention is paid to the emissive layer. Thicker emissive layers can improve device luminance and stability but decrease transparency, vice versa. Here, we propose an innovative strategy to introduce phase-separated polymer thin films to simultaneously improve transmittance and PL efficiency by enhancing light scattering and extraction due to the synergistic effect between structure and polymer. This strategy enables the PL intensity to be enhanced by more than 70 times. This technology offers the possibility of fabricating ultrathin transparent displays with excellent transparency and PL intensity. 그러나 기존의 광 방출 장치 구조는 투명성을 향상시키는 데 어려움이 있습니다.

[P1-52] Canceled
Modulation of Carbon Nanotube-Solvent Interfaces via Hydrogen Peroxide-Mediated Plasma Treatments : Soomin Cheon, Yoo Jeong Huh, Gi-Ra Yi, Byoungwoo Kang, Seung Soo Oh*(POSTECH)
Keywords: CNT surface modification, uniform solvation, EDG-EWG matching, microwave-mediated plasma, radical chemisorption

For solvation of Carbon nanotubes (CNTs) in various solvents, CNT surface modification is important with modulation of CNT-liquid interfaces. Here, we present a simple and rapid surface modification process with no structural damage and defect formation, mediated by microwave treatments with combinatorial solvents. When CNTs are mixed with solvent mixtures, short microwave irradiation leads to hotspot-mediated production of various radicals. Along with hydrogen peroxides to catalyze radical formation, immediate radical chemisorption is followed. In this manner, uniform CNT dispersions with no CNT aggregation can be fabricated due to the strong charge attraction between electron donating groups and electron withdrawing groups in CNTs and solvents.

[P1-53]
Enhancing Photoluminescence of PMMA/Quantum-Dot Composite Films through Controlled Surface Roughness: Seung Pyo Seo, Nam Taewon*(Pusan National Univ.)
Keywords: phase separation, polymer/quantum-dot composites, light scattering, surface roughness

The enhancement of photoluminescence in polymethyl methacrylate/quantum-dot composites is a key challenge for display applications. Photoluminescence can be increased by light scattering from surface roughness in three-dimensional structures. However, simultaneous control of surface roughness while maintaining a homogeneous phase between polymethyl methacrylate and quantum dots is challenging. The use of poor solvents can increase surface roughness via phase separation, but often leads to excessive quantum-dot aggregation, poor film quality, or reduced device reproducibility. Here, we employed dimethylformamide, a solvent with good solubility for polymethyl methacrylate, a relatively high surface tension, and a low evaporation rate, to control surface roughness without severe phase separation. Using this strategy, we successfully fabricated photoluminescence-enhanced composite films with controlled morphology and increased light scattering. This approach demonstrates a facile route to enhancing photoluminescence in solution-processed quantum-dot composite films.

[P1-54]
Light-triggered Theragenerative Bioink for Enhanced Chronic Wound Healing Post-Melanoma Resection: Seojoon Bang(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Hyeong Seok Kang, Jong Hwa Seo, Chan Ho Moon, Ju Yeong Gwon, Hyun-Do Jung*(Hanyang University)
Keywords: 3D printing, Hydrogel scaffold, Tissue regeneration

The skin, as the largest organ of the body and a primary barrier against environmental stressors, is particularly vulnerable to trauma, microbial invasion, and malignant lesions. Surgical excision of skin cancers frequently leaves defects that are difficult to treat because of delayed healing, the risk of infection, and the potential tumor recurrence. Conventional wound care methods such as suturing, topical antibiotics, and passive dressings often provide only temporary protection and limited regenerative support, falling short of addressing these complex challenges. Hydrogel-based dressings, in contrast, are recognized for their ability to maintain a moist environment that promotes cellular migration, angiogenesis, and extracellular matrix deposition. Building on these properties, we aimed to develop an advanced hydrogel system capable of integrating regenerative stimulation with therapeutic activity for post-surgical wound management. A 3D-printed, patient-specific multifunctional composite hydrogel was fabricated to achieve this goal. Gelatin methacryloyl (GelMA) served as the base matrix, selected for its biocompatibility and photocrosslinking capability. However, GelMA alone is inherently rigid, limiting its effectiveness in highly dynamic skin regions. To address this limitation, dopamine methacrylamide (DMA) was incorporated into the network. Catechol-mediated interactions derived from DMA significantly enhanced elasticity and

adhesion, enabling the hydrogel scaffold to conform to irregular wounds while maintaining stable fixation under mechanical stress. Therapeutic performance was further enhanced through the introduction of MXene (Ti_3C_2) nanosheets. Their two-dimensional structure, high conductivity, and photothermal responsiveness endowed the system with near-infrared (NIR)-mediated photothermal therapy (PTT) capability. Controlled NIR irradiation induced localized heating that effectively eradicated bacteria and triggered apoptosis in residual melanoma cells. This dual action provides simultaneous protection against postoperative infection and reduces the possibility of recurrence, addressing two of the most persistent complications following skin cancer excision. To reinforce regenerative capacity, bioactive DNA molecules were integrated into the multifunctional composite hydrogel. DNA fragments are increasingly recognized as bioactive agents that stimulate cellular proliferation, promote angiogenesis, and regulate immune responses. Their presence facilitated granulation tissue formation, enhanced vascularization, and moderated inflammation, ensuring rapid and coordinated wound closure. Material characterization validated the effective integration of all components. Scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and X-ray diffraction (XRD) confirmed MXene delamination and uniform dispersion within the matrix. Swelling analyses demonstrated hydration stability necessary for maintaining a favorable wound environment, while tensile testing verified durability under repetitive stress, supporting applicability in skin repair. Biological evaluations substantiated the multifunctional efficacy of the system. In vitro assays revealed accelerated cell proliferation, upregulation of angiogenic markers, and efficient induction of melanoma cell apoptosis under NIR exposure. In vivo wound models demonstrated faster closure rates, reduced inflammatory infiltration, and improved tissue remodeling compared with conventional controls. These outcomes emphasize the synergistic effects of combining mechanical flexibility, photothermal functionality, and regenerative stimulation within a single platform. This multifunctional composite hydrogel scaffold provides a patient-specific approach that combines mechanical flexibility, tissue adhesion, and photothermal responsiveness with antimicrobial, anticancer, and regenerative activities. These features establish a comprehensive strategy for advancing post-surgical wound healing strategies after skin cancer excision.

[P1-55]

Sundew-Inspired 4D Platform for Minimally Invasive Bone Cancer Therapy and Bioadhesive Regeneration: Seo Jong Hwa(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Seojoon Bang, Hyeong Seok Kang, Chan Ho Moon, Ju Yeong Gwon, Hyun-Do Jung*(Hanyang University)

Keywords: Natural bioinspiration, 4D printing, Adhesive DNA (aDNA), Shape memory polymer (SMP) scaffold

Osteosarcoma, the most prevalent primary malignant bone cancer in adolescents and young adults, remains difficult to cure due to frequent local recurrence after resection, the creation of large and irregular bone defects, and insufficient vascularization that compromises regeneration. Conventional reconstructive options such as metallic implants or bone cements provide mechanical stability but lack the ability to conform to patient-specific geometries, support vascularized bone healing, or eradicate residual tumor cells. These limitations highlight the urgent need for multifunctional biomaterial platforms capable of uniting structural adaptability with therapeutic and regenerative functions. Inspired by the prey-capturing strategy of Drosera capensis, we developed a bioinspired theragenerative scaffold based on 4D-printed shape memory polymer (SMP) structures with adhesive DNA (aDNA) immobilization. This platform integrates three levels of biomimicry: (i) motion mimicry, through temperature-dependent shape memory and NIR-triggered recovery that enable minimally invasive implantation and defect conformability; (ii) surface mimicry, achieved by aDNA immobilization via PDA-based anchoring, which provides strong interfacial adhesion and stable coating; and (iii) functional mimicry, realized by aDNA immobilization, which supplies osteoinductive, angiogenic, antioxidative, and immunomodulatory cues. Importantly, physicochemical analyses (FT-IR, cryo-TEM, DLS, zeta potential, XPS, TGA/DSC, TMA) confirmed successful and stable immobilization of aDNA without impairing the bulk thermo-mechanical properties of the SMP framework, while slightly enhancing shape fixity through interfacial interactions dominated by the PDA domain. The multifunctional potential was validated through systematic biological evaluations. In vitro, aDNA immobilization significantly enhanced osteoblast adhesion, proliferation, and differentiation, as well as calcium mineralization, compared with pristine SMP or PDA-based immobilization alone. aDNA also conferred strong antioxidative capacity, reducing intracellular ROS and improving cell survival under oxidative stress, while simultaneously promoting M2 macrophage polarization to create a pro-regenerative environment. Furthermore, endothelial cell assays with HUVECs demonstrated that aDNA@SMP markedly improved migration, wound closure, and capillary-like tube formation, with NIR-induced mild hyperthermia amplifying early angiogenic responses and supporting stable vascular network development. In addition, NIR-triggered photothermal heating enabled complete and reproducible shape recovery of pre-deformed scaffolds, providing a mechanism for defect-conformal self-fixation under minimally invasive conditions. In vivo, the therapeutic efficacy of the platform was confirmed in an osteosarcoma xenograft model, where aDNA@SMP(+) scaffolds induced localized photothermal ablation of residual tumor tissue and significantly improved survival without systemic toxicity. In parallel, in a rat calvarial critical-size defect model, aDNA@SMP(+) scaffolds promoted substantial new bone formation, enhanced trabecular thickness, reduced trabecular separation, and facilitated neovascularization, as validated by μCT, histological staining, and immunohistochemistry. These outcomes confirm that aDNA immobilization and NIR-triggered mild hyperthermia act synergistically to achieve both osteogenesis and angiogenesis while maintaining the structural and shape-memory integrity of the SMP platform. Collectively, this study demonstrates the first aDNA immobilization–based, NIR-responsive 4D-printed SMP scaffold that embodies motion, surface, and functional mimicry. By enabling

minimally invasive implantation, precise defect conformability, localized tumor ablation, and vascularized bone regeneration, this platform represents a transformative theragenerative strategy to overcome the dual challenges of recurrence prevention and critical-sized bone defect repair in osteosarcoma treatment.

[P1-56]

Nettle-Inspired Microneedle Platforms for Theragenerative Skin Cancer Therapy: Chan Ho Moon(Hanyang University), Hyun Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Seojoon Bang, Hyeong Seok Kang, Ju Yeong Gwon, Jong Hwa Seo, Hyun-Do Jung*(Hanyang University)

Keywords: bioinspired, nettle, skin cancer recurrence, tissue regeneration

Nature has evolved highly effective defense mechanisms that integrate both mechanical and biochemical strategies. A notable example is the stinging trichome of Urtica dioica (common nettle), which uses silica-reinforced microstructures to pierce skin and deliver bioactive irritants. These dual-mode systems offer valuable inspiration for biomedical platforms requiring both structural and functional versatility. Following melanoma excision, patients often face dual challenges: high recurrence risk due to residual tumor cells and impaired tissue regeneration at the surgical site. This post-surgical period is critical, as inflammation, oxidative stress, and a compromised microenvironment can promote tumor regrowth while inhibiting healing. Current therapies are largely inadequate for addressing both recurrence and regeneration simultaneously. Microneedle (MN) systems have emerged as promising tools for localized drug delivery, offering minimally invasive access to skin tissue. However, most MN platforms are limited to singular functions and lack sufficient mechanical strength for deep skin penetration or multifunctional therapeutic use. This limits their potential for post-surgical skin cancer treatment. In this study, we present a nettle-inspired microneedle platform designed to integrate mechanical robustness, tumor suppression, and tissue regeneration into a single therapeutic system. Fabricated using soft lithography and composed of hyaluronic acid (HA), the MNs incorporate three key biofunctional components. Silica is embedded to enhance mechanical strength and skin penetration, mimicking the rigid structure of nettle trichomes. Chlorin e6 (Ce6), a photosensitizer, is included to enable near-infrared (NIR)-activated photodynamic therapy (PDT), generating reactive oxygen species (ROS) for the selective destruction of melanoma cells. Polydeoxyribonucleotide (DNA) is added to promote angiogenesis, cell proliferation, and tissue remodeling. Upon insertion into the skin and exposure to NIR light, the MNs efficiently release Ce6 to induce ROS-mediated apoptosis in residual tumor cells. This localized photodynamic effect not only eradicates microscopic malignancies but also minimizes damage to surrounding healthy tissues. Simultaneously, DNA and biomineralized silica facilitate anti-inflammatory signaling pathways, suppressing pro-inflammatory cytokines and oxidative stress. Furthermore, they stimulate fibroblast migration, re-epithelialization, and extracellular matrix formation, all of which are essential for rapid wound closure and restoration of skin structure and function. This bioinspired microneedle platform demonstrates the transformative potential of evolutionary design principles when applied to clinical medicine. By mimicking the nettle's dual defensive strategy, we achieve a synergistic therapeutic effect that transcends the capabilities of conventional single-function systems. The integration of mechanical penetration, targeted cancer cell ablation, and active tissue regeneration within one system establishes a new paradigm for post-surgical cancer care. Beyond melanoma, this modular platform could be adapted for treating other skin cancers, chronic wounds, or localized infections. Its biocompatibility, tunability, and multifunctionality position it as a next-generation strategy for precision medicine, with strong implications for both oncological and regenerative applications.

[P1-57]

Anisotropic Absorption in Three-Dimensional Quantum Dot Structures: Jisoo Seo, Tae Won Nam*(Pusan National Univ.)

Keywords: Transfer printing, quantum dots, photoluminescence, photodetector

Spatial sensing systems for three-dimensional imaging devices, such as photodetectors, require higher precision and resolution. This entails high angle-specific sensitivity and the ability to collect directional information. However, conventional planar quantum dot layer-based photodetectors are limited in collecting directional data because they cannot accurately discern signal variations as functions of incident angles. In this study, we propose a pyramid-shaped quantum dot-based sensing ensemble that can selectively detect angular characteristics of absorbed light. Uniform three-dimensional pyramidal template was fabricated by wet etching a silicon wafer. Subsequently, quantum dots were precisely replicated using polymer transfer media molding and printing. Photoluminescence and absorption spectra analysis show that distinct peaks are observed at various angles of the fabricated assembly, confirming angle-selective light detection. This demonstrates the possibility of fabricating quantum dot photodetectors with angle-selective sensing capabilities. 광 검출기와 같은 3 차원 이미징 장치의 공간 감지 시스템은 더 높은 정밀도 및 해상도가 필요합니다.

[P1-58]

Hierarchical Au Double-Nanoring/ZIF-8 Hybrid for Single-Substrate, Label-Free Multiplex SERS Gas Sensing: Jeongwoo Ham, Sungjae Yoo, Myoung-Ryul Ok*(KIST)

Keywords: 금속 나노입자, SERS, MOF, VOC 센서, 나노섬유

Label-free multiplex gas detection by surface-enhanced Raman scattering (SERS) remains challenging because reporter dyes or thick sorbent layers often compromise selectivity and hotspot accessibility. We present a hierarchical plasmonic–MOF hybrid that integrates

CTAB-coated Au double nanorings with sub-10-nm inter-ring gaps and an ultrathin ZIF-8 gate (~1–6 nm) on a single substrate. The ZIF-8 layer enriches and size-selectively admits target molecules while preserving near-field coupling within the nanogap, enabling simultaneous, reporter-free readout. We further introduce an analysis workflow that combines a baseline-robust contrast metric with multivariate modeling to deconvolute partially overlapping Raman features and quantify multiple gases on the same substrate. Using representative analytes—including H_2S at CTAB-modified Au rings and NH_3/CO_2 gated by ZIF-8—we verify that MOF-mediated adsorption and plasmonic nanogap confinement jointly deliver selective responses without exogenous labels. The single-substrate architecture simplifies device handling, reduces calibration drift, and is compatible with scalable fabrication on nanofiber scaffolds or planar supports. This work establishes a materials-forward route—MOF-gated plasmonic nanogaps—for label-free, multiplex SERS gas sensing and provides a transferable data-analysis recipe for reliable on-substrate quantification.

[P1-59]

Analysis of the Fault Assisted $hP2_4$ Phase Transformation And Stacking Fault Energy guided Design Strategy of a Co based superalloys system: Min Hyungi(Seoul National University), Streit Cunningham(University of California Santa Barbara), Yoon Kooknoh(University of California Berkeley), Kim Minseok(Seoul National University), Daniel S Gianola(University of California Santa Barbara), Park Eunsoo*(Seoul National University)

Keywords: Co-based superalloy, Phase stability, Defect Engineering, Martensitic transformation

Co-based superalloys are considered promising candidates for high-temperature applications due to their higher cP4(γ′) solvus temperatures and superior oxidation resistance. However, their broader use has been limited by the metastability of the cP4 phase, which can lead to microstructural instability during service. While prior efforts have focused on raising the solvus temperature to improve phase stability, we observed a high-temperature diffusionless phase transformation from cP4 to the hP24 phase in a specifically designed Co-based alloy. This transformation is initiated by fault formation along (111) planar slip, indicating a defect-assisted martensitic mechanism. These results demonstrate that the metastability of the cP4 phase can be controlled by tuning the Stacking Fault Energy to suppress planar fault formation. We propose an SFE-guided design strategy to complement solvus-based design, enabling improved cP4 phase stability and creep resistance in Co-based superalloys.

[P1-60]

Enhanced Performance of Stretchable Ferroelectric Capacitors via Amine-Functionalized Graphene Oxide: JANG SEONGBO, JEONG BEOMJIN*(Pusan National Univ.)

Keywords: Ferroelectric, Memory device, Amine-functionalized graphene oxide

Ferroelectric polymers, including PVDF-TrFE, PVDF-HFP, and PVDF-CFE, are promising candidates for stretchable capacitors and memory devices due to their electroactive nature and mechanical flexibility. Nevertheless, their intrinsically low remanent polarization (Pr) and the difficulty in stabilizing the polar β-phase remain key challenges for achieving high ferroelectric performance. To overcome these issues, we developed a bilayer structure in which the upper layer composed of a P(VDF-TrFE)/PEG diamine blend preserved elasticity, while the lower layer containing amine-functionalized graphene oxide (AGO) facilitated dipole orientation and epitaxial crystallization through strong interfacial interactions. This bilayer configuration significantly enhanced Pr by improving β-phase alignment and domain organization driven by AGO-induced epitaxy. Such an approach provides an effective pathway to advance flexible ferroelectric materials and offers potential for integration into next-generation wearable electronic systems.

[P1-61]

Active Learning-Driven Optimization of Paste-Molded Soft Magnetic Composites: AhYeon Cho(Korea Univ.), Hea-Ran Kim, Jae Won Jeong(Korea Institute of Materials Science), YongJoo Kim*(Korea Univ.)

Keywords: Active Learning, Gaussian Process Regression, Data-Efficient Materials Design, Soft Magnetic Composites

Developing high-performance soft magnetic composites (SMCs) requires efficient exploration of vast compositional design spaces. In this study, we applied an active learning strategy combining Gaussian Process Regression (GPR) with Bayesian optimization to accelerate the design of paste-molded SMCs. Instead of relying on extensive trial-and-error experiments, tap density measurements were iteratively guided by a data-driven acquisition function, allowing rapid convergence toward optimal powder compositions with minimal experimental effort. The optimized samples fabricated through this process exhibited improved magnetic performance, demonstrating that active learning can effectively balance exploration and exploitation in materials design. This work highlights the potential of data-efficient optimization approaches for enabling scalable and cost-effective development of advanced magnetic materials.

[P1-62]

Implantable and suturable Fiber Electroceuticals for Seamless Biointerfacing with Wireless Therapeutic Modulation: Hwajoong Kim, Jaehong Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

Keywords: Soft electronics, Fiber electronics, Fiber electroceuticals, Suture-type electroceuticals, implantable devices

Globally, more than 4.9 million individuals live with inflammatory bowel disease (IBD), a chronic autoimmune disorder marked by

gastrointestinal symptoms such as diarrhea and abdominal pain. Although significant progress has been made in therapeutic development, IBD remains difficult to treat due to its relapsing nature and the complications that substantially impair patients' quality of life. Conventional oral drugs, including sulfasalazine and mesalamine, are widely prescribed; however, their extended use is frequently limited by unfavorable side effects. As an alternative, implantable electroceuticals-devices that provide sustained electrical stimulation to diseased tissues-have attracted growing attention [1]. However, conventional film-based implants often face long-term performance issues, as their planar structures are poorly matched to the complex anatomy of target organs. This mismatch not only decreases stimulation efficiency but also promotes foreign body reactions, thereby elevating physiological burden. To address these challenges, fiber-based electroceuticals have been proposed. Their slender, flexible geometry enables intimate contact with tissue surfaces, which enhances stimulation performance and mitigates immune-related complications [2,3]. Here, we introduce a suture-type fiber electroceutical system that incorporates wireless power transfer and a biocompatible, gold (Au)-based single fiber electrode. The Au fiber electrode demonstrates excellent electrical performance, characterized by high conductivity (0.3 Ω/cm) and low impedance (0.12 $k\Omega/cm^2$ at 1 kHz). The overall system achieves efficient wireless energy delivery (55%) and exhibits favorable biocompatibility, supporting long-term operation. Moreover, the therapeutic functionality of this fiber-based wireless electroceutical was demonstrated through in vivo studies using a IBD-mouse model. References 1. J. Koo, M. R. MacEwan, S. Kang, S. Won, M. Stephen, P. Gamble, Z. Xie, Y. Yan, Y. Chen, J. Shin, N. Birenbaum, S. Chung, S. Kim, J. Khalifeh, D. V. Harburg, K. Bean, M. Paskett, J. Kim, and Z. S. Zohany, Nat. Med. 24, 1830-1836 (2018). 2. J. Lee, S. J. Ihle, G. S. Pellegrino, H. Kim, J. Yea, C. Jeon, H. Son, C. Jin, D. Everli, F. Schmid, B. L. Zambrano, A. F. Renz, C. Forro, K. Jang, R. Kung, and J Voros, Nat. Electron. 4, 291-301 (2021). 3. V. Kalidasan, X. Yang, Z. Xiong, R. R. Li, H. Yao, H. Godaba, S. Obuobi, P. Singh, X. Guan, X. Tian, S. A. Kurt, Z. Li, D. Mukherjee, R. Rajarethinam, C. S. Chong, J. Wang, P. L. R. Ee, W. Loke, B. C. K. Tee, J. Ouyang, C. J. Charles and J. S. Ho, Nat. Biomed. Eng. 5, 1217-1227 (2021).

[P1-63]

Reactivation of Ir-based Catalysts for Sustainable Water Electrolysis Realized by Work Function Engineering: Juyoung An(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Gyu Rac Lee(Massachusetts Institute of Technology (MIT)), Sae Yane Paek, Jong Min Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Yeon Sik Jung*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

Keywords: Water electrolysis, Nanostructure, Electrochemical catalyst, Band modulation

Sustainable hydrogen production via polymer electrolyte membrane water electrolysis (PEMWE) critically depends on overcoming the sluggish oxygen evolution reaction (OER) and addressing the high cost associated with iridium-based catalysts. Among various oxidation states, Iridium in the +3 state (Ir^{3+}) shows superior catalytic activity for OER, yet its stabilization remains a significant challenge for efficient catalyst design. This study presents a novel interfacial engineering approach where IrO_x nanostructures are coupled with low work function oxides to induce electron accumulation at the interface. Utilizing a high-resolution nanotransfer printing (nTP) technique combined with an annealing process, energy band bending is induced at the heterojunction due to the distinct work functions of two materials. This electronic modulation facilitates enhanced stabilization of surface Ir^{3+} species, resulting in more than 328-fold increase in mass activity under OER conditions compared to commercial IrO_2 catalysts. Moreover, this approach also enables the reactivation of aged catalysts by restoring their depleted performance through low work function oxide integration. These findings highlight that manipulating interfacial electronic structure via work function modulation not only improves initial activity but also extends catalyst lifetime, offering an effective strategy for the development of high performance and economically feasible PEMWE technologies.

[P1-64]

냉각속도 제어에 따른 Al-Cr-Fe-Ni-Mo계 중엔트로피 합금의 $L1_2$ 석출거동 및 기계적 특성 분석: 소영섭, 이준석(국립부경대학교), 박현영, 이초현, 설재복*(국민대학교), 배재웅*(국립부경대학교)

Keywords: 중엔트로피 합금, 냉각속도, $L1_2$ 석출물, 기계적 물성, 미세조직

중엔트로피 합금(medium entropy alloy, MEA)은 여러 주 원소를 조합함으로써 기존 합금 설계의 한계를 극복하고, 우수한 기계적 물성을 구현할 수 있는 차세대 금속재료로 주목받고 있다. 최근에는 고용강화에 기반한 단일상 설계에서 나아가, 석출강화를 통해 기계적 물성을 향상시키는 전략이 주목받고 있으며, 특히 $L1_2$ 석출물은 FCC 구조의 기지(matrix)와 정합성을 나타냄으로써 전단 메커니즘(shearing mechanism)에 의해 연성의 급격한 저하 없이 강도를 향상시킬 수 있는 대표적인 강화상으로 알려져 있다. 본 연구에서는 $L1_2$ 석출강화형 Al-Cr-Fe-Ni-Mo계 중엔트로피 합금을 제조하였고, 냉간압연 후 900 °C에서 1시간 직접 시효 처리한 뒤 수냉(water quenching, WQ), 공냉(air cooling, AC), 노냉(furnace cooling, FC)의 세 가지 냉각 조건으로 열처리하였다. 미세조직은 X-ray diffraction (XRD), electron backscatter diffraction (EBSD), electron channeling contrast imaging (ECCI), transmission electron microscope (TEM), atom probe tomography (APT)로 분석하였으며, 기계적 특성은 인장 시험으로 평가하였다. 미세조직 분석 결과, 냉각속도가 감소할수록 $L1_2$ 석출물의 크기 및 분율이 증가하였으며, 특히 FC 조건에서는 모상 내 bimodal 분포를 갖는 $L1_2$ 석출물이 관찰되었다. 인장 시험 결과, 냉각속도가 감소함에 따라 항복강도는 WQ 432 MPa, AC 636 MPa, FC 841 MPa로 증가하였고, 인장강도는 WQ 844 MPa, AC 1018 MPa, FC 1243 MPa로 증가하였다. 연신율은 강도-연성 간 trade-off 관계에 따라 WQ 54%, AC 46%, FC 30%로 감소하였다.

[P1-65]

Nucleation- and Growth-Controlled Nano-Arborvitae for Uniformly Enhanced SERS Detection Across All Surfaces : Eunji Lee, Yoonseo Huh(Kyonggi University), Jaeyeong Lee, Hak Ki Yu(Ajou University), Jihun Oh(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Sangwoo Ryu(Kyonggi University)

Keywords: Surface-enhanced Raman Spectroscopy, SERS, high-pressure thermal evaporation, homogeneous nucleation and growth, nanoparticle aggregates

Nanogaps in Au and Ag nanostructures are pivotal for surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS), where localized surface plasmon resonance dramatically amplifies the local electric field. Strategies to increase nanogap density, including electrochemical synthesis, top-down lithography, and etching–coating methods, often face complexity or substrate limitations. Here, we report a facile, substrate-independent fabrication of nano-arborvitae-shaped Au and Ag, comprising crystallographically connected nanoparticle aggregates. Under high-pressure evaporation, repeated collisions of evaporated metal atoms with background gas molecules induce homogeneous nucleation and growth before deposition, yielding uniform nanoporous aggregates with abundant nanogaps across all surfaces. The resulting SERS substrates exhibit enhancement factors exceeding 10^7 across all surfaces, enabling low-cost, highly sensitive detection. Incorporation in micro-sized dimples further enhances mechanical robustness. Applied to Ara h1 peanut allergen detection, these nucleation-controlled SERS substrates achieve a detection limit of 10^{-4} mg/mL, ~90-fold below the allergenic threshold, highlighting their potential for ultrasensitive, practical biosensing.

P2 : 비철금속
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P2-1]
$CaCl_2$–NaCl–CaO 용융염계에서 Ca·Ni 도핑 $YCrO_3$ 불활성 양극의 제조법에 따른 고온 부식 특성 평가: 김완배(충남대학교), 네르시시얀 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)
Keywords: 불활성 양극, 용융염, 전해환원, 칼슘
금속 산업은 지구 온난화의 주요 원인 중 하나인 온실가스 배출의 상당 부분을 차지한다. 이를 저감하기 위해 알루미늄, 구리, 아연 등 비철 금속 산업에서는 소모성 탄소 양극을 대체할 수 있는 불활성 양극 개발이 활발히 진행되고 있다. 불활성 양극을 적용하면 용융염 내 금속 산화물 전기분해 시 탄소가 아닌 산소 가스가 발생하여, 온실가스 배출이 없는 친환경 공정으로 전환이 가능하다. 현재 불화물계 용융염을 사용하는 알루미늄 산업에서는 관련 연구가 상당한 성과를 거두었으나, 염화물계 용융염 적용이 가능한 불용성 양극 개발과 다른 비철 금속 공정에 대한 연구는 여전히 미흡하다. 본 연구에서는 염화물계 용융염 환경에서 안정하게 작동할 수 있는 불활성 양극 소재 개발을 목표로 하였다. 기존의 불화물계 용융염에서 사용되는 양극 소재에 비해, 염화물계 용융염에서는 높은 부식성과 화학적 반응성으로 인해 장시간 안정적으로 작동할 수 있는 재료가 매우 제한적이다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 본 연구는 우수한 화학적 안정성과 구조적 강도를 지닌 페로브스카이트(perovskite) 구조의 $YCrO_3$를 기반 소재로 선정하였다. 그러나 $YCrO_3$는 전기전도도가 상대적으로 낮아 고온 전해 환경에서의 효율적 전자전달이 제한되는 단점이 있다. 이에 전기전도도 향상을 위해 Ca를 Y 자리, Ni을 Cr 자리에 도핑하였다. 시편 제조에는 고상반응법과 공침법 두 가지 합성 경로를 적용하여, 제조 방법에 따른 미세구조 및 전기화학적 특성의 차이를 분석하였다. 제조된 시편의 전기전도도는 4점 탐침법을 통해 측정하였고, 고온 부식 거동 평가는 850 °C의 $CaCl_2$–NaCl–CaO 용융염 환경에서 전해환원 실험을 통해 수행하였다. 전해환원 전후의 시편에 대해 SEM/EDS를 이용하여 표면 및 단면의 미세구조 변화와 원소 분포를 분석하고, XRD를 통해 결정구조 변화 및 2차 상 형성 여부를 확인하였다. 이러한 평가를 통해 Ca 및 Ni이 도핑된 $YCrO_3$ 기반 불활성 양극의 고온 부식 저항성과 전기화학적 안정성을 종합적으로 검토하였으며, 최종적으로 염화물계 용융염 전해 공정에서의 상업적 적용 가능성을 논의하였다.

[P2-2]
모의 방사화 CRUD로 오염된 STS304 배관의 전해제염 및 2차 폐기물 유리화 공정 개발: 최우석, 박성현(충남대학교), 네르시시얀 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)
Keywords: 전해제염, 표면제염, STS304
원자력 발전소의 영구정지 및 해체가 본격화됨에 따라, 1차 계통에서 발생되는 STS304 배관 폐기물의 처리가 핵심 과제로 부상하고 있다. 배관 내벽에 침적된 CRUD(Chalk River Unidentified Deposit)는 Co-60과 같은 감마 핵종을 포함하여 배관 전체를 방사성 폐기물로 분류시키는 주된 원인이다. 기존의 화학 및 물리적 제염 기술은 각각 다량의 2차 액상 폐기물 발생과 분진으로 인한 작업자 피폭 위험이라는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기위해 전해 제염 기술을 적용하였다. 전해 제염은 2차 폐기물 발생량이 적고 제염 효율이 높아 복잡한 배관 내부 제염에 효과적이다. 본 연구에서는 배관 내부에 삽입 가능한 음극을 설계하여 단락 위험을 최소화했다. 모의 방사화 CRUD를 형성시킨 STS304 시편을 양극으로, Na_2SO_4를 전해질로 사용하여 전류 밀도와 온도 등 공정 변수에 따른 제염 효율을 평가하였다. 또한 제염 공정 후 CRUD 및 양극산화로 인해 발생한 2차 폐기물을 유리화하여 고화체로 안정화하는 후속 처리 공정을 연구하였다. 이를 통해 제염부터 최종 폐기물 처리까지 전 과정에 걸쳐 방사성 폐기물의 부피를 획기적으로 감용하고, 장기적인 관리 안정성 확보가 가능한 전해 제염 공정을 연구하였다.

[P2-3]
폐촉매로부터 유래된Fe-Pt 합금의 수계 전해질에서의 선택적 전해 정련을 통한 백금 고순도 분리 및 회수 연구: 박성현, 최우석(충남대학교), 네르시시안 하이크(금속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 금속응고신소재연구소)
Keywords: 철, 백금, 전해 정련, 수계 전해질
본 연구는 폐촉매 유래 Fe-Pt 합금으로부터 귀금속 백금을 고순도로 회수하기 위한 선택적 전해 정련 공정을 제안한다. 기존 건식·습식 제련은 높은 에너지 소비, 환경오염, 복잡한 정제 단계 등의 한계를 지니는 반면, 전해 정련은 금속 간 전극 전위 차를 활용하여 상온의 수계 전해질에서 철만 선택적으로 용해·석출하여 백금을 양극 슬라임 형태로 분리하는 기술적 우위성을 갖는다. 본 연구에서는 순환 전압전류법과 선형 주사 전압법을 통해 수계 전해질 내 Fe와 Pt의 전기화학적 거동 및 용출 특성을 분석하였다. 도출된 전위 범위를 바탕으로 정전류법을 적용하여 Fe의 선택적 전착을 구현하였으며, 이를 통해 고순도 Pt의 분리·회수 가능성을 실험적으로 검증하였다. 회수된 백금의 순도와 전해액 내 금속 이온 농도는 ICP-OES, SEM-EDS, XRD 분석을 통해 종합적으로 평가하였다. 이를 통해 폐 촉매로부터 Pt를 재활용하는 전해 정련 공정의 최적화 방향을 제시하며, 향후 백금족 금속의 지속가능한 공급망 구축에 기여할 것으로 기대된다.

[P2-4]
NaCl - $CaCl_2$ - $MgCl_2$ 용융염 마그네슘 전해제련 공정에서 음극 소재가 마그네슘 전착 효율에 미치는 영향: 이동희(충남대학교), 네르시시안 하이크(급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 급속응고신소재연구소)
Keywords: 마그네슘 전해제련, 무수 염화마그네슘, 미세포그 억제, 전류 효율, 음극 재료

Poster Session I

본 연구는 마그네슘 용융염 전해제련시 미세포그 형성 억제를 통한 전류 효율 저하 최소화를 목표로, 음극 재료 선별에 초점을 둔 기초 전기화학 실험을 수행하였다. 원료는 무수 염화마그네슘($MgCl_2$)을 사용하고, NaCl–$CaCl_2$ 용융염에서 1023 K 조건으로 전해를 진행하였다. 전기화학 평가는 순환 전압–전류법과 정전류 전위법으로 수행하여 전극 거동을 확보하였다. 전해 후 전해질 표면에서 수집된 마그네슘 그레뉼은 이미지 분석을 통해 입자 크기와 분포를 정량화 하였다. 음극 재료는 텅스텐(W)·몰리브덴(Mo)·철(Fe)로 교체하며 동일 조건에서 전해를 반복 수행하고, 재료 및 운전 조건별 전류 효율을 산출·비교하였다. 본 연구는 상업용 전해제련 공정 운영을 위한 음극 선정 기준과 운전 조건 설정에 활용 가능한 기초 자료를 제공한다.

[P2-5]

친환경 MgO 용융염 전해법을 이용한 NPI로부터 Mg – Ni 합금 직접 제조기술 개발: 한동진, 김수하, 노현창, 맹은석, 이효영, 심충용, 강정신*(서울대학교)

Keywords: magnesium oxide, nickel pig iron, magnesium – nickel alloy, molten salt, electrolysis

수소저장용 Mg – Ni 합금은 고순도 금속을 이용한 합금화를 통해 제조되나 원료로 사용되는 Mg 금속 제련 시 환경부하와 에너지 소모가 크다. 본 연구에서는 NPI (Nickel Pig Iron)를 음극으로 사용한 MgO 용융염 전해법 통해 Mg – Ni 합금을 직접 제조하는 신 제련법을 개발하였다. 전해는 Ar 분위기 983 K에서 MgF_2 – LiF – CaF_2 용융염을 사용하여 NPI 음극과 C 양극을 사용하고, 1 A의 정전류 조건에서 수행하였다. 983 K에서 전해를 통해 Mg 금속을 생성 후 이를 이용한 NPI 내 Ni 추출 시, Ni 함량이 18.39 mass%에서 6.84 mass%로 감소하였으며 회수된 합금에서 Mg 및 Mg_2Ni 상만이 분석되었다. 이와 같은 결과를 통해 본 연구에서 개발한 NPI 음극을 이용한 MgO 용융염 전해 시 Mg 금속에 의한 NPI 내 Ni의 선택적 추출에 의해 Mg – Ni 합금이 직접 제조될 수 있음을 알 수 있다.

[P2-6]

FMM용 Invar 합금 내 개재물 개질 조건: 김두연, 전상혁, 강영조*(동아대학교)

Keywords: 개재물, 개재물 미세화, Invar 합금, MgO, VIM

Invar는 거의 0에 가까운 열팽창률을 가지는 특수 합금으로, 이러한 특성 덕분에 FMM(Fine Metal Mask) 제작 소재로 널리 활용된다. FMM은 OLED 디스플레이 패널 제조에 필수적인 부품으로, 전자기기 사용의 증가 및 디스플레이 시장의 성장에 따라 고품질 FMM에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 FMM 내 결함의 원인이 될 수 있는 개재물에 대한 제어 및 개질 기술의 중요성이 부각되고 있다. FMM 제조 공정 중 VIM 및 VAR 과정에서 개재물의 성상을 개질할 수 있으며, 특히 MgO 개재물은 미세하게 분산될 뿐만 아니라 기지 합금과의 양호한 정합성으로 품질 향상에 유리한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 용융 합금 내 개재물을 Mg 합금을 이용하여 개질하고자 할 때, 투입 조건에 따른 개재물의 변화 양상을 조사하였으며 이를 통하여 Invar 합금 내 개재물의 MgO 계로의 개질 조건을 도출하고자 하였다.

[P2-7]

착화제 첨가를 통한 LLZO($Li_7La_3Zr_2O_{12}$) 고체전해질 분리 정제 기초연구: 이현준(과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원), 배무기, 이현주, 최종원, 최영중(한국지질자원연구원), 김수경*(과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원)

Keywords: 전고체전지, 고체전해질, 희토류, 재활용, 습식제련

전 세계적으로 전기차 및 에너지 저장 시스템(ESS) 시장이 급격히 성장함에 따라, 기존 리튬이온전지의 본질적인 안전성 문제가 주요 과제로 부상하고 있습니다. 이에 대한 해결책으로, 인화성 액체 전해질을 불연성 고체 전해질로 대체한 전고체전지(All-Solid-State Battery, ASSB)가 차세대 에너지 저장 장치로 각광받고 있습니다. 전고체전지는 발화 및 폭발의 위험을 원천적으로 차단하여 탁월한 안정성을 확보할 수 있습니다. 그러나 전고체전지 상용화의 가장 큰 장벽은 높은 제조단가에 있습니다. 특히 상용화에 가장 가까운 산화물계 고체전해질 소재인 LLZO($Li_7La_3Zr_2O_{12}$)에는 리튬(Li)뿐만 아니라 란타늄(La), 지르코늄(Zr)과 같은 고가의 희유금속이 다량 함유되어 있어 원소재 비용이 높습니다. 따라서 전고체전지의 경제성 확보와 지속가능한 순환경제를 위해서는 폐전고체전지로부터 핵심 소재를 효율적으로 회수하는 재활용 기술의 선행 개발이 필수적입니다. 기존 습식제련 공정 연구들은 주로 산(Acid)을 이용해 고체전해질을 용해하는 침출 단계에 집중하였으나, 침출액에 용해된 다양한 금속 이온을 분리·정제하는 단계에서 많은 문제가 발생하였습니다. 특히 란타늄과 지르코늄은 화학적 거동이 매우 유사하여, 일반적인 pH 조절을 통한 수산화물 침전법 적용 시 서로 함께 침전되는 공침(Co-precipitation) 현상이 발생하며 첨가제를 통한 침전시에도 유사한 현상을 확인할 수 있습니다.. 이는 각 금속의 회수율과 순도를 크게 저하시켜 재활용 공정의 효율성을 떨어뜨리는 주된 원인으로 작용합니다. 본 연구는 이러한 공침 문제를 근본적으로 해결하고 각 유가금속의 분리 효율을 극대화하는 새로운 순환 공정 기술을 확립하고자 합니다. 이를 위해 모의 LLZO 침출액을 대상으로, 화학적 선택성에 기반한 혁신적인 분리·정제 공정에 대해 연구를 진행하였습니다. 우선, EDTA(Ethylenediaminetetraacetic acid)와 같은 특정 착화제를 사용하여 용액 내 지르코늄 이온과 선택적으로 안정적인 착화합물(Complex)을 형성시킵니다. 이 과정을 통해 란타늄과 지르코늄이 옥살산에 의해 공침 되는 것을 방지합니다. 이후, 옥살산(Oxalic acid)을 첨가하여 란타늄 이온만을 선택적으로 란타늄 옥살레이트(Lanthanum Oxalate) 형태로 침전시켜 고순도로 분리·회수합니다. 란타늄 회수가 완료된 용액에서는 화학적 처리를 통해 지르코늄 착화합물을 파괴하고, pH 조절을 통해 수산화지르코늄(Zirconium Hydroxide) 또는 이산화지르코늄(Zirconium Oxide)으로 회수합니다. 최종 용액에 남은 리튬은 인산염 형태(Li_3PO_4)로 침전시켜 회수합니다. 본 연구를 통해 각 금속의 농도, 반응 온도, pH, 시약 첨가량 등 구체적인 공정 변수를 최적화하여, 재현성 높고 경제적인 전고체전지 재활용 원천 기술을 확보하고자 합니다. 이는 향후 폭발적으로 증가할 폐 전고체전지 시장에 선제적으로 대비하고, 자원 수입 의존도를 낮추며, 차세대 전지 산업의 지속가능한 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대됩니다.

[P2-8]

통전 처리에 따른 Cu-4.5Ni-0.95Ni 합금의 미세조직 및 기계적 특성 : 정이화, 무하마드 이시티아크(경상국립대학교), 김규낙(경상국립대학교, 한국재료연구원), 안지혁(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교)

Keywords: 구리합금, 시효, 통전, 석출강화, 불연속 석출물

Cu-Ni-Si계 합금은 Ni_2Si 석출로 인해 강도가 향상되는 대표적인 석출 강화형 합금이며, 장시간 시효 시 연속 석출물(CP)이 불연속 석출물(DP)로 성장하여 전기전도도 측면에서도 이점을 가진다. 그러나 기존 열처리에서는 DP가 형성되기까지 최소 30분에서 최대 24시간 이상 소요되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 동일 온도 열처리 대비 미세조직 변화를 가속하는 것으로 보고된 통전 처리가 Cu-4.5Ni-0.95Si 합금의 석출 거동과 기계적 특성에 미치는 영향을 규명하였다. 전류 밀도 85 A/mm^2 조건에서 1~30분간 시효 시, 전기 전도도와 비커스 경도가 모두 증가하였으며, 특히 30분 시효 시 통전 처리 시편의 DP 면적 분율이 일반 열처리 대비 약 22배 높게 나타나 석출 거동 가속화를 확인하였다. 또한, CP의 석출 거동을 분석하기 위하여 나노인덴테이션, 투과전자현미경, X선 회절 분석을 통해 초기 시효 열처리 및 통전 처리 시편 간의 미세조직 변화를 비교하였다. 본 연구를 통해 통전 처리를 활용한 Cu-Ni-Si계 합금의 석출 거동 제어 가능성을 확인하였으며, 향후 이를 적용하여 전위 회복과 석출 강화를 포함한 복합 강화 효과를 정량화함으로써 합금의 미세조직 및 기계적 특성을 최적화할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-9]

금속열환원법으로 제조한 Ti 분말의 산화 억제를 위한 부동태화 연구: 임규석(충남대학교), 네르시시안 하이크(금속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 금속응고신소재연구소)

Keywords: 금속, 타이타늄, 열환원

미세 분말은 벌크(bulk) 재료에 비해 비표면적(m^2/g)이 현저히 크다. 비표면적은 입자 직경(d)에 반비례하여 6/d의 관계로 증가하므로, 산소와의 반응 면적이 급격히 넓어진다. 따라서 본 연구에서는 질산 부동태화를 이용하여 Ti 분말의 산화를 억제하고자 하였다. 본 연구에서는 $CaMg_2$ 환원제를 사용하여 TiO_2를 직접 환원시켜 고순도 Ti 분말을 제조하였다. TiO_2 + k$CaMg_2$ (k = 2, 3, 4)의 조성을 800~1000 ºC에서 환원한 뒤, 잔여 CaMg은 진공 증류를 통해 제거하였다. 증류 후 남아 있는 CaO는 HCl 용액으로 침출하여 제거하였으며, 건조 과정을 거쳐 고순도 Ti 분말을 확보하였다. 이후 Ti 분말의 부동태화를 위하여 6 M HNO_3 용액으로 세척하였고, 세척 시간에 따른 Ti 분말의 변화를 관찰하였다. 제조된 Ti 분말은 FE-SEM을 이용하여 형태와 입자 크기 분포 및 산소 농도를 분석하였으며, 입도 분석기를 통해 입도 분포를 정량적으로 도출하였다. 또한 아크 용해법(arc melting)을 이용해 잉곳을 제조한 뒤, 비커스 경도기를 사용하여 경도를 비교 평가하였다.

[P2-10]

Si계 무연 황동 압출재의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화: 김규낙(한국재료연구원, 경상국립대학교), 안지영, 김형준(한국재료연구원), 강성규*(경상국립대학교), 안지혁*(한국재료연구원)

Keywords: Silicon brass, κ phase, Heat treatment, EBSD

Si계 무연 황동은 우수한 절삭성과 강도 및 내부식성을 동시에 확보하여 다양한 정밀기계 산업용 부품에 활용되고 있다. 그러나 다른 황동계 합금 대비 높은 강도에 따른 취성으로 인해 상온 가공성이 크게 저하되는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 잔류응력 및 전위밀도 감소를 위한 열처리가 필요하지만, 이 과정에서 합금의 강도와 절삭성을 향상시키는 κ상의 분율이 감소할 위험이 있다. 따라서, κ상의 분율을 조절하여 Si계 무연 황동의 우수한 강도를 유지하면서 가공성을 향상시키기 위해 열처리 조건을 달리하여 미세조직 및 기계적 특성의 변화를 분석했다. 본 연구에서는 Cu-20wt.%Zn-3 wt.%Si 조성의 무연 황동 압출재를 300°C, 400°C, 500°C, 600°C에서 3시간까지 열처리를 진행하여 미세조직과 기계적 특성 변화를 알아보고자 하였다. 이에 따른 미세조직을 분석한 결과, Si계 무연 황동 압출재의 κ상 분율은 11.7%, 경도는 150 HV로 분석되었고, 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 경도는 감소하였다. EBSD분석 결과, 이는 전위밀도 저하, κ상 분율 감소 및 결정립 성장에 기인한 것으로 확인되었다. 특히 600°C에서 1시간 이상 열처리 시 경도가 12 HV이상 크게 감소하였는데, 이는 해당 조건에서 대부분의 κ상이 결정립계에 Cu-Si계 개재물로 상변화되며 소멸한 것으로 분석되었다. 반면 400°C에서는 3시간 열처리 후에도 κ상의 분율이 거의 유지되었고, 합금의 경도를 감소시킬 수 있었다. 결론적으로, 열처리 조건을 제어함으로써 κ상 분율의 큰 변화 없이 합금의 전위밀도와 잔류응력을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

[P2-11]

NCM계 폐리튬이온 배터리에서 회수한 Black Mass의 Ar 분위기 중 환원거동: 황재호, 이상엽, 이소영, 손호상*(경북대학교)

Keywords: NCM, 리사이클링, 환원배소, 수침출

전기차(EV)용 리튬이온전지(LIB)의 수요가 증가함에 따라, 사용 후 LIB로부터 유가금속을 회수하는 중요성이 점점 커지고 있다. 사용 후 LIB에서 얻어진 블랙 매스(black mass)에는 Li, Ni, Co, Mn와 탄소가 포함되어 있으며, 이 탄소는 산화물의 환원제로 작용할 수 있다. 본 연구에서는 Ar 분위기에서 사용 후 NCM($LiNixCoyMnzO_2$) 분말과 탄소가 혼합된 블랙 매스의 환원 거동 및 리튬 회수에 미치는 반응 온도의 영향을 조사하였다. 등온 반응 결과, 온도가 상승함에 따라 무게 감소율과 최종 무게 감소량이 모두 증가하였다. 현저한 무게 감소 이후 NCM 분말이 분해되었으며, NiO와 CoO가 금속으로 환원되면서 상당량의 CO 가스가 방출되었다. 이러한 거동은 블랙 매스 내 Ni, Co 산화물의 환원 및 CO_2와 탄소 사이의 부도아 반응에 기인한다. 환원물을 증류수에 침출한 결과, 리튬 회수율은 반응 온도가 높아짐에 따라 증가하였고, 900 ºC 이상에서 약 98%에 도달하였다. 이러한 결과는 불활성 분위기에서 블랙 매스를 가열함으로써 리튬을 유가금속과 탄소로부터 분리 및 회수할 수 있음을 보여준다.

[P2-12]

마찰교반용접 구리 용접부의 환경별 전기화학적 부식 특성 분석: 고신범(한국재료연구원, 국립부경대학교), 김승현*, 김정민, 송상우(한국재료연구원) , 노상훈(국립부경대학교)

Keywords: Deep gelogical disposal, Canister, Corrosion, Electrochemistry, Friction stir welding

구리 특히 무산소동은 우수한 전기·열전도성과 뛰어난 가공성을 바탕으로 전력, 전자, 해양, 열교환기 등 다양한 산업 분야에서 널리 활용되고 있다. 특히 뛰어난 내식성을 바탕으로 스웨덴, 핀란드 등 사용후핵연료 심층처분 선도국에서는 사용후핵연료 처분용기의 외피재질로도 유력하게 검토되고 있다. 이러한 배경에서 한국에서도 무산소동 등의 구리합금을 사용후핵연료 처분용기 소재로 유력하게 고려하고 있으나 국내 지하수 환경과 다양한 이온핵종이 존재하는 환경에서의 장기 안전성 검증은 비교적 초기 단계에 머물러 있다. 특히 지하수 내 이온 조성과 용존 산소는 구리 합금의 국부부식, 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking, SCC) 등을 유발할 수 있다. 또한, 구리는 소재의 특성상 아크용접법이 아닌 마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW) 등의 방법을 통해 몸체와 뚜껑을 접합해야 한다. 마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW)은 용융 과정을 거치지 않는 고상 접합공정으로, 고융점 또는 열전도도가 높은 금속의 용접에 효과적이며 용접부의 기계적·화학적 특성을 크게 변화시킬 수 있다. 따라서 모재뿐만 아니라 이러한 용접부에 대한 내부식성 평가는 매우 필수적이다. 본 연구에서는 무산소동, 인탈산동, SKB에서 제안한 인첨가 무산소동(SKB-Cu) 세 종류 구리 합금에 대해 최적화된 FSW를 수행하고, 다양한 환경에서 전기화학적 부식 특성을 평가하여 용접부 조직 변화와 내식성 간의 상관관계를 심층적으로 분석하였다. 이후 용접부와 열영향부의 결정립 크기, 산화물 입자 분포 및 미세조직 특성을 분석하였으며, 부식 거동 평가는 선형주사전위법, 전기화학 임피던스 분광법 등을 통해 수행하였다. FSW 용접부의 조직 변화와 환경별 부식 거동 간의 상관성을 규명함으로써, 향후 고내식성 구리 접합부 설계 및 제작 공정 최적화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-13]

아연 제련 분진의 건식 환원을 통한 고순도 산화아연 회수 연구: 심선호(국립한국해양대학교, 한국지질자원연구원), 박태준*(한국지질자원연구원)

Keywords: 산화아연, 아연 소광 분진, 건식환원, 재활용

산화아연(ZnO)은 고무, 도료, 세라믹 등 다양한 산업의 핵심 소재로, 넓은 밴드갭(3.37 eV)과 우수한 자외선 차단 특성으로 고순도 수요가 증가하고 있다. 그러나 아연 제련 과정에서 발생하는 아연 함유 분진은 고함량 ZnO를 포함하고 있음에도 불구하고 대부분 폐기·매립되어 환경 문제와 자원 낭비를 야기한다. 본 연구에서는 소광 분진을 대상으로 전기로(EAF) 기반 건식 환원 공정을 적용하여 ZnO를 선택적으로 회수하였다. 환원·휘발된 Zn 성분을 공기 중에서 재산화해 ZnO를 제조하였으며, ICP-OES로 순도, XRD와 SEM으로 결정구조 및 형상을 분석하였다. 실험 결과, 약 99.5% 순도의 고순도 ZnO 회수가 가능함을 확인하였으며, 이는 제련 부산물 활용과 환경적 부담 저감에 기여할 수 있는 친환경 공정의 가능성을 제시한다.

[P2-14]

NCM계 폐LIB에서 회수한 Black mass의 탄산화 배소와 수침출에 의한 Li 회수: 소지영, 황재호, 이상엽, 손호상*(경북대학교)

Keywords: 리사이클링, NCM, 탄산화배소, Li 회수

리튬이온 배터리의 수요가 증가함에 따라 Li, Ni, Co, Mn 등 유가금속의 자원고갈에 대비하기 위해 폐LIB에서 유가금속을 회수하는 친환경적인 리사이클링 공정의 수립이 필요하다. 본 연구에서는 NCM계 폐LIB의 전처리 공정에서 회수한 black mass(B/M)를 탄산화 배소 하였을 때 양극재 성분의 환원 거동을 조사하였다. B/M에는 NCM계 양극재 분말을 포함해 다량의 C이 혼입되어있고, C은 일부 금속 산화물에 대해 환원제로 작용할 수 있다. Ar 분위기에서 NCM계 B/M를 500~1, 000ºC 범위의 일정 온도까지 승온하고, 목표 온도에 도달하면 Ar+CO2 50 vol%로 설정하여 시료의 무게와 배가스의 농도 변화를 분석하였다. 반응 후 Ar 분위기에서 노냉한 시료는 X-선 회절분석으로 상을 분석하였다. 또한 수침출 후 침출 여액과 잔사를 분리하였고, 침출 여액은 Li 농도를 분석하여 회수율을 계산하였다. 약 800 ºC 이상에서 '부도아 반응(Boudouard reaction)'이 활발히 일어나 CO 가스가 현저하게 발생하였고, 반응 온도가 상승함에 따라 시료의 무게 감소 속도가 증가하였다. 특히 1, 000 ºC에서 최종 무게는 초기 무게의 약 57% 수준까지 감소하였다.

[P2-15]

전산모사를 활용한 Cu-Cr 합금 열간크랙 개선방안 연구 : 장태완*, 정원석, 최준영, 이시담, 박철민((주)풍산)

Keywords: Cu-Cr계 합금, 잔류응력, 주조조직, 전산모사

Cu-Cr계 합금은 우수한 전기전도성과 내열 특성으로 인해 전기전자부품, 자동차부품 등 고특성을 요구하는 다양한 산업 분야에서 핵심 소재로 활용되고 있다. 그러나 첨가원소인 Cr의 높은 산화성으로 인해 주조 과정에서 공정 조건을 적절히 제어하지 못할 경우 품질 저하와 생산성 감소를 초래할 수 있다. 특히 주조시 몰드와 접촉하는 급냉 환경에서 국부적인 온도구배가 형성되면 불균일한 냉각으로 인해 사이드부의 잔류응력이 축적되고, 이로 인해 주괴 표면 및 내부에 크랙이나 기포를 유발할 수 있다. 이러한 불량은 소재의 전기적, 기계적 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 후속 가공 공정에서 추가 결함을 유발할 수 있다. 특히 동합금 판재 제조를 위하여 열간압연을 실시할 경우 사이드부의 다량의 크랙이 발생한다. 본 연구에서는 주조조직 분석과 전산모사를 활용하여 응고 초기 쉘 두께를 정량적으로 예측하고, 주조조직과 균열 발생의 상관성을 규명하고자 한다.

[P2-16]

Controlled Combustion in SHS for Tailored Boron Nanoparticles and Boride Compounds with Enhanced Reactivity: Joo Sinhyong(Chungnam National Univ.), Nayk Nersisyan, Lee JongHyeon*(Chungnam National Univ., Rapidly Solidified Material Research Center)

Keywords: Boron, SHS, Self Propagating High Temperature Synthesis, Boride, Solid Fuel

Boron is used in various applications such as lightweight structural materials, thermal conductive materials, and radiation shielding materials, and its importance as a raw material for solid fuel propellants is increasing. In these fields, high-purity boron is essential, and nanoscale boron offers a larger surface area, providing enhanced reactivity and desirable physicochemical properties. Additionally, amorphous boron, synthesized at low-temperature, exhibits higher reactivity compared to crystalline boron and enhances the physical and chemical properties required for specific applications, making it more advantageous. Furthermore, amorphous boron is reported to have excellent electrical properties and combustion characteristics. This study presents a method for synthesizing high-purity boron using self-propagating high-temperature synthesis (SHS) to produce boron nanopowders for defense and advanced technology applications. The synthesis was performed via a combustion reaction between B_2O_3 and Mg powders. Adjusting the molar percentage of Mg during the SHS process controlled the formation of amorphous boron nanoparticles. Furthermore, the synthesized amorphous boron was used to prepare boride compounds. The purity of the obtained boron was confirmed by ICP-AES. The subsequently synthesized borides were then characterized to determine their physicochemical properties. Particle size and morphology were analyzed using FE-SEM, composition and crystallinity were identified by XRD, and thermal behavior was investigated via TGA.

[P2-17]

용해조건에 따른 Mn-Cu계 합금의 기계적 특성: 김태형, 송람, 신제식, 조훈*(한국생산기술연구원)

Keywords: Mn-Cu alloy, Mechanical properties, Molten metal treatment

Mn-Cu계 합금은 감쇠 특성, 내식성, 비자성, 형상기억 효과가 뛰어난 특성으로 인해 조선/해양, 기계/로봇, 항공우주, 의료기기 등 다양한 산업 분야에서 적용을 검토하고 있는 소재이다. 이러한 우수한 특성을 지닌 Mn-Cu계 합금이 산업용 구조 부품소재로 제조 사용되기 위해서는 우수한 주조성과 함께 기계적 특성을 확보하여야 한다. 그러나 산화 경향이 큰 Mn의 특성 상 Mn-Cu 합금의 주조 및 응고 과정에서는 내부 결함, 산화물, 개재물 및 가스 기공 등의 형성이 불가피하게 발생할 수 있으며, 이는 합금의 기계적 성능과 구조적 안정성에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 장입재 종류, 용해 방법, 용탕처리 등 용해 조건이 Mn-Cu 합금의 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향을 조사하였다.

[P2-18]

알루미늄 클래드재 미세조직 분석을 위한 에칭 기법 개발: 김학현*, 이정훈, 정수진, 배동화(포항산업과학연구원)

Keywords: 알루미늄 합금, 클래드재, 에칭방법

알루미늄 클래드재는 우수한 내식성과 가벼운 무게로 인해 항공우주, 자동차 및 전자산업 등 다양한 분야에서 중요한 구조 재료로 활용되고 있다. 특히, 철강소재 대비 높은 비강도로 인해 다양한 산업에서 기존 금속 소재를 대체하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 소재 국산화와 자립화의 중요성이 부각됨에 따라, 알루미늄 클래드재의 제조 공정 및 품질 관리 기술 개발이 필수적 과제로 대두되고 있다. 이러한 기술 개발의 일환으로, 클래드층의 미세구조와 접합 강도 평가가 중요하게 여겨진다. 본 연구에서는 가공경화된 알루미늄 클래드재의 접합구조 및 소재 특성을 명확하게 관찰할 수 있는 새로운 분석 방법을 개발하였다. 최적화된 방법을 통해 접합구조 분석의 재현성을 확보하였으며, 기존 방법 대비 분석 시간을 단축하고, 보다 선명한 관찰이 가능함을 확인하였다. 본 연구의 결과는 알루미늄 클래드재의 미세구조 분석 효율성을 향상시키고, 향후 소재 국산화 및 품질 관리 기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-19]

납이 첨가되지 않은 친환경 무연황동에 관한 연구: 최준영*, 정원석, 이시담, 장태완, 박철민((주)풍산)

Keywords: RoHS, 납, 무연황동, 친환경, 수전금구

황동은 우수한 기계적 강도와 가공성을 바탕으로 다양한 산업에서 오래전부터 널리 사용되어왔다. 황동합금중 가장 많이 쓰이는 쾌삭황동의 경우 2~4% 수준의 납 Pb 이 첨가되어 있기 때문에 인체에 대한 유해성을 방지하기 위하여 니켈(Ni) 코팅 처리를 실시해왔다 . 하지만 2000년대 초반부터 RoHS, ELV, NSF 등의 규제를 통해 인체의 유해한 납 사용을 제한받고 있다. 특히 최근 국제구리협회에서 황동에 포함된 납 함량 저감을 위한 로드맵을 발표하면서 인체에 유해하지 않은 친환경 무연황동이 각광받고 있다. 하지만 Cu-Zn 이원계 합금으로는 쾌삭황동의 특성을 대체할 수 없기 때문에 현재 산업계에서는 다양한 종류의 무연황동이 사용되고 있으며, 대표적으로 Si계 무연황동과, Bi계 무연황동으로 분류할 수 있다. 한편 Bi계 무연황동의 경우 쾌삭황동의 대체재로써 가공특성은 매우 우수하지만 유해성, 불량 발생, 스크랩 재활용 등의 문제가 있어서 Si계 무연황동의 활발한 연구가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 납이 첨가되지 않은 친환경 Si계 무연황동의 특성향상을 위하여 Cu-Zn-Si-X 황동합금의 첨가원소에 따른 특성에 대하여 고찰하였으며 , 최종적으로 현재 산업계에서 요구하고있는 납이 첨가된 유연황동을 대체할 수 있는 무연황동을 개발하였다.

[P2-20]

Direct recovery of metallic Lithium from Black powder of spent Lithium-ion batteries.: Nguyen Xuan Viet, Joo Sin-hyong, Choi Woo-seok(Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea), Lee Jong-hyeon*(Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea, Rapidly Solidified Materials Research Center, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea (RASOM).)

Keywords: Lithium-ion batteries, Black powder, Direct recovery, Metallic lithium, Electrorefining

Lithium-ion batteries are the dominant type of rechargeable batteries, playing a crucial role in electric vehicles and energy storage systems, with rapid growth in the global market. A report by the United States Environmental Protection Agency (EPA) projects that by 2030, more than 11 million tons of lithium-ion batteries will reach their end of life, placing significant pressure on recycling infrastructure and the environment. Among the various components, the recovery of high-purity lithium from the black powder fraction , which is primarily composed of lithium, cobalt, nickel, and manganese is of strategic importance in both resource management and the circular economy. In this study, black powder obtained from spent lithium-ion batteries was analyzed, and a direct lithium metal recovery process was investigated. The onset potential of lithium recovery was determined through cyclic voltammetry (CV) and linear sweep voltammetry (LSV). In addition, the purity of lithium was evaluated using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) to elucidate the impact of each treatment step on the deposition and separation behavior of lithium. Furthermore, X-ray diffraction (XRD) analysis was conducted to examine the influence of thermal pretreatment on the layered structure of $LiMO_2$ (M = Ni, Co, Mn). The results revealed that thermal pretreatment at approximately 250 °C preserved the electrochemically active structure, whereas higher temperatures caused structural degradation and the formation of impurity phases, thereby reducing the efficiency of lithium recovery.

[P2-21]

Pre-Aging Heat Treatment-Driven δ Phase Processing for Grain Refinement in Inconel 718: 나혜성*, 나라야나, 최재영(에이치브이엠)

Keywords: Inconel 718, Pre-aging, DP process, Deformation, Grainsize

Inconel 718 is a nickel-based superalloy widely used in high-temperature and high-strength applications due to its excellent mechanical properties, corrosion resistance, and weldability. Consequently, the alloy is extensively employed in the aerospace, power generation, and nuclear industries, particularly in components such as turbine disks, jet engines, and structural fasteners. Grain size plays a vital role in the creep and fatigue performance of the Inconel 718 (IN718) superalloy. While the conventional forging process can develop recrystallization, components often exhibit partial recrystallization, leading to heterogeneous microstructures and compromised mechanical properties. In particular, the coarse grains acting as crack initiation sites. To improve grain structure, the industry uses the Delta Process (DP), in which the δ (Ni_3Nb) phase precipitates, aiding grain boundary pinning and promoting recrystallization during the DP. However, a non-uniform δ phase distribution forms a composite microstructure of fine recrystallized grains surrounding coarse deformed grains, which limits the effectiveness of the process. To overcome these limitations, the present study introduces a pre-aging heat treatment before DP to promote a uniform δ phase distribution. This modified process refines the grain size to approximately 40 μm and improves microstructural uniformity. The effect of solution treatment temperature on microstructure evolution of DP processed alloy was also analyzed. Results suggest that additional deformation may be necessary for further grain refinement (<20 μm). This approach offers an effective route to enhance the microstructure uniformity and mechanical performance of Inconel 718.

[P2-22]

Cu-Ni-Co-Si계 합금의 열간가공성 향상을 위한 연구: 강덕호, 최영철, 홍혜민((주)풍산 소재기술연구원)

Keywords: 주조, 열간압연, 코발트

Cu-Ni-Co-Si계 합금은 우수한 강도와 전기전도도를 동시에 요구하는 전기·전자 부품용 소재로 널리 사용되지만, 열간가공 시 균열 발생과 가공저항 증가로 인해 제조 효율이 저하되는 문제가 있다. 본 연구에서는 주조속도, 냉각속도, 냉각방법을 변화시켜 열간가공성에 미치는 영향을 평가하였다. 합금은 3ton 규격으로 주조 하였고, 냉각수량, 2차 냉각 nozzle의 배치 및 다양한 주조속도에서 제조하였으며, 주조 조직과 가공 특성을 상호 비교하였다. 미세조직 분석은 광학현미경(OM)과 주사전자현미경(SEM)을 병행하여, 석출물과 정출물의 크기·분포 및 주조 시 형성된 미세균열의 발생 양상을 관찰하였다. 그 결과, 빠른 냉각 및 균일한 응고 조건에서 정출물과 조대한 석출물의 형성이 억제되어 균열 발생이 감소하였으며, 주조속도와 냉각조건의 최적 조합을 통해 열간가공성이 크게 향상됨을 확인하였다. 본 연구 결과는 Cu-Ni-Co-Si계 합금의 제조 공정 최적화와 산업적 적용 확대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-23]

Co 첨가량에 따른 콜슨(Corson)계 동합금의 기계적, 전기적 특성에 미치는 영향: 박현철*, 최영철, 홍혜민, 강덕호, 정진곤((주)풍산)

Keywords: 동합금, 구리합금, 콜슨계합금, Cu-Ni-Si, Corson, Cu alloy

전자부품 및 자동차 부품 분야에서 커넥터의 소형·경량화가 가속화됨에 따라, 접속 신뢰성 저하나 발열로 인한 전력 손실과 같은 문제가 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 수준의 강도를 유지하면서도 향상된 전기전도도를 구현할 수 있는 합금 소재가 요구된다. 이에 따라 Ni_2Si 석출 강화 메커니즘을 기반으로 하는 Corson계(Cu-Ni-Si) 합금에 Co를 첨가하여 기계적 및 전기적 특성을 개선하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Cu-Ni-Co-Si계 동합금을 대상으로 Co 첨가량을 달리하고, 이에 따른 가공 및 열처리 공정을 제어하여 물성 변화를 분석하였다. 실험은 고주파 용해로를 이용해 합금을 제조한 후, 용체화 열처리 및 냉간압연 등의 과정을 거쳐 시편을 제작하였다. 이후 다양한 열처리 조건을 적용하여 기계적 특성과 전기적 특성의 변화를 비교·평가하였다. 이를 통해 Co 함량 변화가 Corson계 동합금의 조직 안정성 및 물성 확보에 미치는 영향을 규명하였다.

[P2-24]

EIGA 공정을 통해 제조된 ODS 내열강 분말을 활용한 Y-Oxide 분산 거동 연구 : 김현서, 차은빈, 서보성, 박광석*(한국생산기술연구원)

Keywords: 산화물분산강화(), Fe, Reative gas atomization, Y_2O_3

기존의 철 (Fe)계 강은 고온과 같은 기계적 특성과 방사선 저항성이 우수하여 화력 발전소 및 화학 공장의 부품 소재로 개발되고 있으며 차세대 원자력 구조재로 주목 받고 있다. 하지만 550°C 이상의 고온 환경에서 강도와 크리프 (creep) 저항성이 급격히 저하되는 단점이 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해, 철 기지 (Matrix)조직에 나노 크기의 안정한 산화물 입자를 균일하게 분산시키는 산화물 분산 강화 (Oxide Dispersion Strenghthened) 기술을 적용한다. ODS를 통해서 제조된 나노 입자들은 고온에서도 열적으로 안정하여 전위 (dislocation) 이동을 효과적으로 억제함으로써 재료의 고온 기계적 특성을 획기적으로 향상시킨다. 특히 Y_2O_3 기반 나노 산화물의 균일한 분산은 ODS 소재의 기계적 특성 향상 및 조직 안정성 확보에 핵심적인 역할을 한다. 전통적인 ODS 강 제조법에서는 Y_2O_3 나노입자를 고르게 분산시키기 위해 기계적 합금화 (Mechanical Alloy)를 활용했지만, 분말 제조를 위해서 긴 공정 시간과 분말간 불균일한 혼합 및 산화물 분산, 밀링 (milling) 과정에서 불순물 혼입, 대량 생산에 어려움과 같은 문제점이 있다. 본 연구에서는 기계적 합금화 없이 Y가 함유된 Fe–Cr–W–Ti–Y 선합금을 전극 유도 용해하고 고속 가스로 분무하여 고순도의 구형 금속 분말을 제조하는 방식인 EIGA (Electrode Induction Gas Atomization) 공정을 적용했다. 추가적으로 내부의 산소함량을 증가시켜 산화물을 형성시킨 분말을 제조하기 위해서 O가 소량 혼합된 Ar 가스를 사용하여 EIGA 공정을 통해 급속 응고된 분말을 제조하였다. 이후 열간 등방압 성형 (Hot Isotropic Pressing) 공정을 수행하여 내부 산소의 확산 및 Y과의 반응에 따른 Y–oxide 분산을 유도하였으며, 추가로 진공 열처리를 적용하여 Y-oxide의 미세조직 변화를 확인하였다.

[P2-25]

고압 다이캐스팅으로 제조된 스틸-알루미늄 이종소재 부품의 주조접합 특성에 미치는 아연도금층의 영향: 김태형(한국생산기술연구원), 문재호((주)코넥), 신제식*(한국생산기술연구원)

Keywords: High pressure die-casting, interfacial bonding, Zinc coating, Aluminum alloy

자동차 차체는 다수의 부품과 접합 가공 공정을 통해 제작되어 왔는데, 최근에는 생산성 향상과 제조원가 절감을 위해 부품의 일체화 및 대형화가 진행되는 추세이다. 한 해외 전기차 제조사는 다수의 부품으로 구성된 후면 구조용 프레임을 단일 부품으로 성형하기 위한 초대형 다이캐스팅 공정을 개발하고 상용화에 성공하였다. 그러나 부품의 대형화는 공정 시간 증가, 주조품 외곽부 품질 저하, 초대형 공정으로 성형 가능한 부품 형상의 제한, 설비 투자 비용 증가 등의 문제를 동반한다. 이러한 상황에서 기존 중소형 다이캐스팅 장비를 활용하여 대형 일체형 부품을 제조할 수 있는 인서트 고압주조 공법은 신규 대형 설비 투자를 필요로 하지 않는 경제적 대안으로 고려될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 스틸 인서트 표면의 아연 도금층 두께가 고압 다이캐스팅 공법으로 제조되는 스틸-알루미늄 이종소재 부품의 주조접합 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

[P2-26]

Mn-Cu계 합금의 주조성에 미치는 합금 성분 영향: 김태형, 송람, 조훈, 신제식*(한국생산기술연구원)

Keywords: Mn-Cu alloy, Casting properties, Fluidity, Heat tearing

Mn-Cu계 합금은 내구성, 진동 감쇠 특성, 비자성, 형상기억 효과 등이 뛰어나 다양한 산업 분야에서의 적용 잠재력이 큰 소재로 알려져 있다. 이러한 우수한 특성을 지닌 Mn-Cu계 합금을 경제적인 가격에 산업용 구조 부품으로 제조하기 위해서는 우수한 주조성을 확보하여야 한다. 하지만 Mn의 높은 산화 경향성 및 Mn-Cu 합금의 넓은 응고구간 (고액공존영역)으로 인해, Mn-Cu 합금은 주조 및 응고 과정에서 용탕 미충전, 열간균열 등 주조결함 발생 경향이 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 유동도, 내열간균열성 등 Mn-Cu 합금의 주조성에 미치는 합금 성분 및 용탕처리의 영향을 조사하였다.

[P2-27]

동합금 소재의 항균 항바이러스 성에 대한 연구: 문선영, 박철민(풍산(소재기술연구원)), 임완택(한경대(생명공학부))

Keywords: 동합금, 항균성, 동합금 항균성, 동합금 항바이러스성

동(Cu)은 고대 이집트에서 물 살균에 사용되었을 만큼 오래전부터 항균 및 항바이러스 금속으로 알려져 왔다. 1930년대 미국에서는 음용수관으로 동관을 사용하면서 수인성 전염병 발생이 현저히 감소한 사례도 존재한다. 본 연구에서는 순동 및 산업적으로 활용 가능한 6종의 동합금에 대해 그람음성균 5종 및 그람양성균 1종을 대상으로 항균성을 평가하였으며, Plate count법을 기반으로 미국 환경청(EPA) 및 일본 규격(JIS Z 2801) 시험법을 적용하였다. 그 결과, 동합금의 조성에 따라 시간차는 존재하지만 대부분 1시간 내에 99.9999% 이상의 세균 사멸 효과를 나타내었으며, 이는 플라스틱, 알루미늄합금, 스테인리스 소재 대비 압도적인 항균 효과로 확인되었다. 또한 본 연구에서는 순동 함량이 상이한 4종의 동합금과 비교 대상인 알루미늄합금 및 스테인리스를 이용하여 코로나19 바이러스(SARS-CoV-2)의 비활성화 효과도 평가하였다. 시험 결과, 동합금의 경우 동 함량에 따라 차이는 있으나 모두 약 2시간 내에 바이러스가 완전 사멸되었으며, 반면 스테인리스 및 알루미늄 표면에서는 장시간 바이러스가 잔존하여 교차감염의 위험성이 확인되었다. 따라서 동합금은 항균성과 항바이러스성을 동시에 확보할 수 있는 위생소재로서, 병원, 대중교통, 공공시설 등의 접촉 표면에 적용될 경우 감염병 확산 억제에 효과적인 수단이 될 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-28]

내열성과 저마찰 특성이 우수한 니켈하지 주석도금 연구: 남효문, 박철민*, 최영철((주)풍산)

Keywords: 내열성, 저마찰, 주석도금, 니켈하지

전자부품 및 자동차용 커넥터에서는 고온 환경에서 안정적인 전기적 접속 특성과 낮은 마찰 특성이 동시에 요구된다. 이를 충족하기 위하여 니켈(Ni) 하지층을 도입한 특수 주석(Sn) 도금을 설계하고, 하지층이 없는 일반 주석도금과 비교 평가하였다. 니켈 하지층은 구리 모재와 주석층 사이의 열 확산을 억제하여 고온에서 금속간화합물(Cu-Sn, IMC)의 과도한 성장을 방지하고 도금층의 내열성을 크게 향상시켰다. 동시에 표면에 일부 노출된 Cu_6Sn_5 금속간화합물이 삽입·탈착 과정의 접촉면에서 마찰 저감 효과를 발휘하여 기존 도금 대비 낮은 마찰계수를 구현하였다. 미세조직 및 단면 분석은 SEM/EDS와 FIB를 활용하여 수행하였으며, 고온 열처리 전후의 금속간화합물 성장 거동과 계면 구조 변화를 정밀 관찰하였다. 그 결과, 니켈 하지층을 도입한 특수 도금은 일반 주석도금 대비 약 25% 낮은 마찰계수와 200°C 이상의 고온 환경에서도 안정적인 구조적 특성을 유지하는 것으로 확인되었다. 이와 같은 내열성과 저마찰이 우수한 특수 주석 도금 기술은 고온과 고신뢰성이 요구되는 전장화 자동차 및 차세대 전자부품 분야에서 적용 가능성이 크며, 고기능성 도금 소재 개발에 중요한 기반을 제공할 것으로 기대한다.

[P2-29]

Cu-Ni-Co-Si 합금의 압하율, 석출열처리 조건에 따른 기계적 특성 거동 연구: 정진곤*, 박철민, 최영철, 홍혜민, 강덕호, 박현철((주)풍산)

Keywords: 동합금, Corson, Cu-Ni-Co-Si, 압하율, 석출경화, 인장강도, 전기전도도

차세대 모바일 기기 및 자동차용 커넥터는 경량화와 효율 향상을 목표로 소형화 및 고집적화가 가속화되고 있다. 커넥터에 적용되는 동합금 소재의 두께가 얇아짐에 따라 기존 소재와 동등 이상의 특성을 확보하기 위해서는 우수한 강도가 필수적이다. 또한 신호와 전력을 효과적으로 전달하고 최종 제품의 내구성을 향상을 목적으로 전기전도도, 굽힘가공성 등의 기계적 특성이 동시에 요구된다. 그러나 일반적으로 동합금에서 강도와 전기전도도는 상반도는 특성을 나타내기 때문에 두 특성을 동시에 만족하는 합금 개발은 어렵다. Corson계 동합금(Cu-Ni-Si-X)은 미세 Ni_2Si를 석출시켜 기지조직 내 고용 원소를 최소화함으로써 고강도와 고전기전도도를 구현할 수 있는 대표적인 석출경화형 합금으로, 커넥터 소재로 적용되고 있다. 최근에는 추가적인 강도 향상을 위해 Co를 첨가한 Cu-Ni-Co-Si 합금이 주목받고 있다. 그럼에도 불구하고, 국내에서 개발된 인장강도-전기전도도 밸런스 동합금의 최대 물성은 인장강도 750MPa, 전기전도도 45%IACS, 굽힘가공성(R/t, 90°) 3.5 수준으로, 초소형 및 고내구성이 요구되는 정밀 부품 적용에는 한계가 있다. 본 연구에서는 차세대 소형 커넥터 적용을 위해 Cu-Ni-Co-Si 합금을 대상으로 압하율 및 석출열처리 등 공정조건 영향을 분석하였으며, 강도와 전기전도도를 동시에 향상시킬 수 있는 최적 제조 공정조건을 도출하고자 한다.

[P2-30]

지르코늄 및 우라늄 표면에너지 계산을 통한 평형입자모양 예측: 안양덕*, 김경훈, 정양일, 이영우(한국원자력연구원), 이희준, 문경석, 방준호(경상국립대학교)

Keywords: 평형입자모양(ECS), 지르코늄, 우라늄, 표면에너지, DFT계산

평형입자모양(ECS)은 주어진 부피에서 입자의 표면에너지(γ)가 최소가 되도록 정해지며, 결정학적인 방위에 따른 면지수와 해당 면지수의 표면에너지 크기에 의해 시각적으로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 지르코늄과 우라늄에 대하여 DFT 계산으로 특정 면지수별 표면에너지를 산출하고, Wulff 구성법으로 평형입자모양을 예측하였다. DFT 계산은 Vienna ab initio Simulation Package (VASP)를 사용하였고, 교환-상관 함수는 LDA를 채택하였다. 표면에너지 계산을 위한 모델은 대칭을 고려한 슬랩과 20의 진공층으로 구성하고, 슬랩 층을 점증시켜 총 에너지 변화가 0.01eV 이하가 될 때까지 수렴성을 확인하였다. 표면에너지 계산에는 단순입방구조를 기반으로 면지수를 변화시켰으며, 산출된 표면에너지를 적용하여 Wulff 다면체를 구성하여 각 원소재의 평형입자모양을 도출하였다. 본 계산에 따른 결과를 기존에 보고된 육방조밀구조의 지르코늄과 사방정계의 우라늄과 비교검토 하였다. 단순입방구조를 기반으로 계산이 수행된 이유는 향후 지르코늄과 우라늄의 합금화에 따른 표면에너지 계산으로 확장하기 위해서이다. 합금화된 지르코늄과 우라늄의 경우 미세조직 분석을 통해 {100}, {110}, {210}, {221}, {311}, {322} 면을 관찰하였다. 향후 합금화에 따른 표면에너지 계산을 통해 평형입자모양의 예측값과 실제 미세조직을 비교할 계획이며, 합금화에 따른 원소재 대비 변화거동을 분석하고자 한다. 이를 통하여 지르코늄 및 우라늄 분말을 사용한 압분/소결에 대한 치밀화, 결정립 성장에 대한 이해도를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

[P2-31]

SWAAT 환경에서 알루미늄의 부식 거동에 대한 Cl^- 및 아세트산의 영향: 하온유, 한예원, 오세권*(한국생산기술연구원)

Keywords: Aluminum, SWAAT, Pitting corrosion, Chloride ion, Acetic acid, Passive film dissolution, Corrosion mechanism

본 연구에서는 SWAAT 환경(Sea water Acid Accelrated Test)에 노출된 알루미늄의 부식 거동을 광학 및 공초점 현미경, 전기화학적 분극 실험으로 평가하였다. 노출 시간이 증가함에 따라 초기 균일 부식에서 국부적 pitting으로 전이되었으며, pit의 직경 및 깊이는 비선형적으로 성장하였다. Cl^- 농도 증가 시 E_{corr}의 음전위 이동과 i_{corr} 상승이 관찰되어 산화피막 붕괴 및 국부 부식 촉진이 확인되었다. 또한 아세트산 농도가 높아질수록 pH 저하와 피막 용해가 가속화되어 ΔE 감소 및 pit 성장 위험성이 증대되었다. 이는 Cl^-의 국소 침투와 아세트산에 의한 피막 용해가 상호 증폭적으로 작용하여 부식을 가속화함을 의미하며, 알루미늄의 내구성 예측과 부식 억제 전략 수립에 중요한 근거를 제공한다.

[P2-32]

Active-Material Delamination from LIB Cathodes and Extraction of Transition Metal Components (Li, Ni, Co, and Mn) by Supercritical CO_2 Process: 서원욱*(포항산업과학연구원(RIST)), 임준혁(서강대학교), 이재원(단국대학교), 임종성(서강대학교)

Keywords: Lithium-ion battery recycling, Supercritical CO_2, Active material delamination, Green processing

Supercritical CO_2 ($scCO_2$) was employed to address two crucial stages of lithium-ion battery (LIB) cathode recycling within a single experimental framework. A continuous $scCO_2$ stream containing trace amounts of dimethyl sulfoxide (DMSO) or dimethylformamide (DMF) selectively removed the poly(vinylidene fluoride) binder, detaching more than 95 % of $LiNi_{0.6}Co_{0.2}Mn_{0.2}O_2$ (NCM622) and $LiNi_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O_2$ (NCA) coatings from aluminum foil in under 30 min at 353.15 K and 8 MPa. Unlike previous $scCO_2$-assisted or hydrometallurgical approaches that rely on strong mineral acids, the subsequent metal-recovery stage employed the β-diketone chelating agent acetylacetone (AcAc) with 4 vol % H_2O_2 under 313.15 K, 30 MPa, and cosolvent to sample ratio (A/S ratio) of 5, Ni, Co, and Mn were extracted from NCM622 with 80–90 % efficiency while Li recovery approached 60 %. Applying identical conditions to NCA afforded comparable Ni/Co recovery (~80–85 %) and partial Al removal (75.1 %). Microscopic and spectroscopic analyses indicate a diffusion-controlled shrinking-core mechanism for metal leaching. Conducted without strong acids, high-temperature furnaces, or large wastewater streams, these combined $scCO_2$ operations substantially reduce energy demand and environmental impact relative to conventional pyro- or hydrometallurgical routes, offering a versatile and scalable pathway toward closed-loop LIB recycling.

[P2-33]

Ni 첨가에 따른 Cu-3%Ti 합금의 미세조직 및 기계적 특성 평가: 이민숙, 김용근, 나혜성*((주)에이치브이엠)

Keywords: Cu-Ti-Ni, Ni 첨가, 미세조직, 전기전도도, 고강도

Cu 합금은 높은 강도와 전기전도도가 요구되는 전기·전자 부품을 비롯해 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 기존에는 Cu-Be 합금이 우수한 기계적 특성과 높은 전기전도도를 충족시켜 고강도·고전도도 부품용 소재로 활용되었으나, Be의 유해성으로 인해 인체에 무해한 대체 합금 개발 연구가 활발히 진행중이다. 이에 Cu-Ti 합금이 대안으로 주목 받고 있지만, 높은 강도를 제공하는 반면, Ti의 고용에 따른 전자 산란 증가로 전기전도도가 낮다는 한계가 있다. 특히, 전기전도도는 전력 손실 최소화와 고효율 신호 전달을 위해 중요한 특성으로, 고강도 구리 합금 개발에서 핵심적으로 고려된다. 본 연구에서는 Cu-3Ti 및 Cu-3Ti-0.2Ni 합금을 진공 유도용해(VIM)로 제조하고, 동일 조건에서 단조 및 균질화 열처리를 수행한 후 절단하여 압연 및 시효처리를 진행하였다. 각 소재는 압연율과 시효 조건을 달리하여 OM과 SEM을 활용하여 미세조직을 관찰하고, 경도, 전기전도도, 인장강도 변화를 비교·평가하였다. 연구 결과, Cu-Ti계 합금에서 Ni 첨가는 석출상의 조성과 분포를 변화시켜 미세조직을 제어하고, 전기 전도도와 기계적 특성 간의 균형 확보에 기여함을 확인하였다. 이를 통해 고강도와 고전기전도의 동시 달성의 가능성을 제시하였으며, 본 연구는 인체에 무해한 고강도·고전도도 구리 합금 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

P3 : 적층제조 및 분말
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P3-1]
L-PBF로 제조된 마레이징강의 열처리 공정에 따른 미세조직 및 수소취성 거동 분석: 이민호, 김태형(국립부경대학교), 이승연(국립부경대학교, 한국재료연구원), 박정민(한국재료연구원), 배재웅*(국립부경대학교)
Keywords: 마레이징강, Laser powder bed fusion, 수소취성

마레이징강(maraging steel)은 후열처리 및 냉각을 통해 발현되는 저탄소의 연질 철-니켈 마르텐사이트 구조의 기지 내, 금속 간화합물 (intermetallic compounds)를 석출하여 강화된 합금으로 탁월한 강도와 연성을 가지는 합금이다. 특히 Laser powder bed fusion (L-PBF)로 제조된 마레이징강은 적층재의 독특한 미세조직으로 인한 높은 항복 강도, 우수한 형상 정밀도 및 상대 밀도, 재료 절감 등의 장점으로 인해 기존 주조 · 단조 기반 전통적인 제조 방식의 한계를 극복하며 항공우주, 원자력 등 다양한 산업분야에 활용된다. 그러나 해당 강은 체심입방 (body-centered cubic) 구조를 갖는 초고강도 합금이기에 수소환경에 놓이게 되면 수소취성(hydrogen embrittlement)에 의해 조기 파괴(premature failure)의 가능성이 존재한다. 최근 열처리 공정에 따른 기계적 특성에 관한 연구가 많이 진행되었으나 수소취성에 관한 연구는 저조한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 L-PBF로 제조된 마레이징강에 대해 초기 적층재(as-built) 용체화처리 후 시효처리(solution treatment followed by aging treatment, SAT), 직접 시효처리(direct aging, DAT)의 각 열처리 조건 별 미세조직 및 수소취성 거동을 분석하였다. 전기화학적 수소 장입을 10−4 s−1의 저속 변형률 인장시험을 통해 수소취성 저항성 평가를 진행하였으며 미세조직 및 파면 분석을 통해 수소취성 거동을 관측하였다. 수소장입 인장시험 결과 결과 DAT 조건에서 약 1.65 GPA의 인장강도및 14.2%의 연신율 조합과 43.2%의 수소취화 민감도 지수 (hydrogen embrittlement index, HEI)를 나타낸 반면, SAT 조건은 1.70 GPA의 인장강도 및 2.8%의 연신율과 76.3% HEI로 DAT 합금에 비해 수소취성에 취약한 양상이 확인되었다. 미세조직 분석에 의하면, 이는 SAT 합금에서와 달리 DAT 합금의 오스테나이트 역변태(austenite reversion)에 기인하는 것으로 판단된다. 본 연구는 L-PBF로 제조된 마레이징강의 열처리 공정에 따른 수소장입의 영향을 파악할 수 있으며, 나아가 수소 환경에서의 안정성 확보에 기여할 수 있다.

[P3-2]
나노 셀 경계가 적층제조된 AlSi10Mg 합금의 극저온 인장 거동에 미치는 영향 : 박하음(한국재료연구원, 고려대학교), 유지성, 황효진(한국재료연구원), 진민수(한국과학기술원), 조용희(한국재료연구원), 장태진(고려대학교), 유지훈(한국재료연구원), 손석수(고려대학교), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)
Keywords: Laser powder bed fusion, Aluminum alloys, Heterogeneous microstructure, Tensile behavior, Cryogenic temperature

항공우주 산업 기술의 발전에 따라 효율적인 임무 수행을 위해서는 부품의 경량화를 위한 형상 최적화 뿐만 아니라 극저온부터 고온까지 넓은 온도 범위에 대응 가능한 경량 재료가 필수적이다. 이러한 요구에 대응하여 최근 금속 적층제조 공법의 활용이 급증하고 있으며, 그중 레이저 분말 베드 용융(laser powder bed fusion, LPBF) 공법은 부품 제조 정밀성과 설계 자유도를 동시에 제공하여 항공우주용 부품 제조에 적합한 기술로 주목받고 있다. LPBF로 제조된 알루미늄 합금은 우수한 강도-무게비와 내식성으로 우주항공용 부품의 경량 재료로 널리 사용되고 있으며, 특히 AlSi10Mg 합금은 높은 Si 함량으로 인한 우수한 LPBF 조형성과 독특한 미세조직(예: Si상이 셀 경계를 따라 분포된 나노 셀 구조)으로 인해 활발히 연구되어 왔다. 그러나 Al 합금이 전통적으로 극저온 환경에서도 활용되어 왔음에도 불구하고, LPBF로 제조된 AlSi10Mg의 극저온 인장 특성에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다. 본 연구에서는 LPBF 공법으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 셀 경계에 형성된 Si상이 극저온 인장 거동 시 미치는 영향에 대해 체계적으로 조사하였다. LPBF로 제조된 AlSi10Mg 합금은 온도 감소에 따라 Si상이 셀 경계를 따라 분포된 나노 셀 구조 및 용융풀 경계와 내부 셀 크기의 불균질성이 유발하는 헤테로 변형 유도 경화(hetero-deformation-induced hardening) 능력이 더욱 향상되어 상온 대비 높은 변형 경화 능력을 나타냈다. 그러나, 극저온에서 변형 경화율이 크게 상승했음에도 불구하고 조대한 용융풀 경계에서 국소 변형 집중이 발생하면서 조기 파단이 발생하였으며, 이는 극저온 환경에서 Si 상의 이중 역할을 보여준다. 본 연구를 통해 극저온 응용 분야에서 적층 제조된 AlSi10Mg 합금의 미세구조 설계에 새로운 접근 방식을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[P3-3]
Study on Microstructure and Mechanical Properties of Maraging 300 for Iron-Based MMCs : jongtae kim, Jinwoo Seok, Juree Jung, Mi Hye Lee, Seulki Han, Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Powder metallurgy, Additive manufacturing, Mechanical properties

Metal matrix composites (MMCs) are promising materials due to their high specific strength, hardness, wear resistance, and relatively low density, making them widely used in civil engineering, aerospace, electronics, and automotive industries. Although Ti- and Al-based MMCs exhibit excellent performance, their high cost and limited availability restrict widespread industrial applications. In contrast, iron-based MMCs have attracted attention for their lower cost, good mechanical properties, high thermal stability, and wide applicability. In particular, particle-reinforced iron-based MMCs with additives such as Al_2O_3, Y_2O_3, and TiC have demonstrated potential for high-performance materials by providing uniform microstructures and improved mechanical strength. However, conventional casting and powder metallurgy methods often encounter difficulties in achieving uniform dispersion of nanoscale

reinforcements. Strong van der Waals interactions between nanoparticles can cause agglomeration, leading to heterogeneous distributions and reduced mechanical performance. Moreover, traditional mixing and sintering processes may result in particle coarsening and microstructural segregation, limiting the effectiveness of reinforcement. To address these challenges, this study employed a powder metallurgy approach in which Maraging 300 powder was coated with nanoscale ceramic particles to produce iron-based MMCs. In particular, Y metal was introduced to promote the uniform formation of intermetallic compounds within the matrix while simultaneously generating nanoscale Y_2O_3 particles, resulting in a composite-reinforced powder with homogeneous distribution of both phases. Furthermore, additive manufacturing (AM) techniques were applied to fabricate bulk specimens, enabling detailed evaluation of their microstructures and mechanical properties.

[P3-4]

비동일분율 Ti-V-Nb-Mo 하이엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 특성: 송유진, 이진규*(국립공주대학교)

Keywords: 하이엔트로피, Ti-V-Nb-Mo, 기계적합금화, 방전플라즈마소결

Nb, Mo, W와 같은 고융점 원소를 포함하는 내열 하이엔트로피 합금(High-Entropy Alloy, HEA)은 기존 Inconel 합금 및 Haynes 합금에 비해 고온에서 우수한 강도와 물성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 우수한 고온 특성은 구성 원소들의 격자 왜곡과 고융점 원소들의 고온 확산 저항성에 기인한다. 특히, 기계적 합금화(mechanical alloying)와 소결(sintering)을 통해 제조된 합금은 균일한 미세조직을 가지며, 기존 주조법(casting)으로 제조된 합금보다 미세하고 우수한 기계적 특성을 나타낸다. 본 연구에서는 기계적 합금화를 통해 단상 BCC 구조를 갖는 Ti25-V25-Nb25-Mo25, Ti20-V35-Nb35-Mo10, Ti35-V35-Nb10-Mo20의 몰비를 가진 하이엔트로피 합금 분말을 제조하였고, 방전 플라즈마 소결법(SPS)을 이용하여 고밀도 소결체를 제작하였다. 제조된 분말 및 소결체의 상 분석과 미세조직 분석은 X선 회절분석(XRD)과 주사전자현미경(SEM)을 통해 수행하였으며, 소결체의 상온 및 고온 압축 강도를 측정하여 Ti-V-Nb-Mo 하이엔트로피 합금의 기계적 특성을 평가하였다.

[P3-5]

V_2O_5 첨가에 따른 다이아몬드 공구용 비트리파이드 본드의 미세조직 및 특성: 손도상, 이진규*(국립공주대학교)

Keywords: 비트리파이드 본드, V2O5, 다이아몬드 공구, 유리상, 소결

비트리파이드 본드는 유리질 무기 바인더를 기반으로 한 결합재로, 높은 강도와 내열성, 형상 안정성을 바탕으로 정밀 연마 공정에 널리 활용되고 있다. 특히 다이아몬드 공구용 본드로 사용될 경우, 유리상 형성과 소결성을 정밀하게 제어함으로써 절삭 성능과 공구 수명에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 이유로 최근 연마재용 비트리파이드 본드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 기존 비트리파이드 본드 조성에 산화물 V_2O_5를 각각 3wt%와 5wt% 첨가하여 유리상 형성 거동을 확인하고, V_2O_5 첨가가 비트리파이드 본드의 성능과 물성 향상에 미치는 영향을 평가하였다. X선 회절분석(XRD)을 통해 유리상 형성 여부를 확인하였고, 미세조직 및 조성은 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산형 X선 분광분석(EDS)을 활용하여 관찰하였다. 또한 유리상 내부의 바나듐 산화 상태와 화학적 결합 상태는 X선 광전자분광법(XPS)을 통해 분석하였으며, 열적 특성은 TMA 4000 장비를 사용하여 열팽창계수를 측정하였다.

[P3-6]

Microstructural Evolution and Mechanical Performance of BN-Reinforced Aluminum Composites via Directed Energy Deposition: KIM SUMIN, JaeHyeong Kim, Yoon Suk Shoi*(Pusan Univ.)

Keywords: Aluminum Matrix Composites, Directed Energy Deposition, Tensile Properties, Microstructural Analysis

This study investigates the influence of BN ceramic powder addition on the additive manufacturing performance of AlSi10Mg alloy using the Directed Energy Deposition (DED) process. BN-reinforced composite powders were synthesized via stir casting followed by gas atomization and deposited under identical DED conditions alongside unreinforced AlSi10Mg for comparison. Microstructural and mechanical characteristics were evaluated through OM, SEM, EDS, TEM, EBSD, tensile testing, and finite element analysis (FEA). As a result, the BN-reinforced composites exhibited increased tensile strength and elongation. The solidification microstructure transformed from columnar to equiaxed cells, accompanied by a notable reduction in grain size. These findings suggest that the incorporation of BN ceramic reinforcements effectively promotes microstructural homogeneity, thereby enhancing the build quality and overall performance of aluminum matrix composites in additive manufacturing.

[P3-7]

DED 공정 조건에 따른 중망간강의 미세조직 및 변형 거동 분석 : 이민영, 조원희(국민대학교), 김현중(국립공주대학교), 강민유(국민대학교), 김은성(포항공과대학교), 최현주, 성효경(국민대학교), 홍순직(국립공주대학교), 김형섭(포항공과대학교), 설재복*(국민대학교)

Keywords: 중망간강, TRIP, TWIP

본 연구에서는 Laser power와 scan speed를 변수로 하여 DED(Directed Energy Deposition) 공정을 통해 Fe-10Mn-10Cr-3Ni (wt%) 조성을 가진 중망간강을 제조하였다. 제조된 합금은 실온 인장 시험에서 인장 강도 480.1 MPa, 연신율 37.3%의 기계적 특성을 나타내었다. EDS 분석 결과, Cell boundary에서 Mn, Si, Cr의 편석이 관찰되었으며, 구형의 SixOy가 형성됨을 확인하였다. 변형 거동을 평가하기 위해 LUR시험을 수행하였다. 600 W 조건에서 적층된 시편은 TRIP 거동이 우세한 반면, 300 W 조건에서 적층된 시편은 TWIP 거동이 지배적인 것으로 나타났다. 이러한 차이는 공정 조건에 따른 Mn 편석 강도와 Mn 증발 정도의 차이

에 기인한다. 또한 EBSD 및 TEM 분석을 통해 300 W, 900 mm/min 조건에서 적층된 시편에서 변형 쌍정이 형성됨을 확인하였다. 본 연구 결과는 DED 기반 중망간강 제조 시 공정 조건이 Mn 분포 및 상변태 메커니즘 제어에 중요한 역할을 수행함을 보여준다.

[P3-8]

Structure Characterization of the Oxide Layer and Non-Metallic Inclusions in Steel Powder Produced via the Vacuum Induction Melting Gas Atomization (VIGA) Process: Yao Su, Sunghwan Park(Hanyang University), Dongsoo Kim(Doosan Company), Joohyun Park*(Hanyang University)

Keywords: Vacuum Induction Melting Gas Atomization (VIGA), Powder Size, Surface Oxide Layer, Non-Metallic Inclusions (NMI), Thermodynamic Modelling

Steel powders, as a unique form of metallic feedstock, are widely utilized in structural applications via powder metallurgy (PM) and the rapidly advancing field of additive manufacturing (AM). Among the various powder production techniques, vacuum induction melting gas atomization (VIGA) is commonly employed due to its high production efficiency and material recovery rate. However, the influence of the atomizing conditions not only on the oxygen and nitrogen content but also on the composition of surface and internal oxides remains unclear, particularly with respect to different powder size ranges. In this study, steel powders produced via the VIGA process under Ar and N_2 atmospheres were systematically investigated. The total oxygen content and nitrogen content were quantified across various particle size ranges, revealing a strong correlation between specific surface area and total oxygen content. To further elucidate the surface oxidation behavior during atomization process, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was employed to characterize the composition and thickness of surface oxide layers. The alloying elements within the oxide layer showed a laminated distribution, mainly composed of Fe, Mn and O as revealed by Transmission Electron Microscopy (TEM). Results from both XPS and TEM analyses indicate that the smaller size of the steel powder is prone to forming a thick oxide layer due to the supersaturated oxygen content in the matrix and exposure time during the atomization process. Meanwhile, thermodynamic modelling was used to interpret their formation mechanisms. In addition, non-metallic inclusions such as Al_2O_3, $MnSiO_3$ and MnS were characterized in terms of their type and size in powder sample using scanning electron microscopy (SEM). Thermodynamic software (FactSageTM) calculations elucidate the formation and evolution of the inclusions, offering critical insights for steel powders. These findings are crucial for enhancing the production of high-performance powder metallurgy components through the Hot Isostatic Pressing (HIP) process.

[P3-9]

Ti-6Al-4V 복합 격자의 압축 거동 및 미세조직 관찰: 김영훈, 박현영, 이지민, 성효경*(국민대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, 적층제조, 생체재료

Ti-6Al-4V 합금은 낮은 밀도 대비 높은 강도, 내식성 및 생체적합성을 갖추어 의료 분야에서 활용된다. 최근 적층 제조 기반 격자 설계가 주목받고 있으나, 대표적인 옥텟 트러스는 교차부에서 응력 집중이 발생하고 에너지 흡수 성능이 낮다는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 프리미티브 구조, 십자형 보강대, 속이 빈 구조를 결합한 복합 격자구조를 설계하고 유한요소해석을 기반으로 최적화를 수행하였다. 구조는 레이저 분말 적층 융합 공정으로 제작되었으며, 준정적 압축시험을 통해 변형 거동을 평가하였다. 시험 결과, 높은 기공률에도 불구하고 우수한 압축 응력이 확보되어 경량화와 강도를 동시에 달성하였고, 치아용 임플란트에 유리한 에너지 흡수 특성을 보였다. 또한 기공률과 탄성계수를 비교하여 인체 적합성을 확인하였으며, 압축 변형 후 주사전자현미경과 전자후방산란회절 분석을 통해 미세조직 변화를 평가하였다. 본 연구는 Ti-6Al-4V 복합 격자구조의 특성을 규명하고 새로운 격자 설계 전략을 제시한다.

[P3-10] Canceled

LPBF 316L 스테인리스강의 미세조직, 잔류응력 및 초기 산화 거동 분석: 정창현(국립순천대학교), 배기창(한국세라믹기술원), 김도형(영남대학교), 조의제*(국립순천대학교)

Keywords: LPBF, 스테인리스강, 잔류응력, 수증기 고온 산화

LPBF 316L 스테인리스강은 우수한 기계적 특성과 높은 크롬 함량으로 고온 내식성이 뛰어나 에너지, 자동차, 의료 우주 항공 등에 쓰이고 있다. 그러나 제조 공정에서 발생하는 높은 온도 구배, 빠른 냉각속도에 의해 LPBF 316L 스테인리스강은 잔류응력을 가진다. 이러한 잔류응력은 균열 발생, 뒤틀림 및 변형, 기계적 성질 저하 등 재료의 수명을 저하 시킨다. 또한, 이러한 잔류응력은 내산화성에도 영향을 미칠 수 있다. 초기 형성 산화물은 모재와의 결합성, 후속 산화물의 성장 및 구조 등 전체 산화 거동에 영향을 미친다. 잔류응력에 따라 초기 산화물 형성 거동은 변화할 것으로 예상되나, 이와 관련된 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 LPBF 316L 스테인리스강의 초기 산화 거동에 미치는 잔류응력의 영향을 조사하였다. 400 °C 및 600 °C에서 각각 4시간 응력 완화 열처리로 잔류응력 차이를 유도하였으며, 800 °C에서 30분간 고온 수증기 산화 실험으로 열처리 전후의 초기 산화 거동에 대해 비교·분석하였다. 열처리 전후의 잔류응력 비교는 XRD를 통해 Williamson-Hall plot을 통해 수행하였고, 미세조직 변화는 SEM을 통해 관찰을 하였다. 산화물 층 조성은 TEM으로 외·내부 구조, 내부의 결정구조 등을 정밀하게 분석하였다.

[P3-11]

Positive Lattice Misfit Induced Cracking Resistance in Additively Manufactured Ni-Based Superalloys: Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Ye Hun Shim, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Myeong Se Kim(Auratech)

Keywords: Additive manufacturing, Ni-based superalloy, Lattice misfit, Strain-aging cracking

High γ′-fraction Ni-based superalloys such as IN738LC, MAR-M247, and CM247LC are widely used in aerospace and power generation applications due to their excellent strength and oxidation resistance at elevated temperatures. However, their high Al + Ti content and complex phase transformations under rapid thermal cycling render them highly susceptible to cracking during additive manufacturing (AM). In this study, we developed a modified IN738LC alloy, designated as 738P, specifically tailored for AM using Thermo-Calc simulations combined with first-principles modeling. The design strategy aimed at achieving a stable positive γ/γ′ lattice misfit that remains positive across 700–1000 °C, a temperature range strongly associated with strain-age cracking (SAC). Thermodynamic predictions indicated that a room-temperature misfit of approximately +0.125% is required to preserve positivity at 1000 °C. Experimental measurements confirmed that 738P exhibits a misfit of +0.33% at ambient temperature, markedly higher than the +0.07% observed in conventional IN738LC. Microstructural characterization via SEM, HR-XRD, and EBSD revealed that 738P maintains a bimodal γ′ distribution (primary and secondary γ′) with a volume fraction (~47%) comparable to IN738LC, while demonstrating significantly improved resistance to SAC. The positive misfit was found to introduce compressive residual stresses within the γ matrix, alleviating residual tensile stresses and suppressing crack formation during post heat treatment. Furthermore, Gleeble compression tests at 850 °C provided insight into deformation mechanisms, highlighting the roles of stacking fault shearing and twinning. Overall, these results establish 738P as a crack-resistant, high-performance Ni-based superalloy designed for additive manufacturing, where positive lattice misfit serves as a key parameter for balancing processability and high-temperature mechanical reliability.

[P3-12]

L-PBF 적층제조된 Ti-6Al-4V 성형체 및 Lattice 구조의 미세조직-기계적 특성 상관성 고찰: 김준혁, 한재연(국립창원대학교), 권영삼(CetaTech), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, Selective Laser Melting (SLM), Lattice structure, Heat treatment, Compressive properties

선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM)과 같은 적층 제조 기술은 차세대 제조 공정으로 각광받으며, 복잡한 형상을 구현할 수 있는 설계 자유도를 바탕으로 격자 구조 설계에 적극적으로 적용되고 있다. 특히 Ti-6Al-4V 합금은 항공, 방산, 바이오 등 다양한 산업 분야에서 활용도가 높으나, 적층 제조 공정에서 얻어진 성형체의 미세조직 제어 및 기계적 특성 향상을 위한 체계적인 열처리 조건은 아직 확립되지 않았다. 또한 격자 구조체의 형상 및 상대 밀도 변화가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향에 대한 심층적인 연구도 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 L-PBF 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금을 대상으로 후열처리 조건에 따른 미세조직 변화를 체계적으로 분석하고, 격자 구조체의 미세조직 및 압축 특성에 대해 고찰하였다. 성형체에는 잔류응력 해소를 위한 Stress Relief (SR) 열처리와 α′ 마르텐사이트 분해를 위한 Annealing (AN) 열처리를 수행하였다. 격자 구조체는 FCC, BCC, RDH, Gyroid, Truss의 다섯 가지 형상과 0.3, 0.45, 0.6의 상대 밀도를 적용하여 제작하고, 미세조직과 압축 거동을 비교·분석하였다. As-built 합금은 building direction을 따라 성장한 columnar β 결정립과 내부 α′ 마르텐사이트로 인해 높은 경도(377 Hv)를 보였다. SR 처리 시 미세조직은 as-built와 유사하였으나 lath α′ 폭의 증가(0.67 → 0.93 μm)와 초미세 βs상의 형성으로 경도가 소폭 상승하였다(380 Hv). 반면, AN 처리 후에는 α′가 완전히 분해되고 조대한 lath 구조(1.01 μm)가 관찰되었으며, 이로 인해 경도가 감소하였다(353 Hv). 격자 구조체는 형상 및 상대 밀도에 관계없이 유사한 미세조직과 경도(약 380 Hv)를 나타냈으며, 압축 시험에서는 FCC 구조가 가장 우수한 에너지 흡수율, 탄성 계수, 압축 항복 강도를 보였다. 본 연구 결과는 L-PBF Ti-6Al-4V 합금의 후열처리 조건 확립과 격자 구조체의 기계적 성능 향상을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 lattice 구조의 설계와 열처리 조건을 최적화하여 고성능 적층 제조 부품 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P3-13]

DED 공정으로 제작한 [P21–STS316L 경사기능재료의 미세조직 및 경도특성 평가: 강수성(한국생산기술연]구원, 부경대학교), 김중훈(한국생산기술연구원, 울산과학기술원), 김형찬, 김병준(한국생산기술연구원), 노상훈*(부경대학교), 김병구*(한국생산기술연구원)

Keywords: Functionally graded material, Directed energy deposition, [P21-STS316L, Microstructure,]

경사기능재료 (functionally graded material, FGM)는 위치에 따라 재료의 조성이나 미세조직이 점진적으로 변하도록 설계된 재료를 말한다. 이러한 조성의 변화나 미세조직의 변화는 기계적 특성뿐만 아니라 화학적 특성까지 연속적으로 변화시키기 때문에 복합적인 물성이 동시에 요구되거나 극한 환경에서 적합한 해결책으로 제시된다. 또한 원하는 재료로 다양한 물성을 조합할 수 있기에 제조단가를 고려한 상용화에도 유리하다. 또한 최근 다중 호퍼를 장착한 직접용융증착 (directed energy deposition, DED) 3D프린터가 개발되며 적층 기술 기반 FGM의 제작이 가능해졌다. DED 3D 프린팅은 기판 위에 금속 분말을 분사하고 레이저를 이용해 순간적으로 용융시켜 적층하는 방식이다. 적층제조 (additive manufacturing, AM) FGM 공정에서는 여러 개의 호퍼에 서로 다른 조성의 분말을 넣고, 호퍼 간 분말 공급량을 실시간으로 제어하여 위치 별로 상이한 특성을 갖는 합금 블록을 제작한다. 기존 연구에서는 다양한 특성을 요구하는 극한 환경인 원자력, 우주항공 산업에서 AM FGM 연구가 이루어졌다. 그중 가압경수형원자로의 1차 계통은 고온, 고압, 고방사선 등의 극한 환경이며 다양한 재질의 용접부가 존재한다. 특히, 페라이트강-오스테나이트강 접합부가 많이 존재한다. 페라이트강은 높은 강도와 방사능 저항성, 낮은 열팽창 계수를 지니며, 오스테나이트계 스테인리스강은 높은 내식성과

인성을 갖지만 방사능 활성화 계수가 높은 Ni과 Co를 다량 함유하고 있다. 이러한 이유로 강도, 내식성, 내방사선성, 내마모성 등을 동시에 확보하기 위해 두 재료의 접합부는 용접이나 클래딩 방식으로 제작되어왔다. 하지만 두 재료의 열팽창 계수, 강도, 조성 등이 다르기에 용접부에서 잔류응력이 발생하며 원전 운전 중에는 잔류응력과 부식성 냉각수 환경이 맞물려 응력부식균열 (stress corrosion cracking, SCC)이 발생할 수 있다. 이로 인해 방사성 냉각수가 누설되는 큰 문제가 생기는데, 현재까지 근본적인 문제 해결 방법이 없기에 SCC가 발견되면 부품을 교체하는 방식을 사용한다. 이러한 SCC 문제를 해결하기 위해 DED 3D 프린팅 방식을 활용하여 페라이트강-오스테나이트강 접합부의 조성을 연속적으로 변화시키는 FGM을 제조하여 두 재료의 특성 차이를 완화하려는 연구가 시도되었다. 기존의 연구에서는 조성의 변화를 25%, 50% 등의 단위로 크게 설정하고 제작하여 평가하였으나, 변화의 폭이 불연속적이기 FGM으로 보기 어려우며 미세조직 분석도 상세히 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 다중 호퍼 DED 3D 프린팅 방식을 이용하여 페라이트강인 [P21과 오스테나이트계 스테인리스강인 STS316L의 분말을 적층 시켰다. 각각 단일 소재] 블록을 제작하고 두 소재가 0.3 mm의 간격으로 조성이 1%씩 변하는 FGM 블록을 제작하였으며 블록의 위치별 조성, 미세조직, 석출물 그리고 경도를 평가하였다. 또한 열역학 계산 소프트웨어를 이용하여 FGM 블록의 위치별 안정상을 예측하였다. 이를 통해 페라이트강–오스테나이트강 FGM의 특성을 분석하고 이종 금속 용접부에 FGM 적용 시 SCC 억제 가능성이 있음을 확인하였다.

[P3-14]

적층제조 AISI 316L의 공정조건이 내부식성에 미치는 영향: 이승환, 이수진, 장희진*(조선대학교/Chosun Univ.)

Keywords: 적층제조, 316L, DED공정

DED 공정은 고출력 레이저를 금속 분말과 함께 조사하여 적층하는 방식으로, 복잡한 형상의 대형 금속 부품 제조에 유리하다. 레이저 빔 크기, 출력, 속도 등 공정 조건은 완제품의 미세조직과 부식 거동에 영향을 준다. 레이저 빔 사이즈가 달라짐에 따라 동일한 출력에서도 에너지의 밀도가 달라져 재료의 용융과 응고 속도로 인해 미세조직이 변화하여 내부식성에 영향을 미치게 된다. 또한 레이저 빔 크기와 Hatch spacing의 길이에 따라 조직 내에 존재하는 용융되지 않은 금속 분말로 인해 내부 결함(pore)이 생성될 수 있으며, 이는 내식성 저하에 영향을 미칠 수 있다. 기존 연구에서는 레이저 세기와 출력 속도가 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 주로 조사되었다. 레이저 빔 크기 변화에 따른 미세조직 및 경도에 관한 연구는 일부 진행되었지만, 내부식성에 대한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구는 DED (Directed Energy Deposition) 적층제조 공정을 통해 제작된 AISI 316L 스테인리스강의 레이저 빔 크기에 따른 미세조직 및 내부식성 변화를 평가하였다. 미세조직 관찰 결과, 빔 크기가 커질수록 Hatch spacing과 Melt pool 크기가 증가하였다. 동전위 분극시험 결과, 800㎛ 시료에서 가장 높은 공식 전위가 나타났으며, 레이저 빔 크기가 증가함에 따라 공식 전위가 낮아지는 경향을 보였다.

[P3-15]

L-DED를 통해 제작한 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금의 수소 취성에 미치는 HCP/FCC 상분율의 영향: 장도현, 박민수, 이욱진*(부산대학교)

Keywords: 적층제조, L-DED, 고엔트로피 합금, 수소취성

Face Centered Cubic(FCC) 결정구조를 보이는 Co-Cr-Fe-Mn-Ni 고엔트로피 합금은 낮은 수소확산계수를 가지며, 극저온에서 우수한 기계적 물성이 나타나는 것으로 보고되어 수소산업에서의 활용이 가능할 것으로 예상된다. Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금은 Co-Cr-Fe-Mn-Ni 고엔트로피 합금에서 Ni을 Co로 대체한 합금으로, FCC 상과 Hexagonal Close Packed (HCP)상 간 마르텐사이트 동소변태 현상이 일어난다고 보고되고 있다. 한편, 침입형 원소인 탄소가 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금에 함유되면 HCP의 상대적으로 낮은 탄소 고용한계 때문에 FCC가 안정화되므로, 탄소함량이 증가함에 따라 FCC의 분율이 높아지는 것으로 알려져 있다. HCP는 FCC에 비해 낮은 수소확산계수를 가져 높은 수소취성 저항성을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러므로 HCP가 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금에서 높은 분율을 차지할수록 수소취성 특성에 유리할 것으로 예상된다. 그러나 기존 dual phase 고엔트로피 합금 연구에 따르면 HCP/FCC 계면은 crack initiation site으로 작용할 수 있어 HCP 분율이 너무 높을 경우 합금의 취성이 높아져서 수소침투와 관계없이 합금의 인성이 저하될 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 Co-Cr-Fe-Mn 합금의 HCP/FCC 상 분율이 수소분위기에서 합금의 인성에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위해 Co-20Fe-19Cr-18Mn-xC (x = 0, 0.2, 0.4) (wt.%) 합금을 L-DED로 제조하였으며 이 때 HCP/FCC 분율은 탄소 함량의 변화에 따라 74.8 %, 23.5 %, 2 % 로 감소함을 확인하였다. 제조된 합금의 미세조직 및 수소분위기에서의 인장특성을 분석하였다.

[P3-16]

3D 프린팅과 인베스트먼트 주조를 이용한 알루미늄 격자 구조의 제조: 이주영, 박지영, 이욱진*(부산대학교)

Keywords: 격자구조, 3D 프린팅, 인베스트먼트 주조

주기적으로 배열된 유닛 셀로 구성된 격자 구조는 높은 비강도, 강성, 에너지 흡수 능력 등 우수한 구조적 특성을 가져 항공우주, 자동차, 바이오 메디컬 등 다양한 공학 분야에서 폭넓게 활용된다. 그러나 이러한 구조는 복잡한 형상을 가지기 때문에 기존의 주조나 기계적 가공 공정으로 제작하는 데 어려움이 있다. 한 편, 3D 프린팅 기술을 통해서는 격자구조를 쉽게 제작할 수 있는데, 본 연구에서는 격자구조의 제작 기법의 한계를 극복하기 위해 3D 프린팅 기반 인베스트먼트 주조 공정을 적용하였고, 제작 가능성을 실험적으로 검증하였다. 격자구조의 제작을 위해 광경화 수지의 3D 프린팅으로 고정밀 희생 패턴을 제작한 후, 이를 이용해 금속 주조용 몰드를 형성하는 방식을 사용하였으며, 이와 같은 공정은 복잡한 형상을 금속재료의 직접 프린팅 없이 높은 정밀도로 구현할 수 있다는 장점이 있다. 설계한 공정의 적용 가능성 검토를 위해 알루미늄 합금의 진공주조를 통해 격자 구조를 제작하였다. 광경화성 수지를 선택적으로 경화시키는 디지털 광 처리기 방식을 이용해 격자 구조의 희생 패턴을 제작하였다. 제작된 패턴을 몰드 내부에 고정한 뒤 석고를 부어 굳힘으로써 셸 몰드를 형성하였다. 이후, 희생 패턴을 소각하여 남은 공공(cavity)에 용융된 AlSi7Mg 알

루미늄 합금을 진공 분위기에서 주입한 후, 용융 금속의 흐름성을 높이기 위해 1기압의 아르곤 가스를 투입하였다. 세 가지 다른 형태의 격자구조를 설계, 제작하여 주조된 알루미늄 격자구조의 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였다.

[P3-17]

직접용융증착법으로 제조된 IN939 합금의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성: 김영우(경상국립대학교), 김범준(GODTECH), 강호성 , 성예찬, 김정기*(경상국립대학교)

Keywords: Directed Energy Deposition, IN939, Heat treatment, Microstructure, Mechanical Properties

IN939 합금은 석출강화형 니켈기 초내열 합금으로 우수한 고온 안정성, 크리프 저항성, 내산화성을 가지므로 가스터빈 부품에 적합한 소재로 활용되고 있다. 그러나 고온의 극한환경에 장시간 노출되어 다양한 기계적 손상이 발생함에 따라 손상 부위에 대한 신속한 수리가 요구된다. 이에 복잡한 형상구현 및 빠른 공정속도의 장점을 가지는 Directed Energy Deposition(DED) 공정이 효과적인 수단으로 주목받고 있다. 특히 DED 공정 중 Direct Metal Tooling(DMT) 기법을 적용할 경우, 조형 과정에서 Molten Pool의 높이를 실시간으로 측정하고, Laser Power를 조절함으로써 목표한 치수 정확도에 안정적으로 도달할 수 있다. DED공정으로 제조된 IN939 합금은 후열처리를 통해 석출상을 정밀하게 제어하는 것은 가스터빈 부품 신뢰성 확보에 매우 중요하다. 하지만, DED 공정 기반 IN939 합금의 최적 열처리 조건 탐색에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 DED 공정 기반 IN939 합금의 최적화된 열처리 조건을 도출하고자 하였다. DED 공정으로 조형된 시편의 경우 1st Aging(840 °C, 850 °C, 860 °C)과 2nd Aging(740 °C, 750 °C, 760 °C)의 조합을 통해 총 9가지 조건을 설정하여 Aging을 진행하였다. 각 조건에 대해 미세조직 분석과 인장시험을 수행하였으며, Aging 온도 변화에 따른 석출 거동의 차이가 기계적 특성에 미치는 영향을 비교분석 하였다. 상기 결과를 통해 DED공정 기반 IN939 합금의 최적 열처리 조건 설정을 위한 방향성을 제시하고자 한다.

[P3-18]

직접용융증착법을 활용한 NiCr/IN738LC 경사기능재료 제조 시 공정변수 최적화: 정민재, 김정기*, 유현용, 감호성(경상국립대학교)

Keywords: Thermal Barrier Coating, Functionally Graded Materials, Directed Energy Deposition, Ni-Based Superalloy, Response Surface Methodology

Ni기 초내열합금의 모재에 단열 및 내열성이 우수한 세라믹 소재를 코팅하는 기술인 열차폐코팅 (Thermal Barrier Coating, TBC)은 산화 및 열피로 감소, 기판 내구성 증진을 통해 터빈 블레이드의 수명 연장에 기여한다. 그러나, 열차폐코팅을 적용한 블레이드는 열 산화물층의 불균일한 성장으로 인해 계면부에서의 박리가 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위한 방안으로 재료의 조성을 점진적으로 조절하여 연속적인 특성 변화를 구현하는 경사기능재료가 주목받고 있다. 본 연구에는 직접용융증착법(Directed Energy Deposition, DED)을 활용해 Layer별 분말 조성을 제어함으로써 NiCr과 Inconel738LC 기반의 경사기능재료를 제조하였다. 특히, 열차폐코팅의 접합층으로 사용되는 NiCr 합금에 대해 반응표면분석법 (Response Surface Methodology, RSM)을 적용하여 NiCr의 공정변수최적화를 수행하였으며, 이를 기반으로 IN738LC와 NiCr의 혼합비에 따른 경사기능재료의 Layer 별 적정 분말 분급속도를 설정하였다. 해당 실험을 통해 Ni기 초내열합금과 접합층 사이의 조성의 점진적인 변화를 갖는 경사기능재료를 제조함으로써 열 차폐-경사기능코팅의 구조 설계 및 제조를 위한 초기 조건을 확립하고자 하였다.

[P3-19]

Fe-6.5Si 합금의 LPBF 적층제조 공정 변수에 따른 미세조직 및 자성 특성 변화: 윤지상, 김연우(한국재료연구원), 배재웅*(국립부경대학교), 정재원(한국재료연구원), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)

Keywords: Fe-Si 합금, 적층제조, LPBF, 미세조직, 자기적 특성

Fe-6.5Si 합금은 낮은 철손, 우수한 투자율을 지닌 연자성 소재로, 고효율 모터 및 변압기 코어용 소재로 주목받고 있다. 그러나 높은 Si 함량(6.5 wt%)은 소재의 강도를 향상시키지만 압연성 및 가공성을 저하시켜, 2차원 코어용 강판은 물론 3차원 코어 제조도 어렵게 만드는 문제를 야기한다. 최근 이러한 한계를 극복하기 위하여 적층제조 공법, 특히 레이저 분말 베드 용융법(laser powder bed fusion, LPBF)을 Fe-Si 소재에 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해당 공정은 완전 용융을 수반하므로 Fe-Si강의 Si 함량 증가에 대한 한계를 극복 가능하며, 복잡형상 부품 제조에 대한 자유도가 높아 형상 최적화를 통해 우수한 성능과 경량화를 동시에 구현한 연자성 코어의 제조를 가능하게 만들어준다. 본 연구에서는 가스분사법으로 제조된 구형 Fe-6.5wt%Si 분말을 활용하여 서로 다른 LPBF 공정조건에서 시편을 적층 제조하고, 제조된 시편들의 공정-미세조직-자기적 특성 상관관계에 대한 분석을 진행하였다. 본 연구는 LPBF 공정으로 제조된 고Si 함유 연자성 소재의 성능 향상을 위한 미세조직 제어 및 공정최적화에 대한 기초 가이드라인을 제시한다.

[P3-20]

CP Ti-WC 복합재의 L-DED기반 레이저 클래딩 하드페이싱 특성 분석: 이승민(한국생산기술연구원, 부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

Keywords: 레이저 클래딩, 타이타늄-텅스텐 카바이드, 희석률, 미세조직, 기계적 특성

상업용 순수 티타늄(CP Ti)은 우수한 내식성, 생체적합성, 비강도 등의 특성으로 인해 항공우주, 의료, 화학 공정 산업 등 다양한 분야에서 현재 널리 활용되고 있다. 그러나 낮은 경도와 내마모성으로 인해 가혹한 사용 환경에서는 적용에 제약이 따른다. 특히 하드페이싱과 같이 표면의 기계적 성능이 중요한 분야에서는 기계적 손상과 표면 피로에 취약하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 티타늄 기반 금속 매트릭스 복합재(MMC)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그중 높은 경도와 강성을 갖는 텅스텐 카바이드(WC)를 강화재로 첨가한 복합재가 유망한 대안으로 제시되고 있다. 본 연구에서는 CP Ti(Grade 2) 기판 위에 CP Ti 분말과 WC

분말을 두 개의 호퍼를 이용해 동시에 공급하는 직접 에너지 융착(DED) 기반 레이저 클래딩 공정을 수행하였다. 레이저 파워, 스캔 속도, 분말 공급량, 혼합 비율 등 주요 공정 변수를 정밀하게 제어하여 다양한 조건에서 코팅을 제작하였다. 제작된 시편은 희석률(Dilution rate) 분석을 통해 최적 공정 조건을 도출하였다. 최적 공정 조건을 통해 제작된 시편은 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM/EDS), 전자후방산란회절(EBSD) 분석을 통해 미세조직 및 강화상 분포를 관찰하였으며, 비커스 경도 시험과 볼 온 디스크 마모 시험으로 기계적 성능을 평가하였다. WC 함량이 증가할수록 기지의 상 변화와 강화상 분포가 뚜렷하게 달라졌으며, 경도가 향상됨을 확인하였다. 그러나 내마모 특성은 코팅층 내 미용융된 WC 입자가 연마마모로 작용하여 COF 수치가 증가하였고, 그 결과 경도 향상에 비해 제한적으로만 개선되는 경향을 확인하였다. 본 연구는 CP Ti–WC 복합재의 하드페이싱 적용 가능성을 제시함과 동시에, 공정-미세조직-기계적 특성 간의 상관성을 관찰하고 최적 공정 조건 확보를 위한 기초 데이터를 제공한다.

[P3-21]

WAAM 기반 하이브리드 적층제조를 이용한 고순도 구리 적층층 형성 연구: 이영호*, 김재득, 윤석(한국원자력연구원)

Keywords: 하이브리드 적층제조, 와이어 아크 적층제조, 사용후핵연료, 처분용기, 무산소동

국내 사용후핵연료 처분용기는 내부 주철용기와 외부 구리용기로 구성된 이중구조로 제안되어 있다. 그러나 국내 원전발전이 시작된 이후 사이트 내 습식저장고에 보관되어 있는 사용후핵연료의 수량을 고려할 때 다수의 처분용기가 필요하므로, 처분 경제성 및 안전성 확보를 위한 새로운 개념의 처분용기 제작방식 연구가 진행중이다. 본 연구에서는 이중구조의 처분용기 대신 내부 주철용기 외면에 고순도 구리층이 형성된 적층제조 기반 처분용기 제작에 있어, 처분환경 내 우수한 부식저항성을 가지는 고순도 구리층 형성 방법을 검토하였다. 일반적으로 주철 외면에 무산소동이 적층될 경우 구리-주철 계면에서 철과 구리가 상호 희석되므로 부식저항성 확보에 필요한 고순도 구리층은 이러한 희석을 저감시켜야 하지만 적층공정 중 이를 개선할 수 있는 방법은 없다. 그러나 구리 내 철의 고용도가 낮고 용융 후 응고거동의 차이로 인해 구리 적층층 상부에 철이 집중적으로 잔류하는 점을 고려하여, 적층 단계별로 구리층 상부를 밀링 등의 가공공정을 적용한 하이브리드 적층제조를 수행하여 고순도 구리층 확보 가능성을 평가하였다. 형성된 구리층 상부를 약 30% 정도 연삭가공하여 반복적으로 구리층을 적층한 결과로부터 주철 모재로부터 희석된 철의 함량이 급격히 감소함을 확인하였다. 이상의 결과를 바탕으로 2~3차 정도의 구리 적층 및 표면가공으로 얇은 두께의 고순도 구리층 확보가 가능함을 확인하였다.

[P3-22]

Optimization of mechanical properties on additive manufactured 18Ni-maraging steel via dual-step aging treatment: Sung Hwan Hong*, Hae Jin Park, Ki Buem Kim(Sejong University), Jaiyoung Cho(Hankook Tire & Technology Co., Ltd.)

Keywords: Maraging steel, Additive manufacturing, aging treatment, mechanical properties

Additive manufacturing (AM) is an advanced technology used for the manufacture of products that have intricate shapes and complex inner geometries. In commercial metallic material field, various metallic materials have been investigated to use AM processing. The microstructural features such as grain size and precipitates will differ profoundly from those obtained by casting, heat treatment and forming processing, which resulted from the rapid heating and cooling rates during AM. Therefore, the evolution in microstructure of metallic materials fabricated AM with post-treatment can give an opportunity to discover the enhanced mechanical properties of the metallic materials. In this study, the maraging steel powder with mean particle radius of 36 μm have been used in AM experiment. The specimens with bulk cuboidal shape were fabricated with the optimized laser power and scanning rate conditions. The as-built specimens were composed of α' martensite phase in applied AM condition. The density of as-built specimens reached ~ 8.03 g/cm^3, which is almost similar to the full density of maraging steel. The as-built specimens were aged at two different temperatures to form nanoscale precipitates in the α' martensite matrix. From the systematic microstructural analysis, it was found that the formation of nanoscale precipitates and its volume fraction depend on the aging temperature and time. After single aging treatment at 733 K exhibited Ni_3Ti type nano-precipitates. On the other hand, the specimens aged at two different temperatures contained two types of nano-precipitates. The microstructural evolution achieved by two-step aging treatment revealed an improved mechanical properties than the specimen aged by single aging treatment. Moreover, the processing time for aging treatment was reduced by two-step aging treatment. From these results, it is suggested that the optimized microstructure and mechanical properties of 18Ni-maraging steel can be achieved by modulating the aging treatment condition.

[P3-23]

하이브리드 적층 제조를 위한 밀링 공정의 비파괴적 건전성 평가 연구: 김효규*, 한동운, 최동진, 김성탁(한국생산기술연구원)

Keywords: 하이브리드 적층제조, 밀링 공정, 비파괴 평가, AE 신호

하이브리드 금속 3D 프린팅 기술은 적층 제조와 절삭 가공을 결합하여 고품질의 금속 부품을 생산하는 혁신적인 공정이다. 본 연구는 이 공정의 핵심 단계인 밀링 공정의 건전성을 실시간으로 평가하기 위해 음향 방출(Acoustic Emission, AE) 신호 분석을 활용하는 방법을 제안한다. 스핀들 축에 부착된 AE 센서를 통해 밀링 공정 중 발생하는 AE 전압 신호를 측정하였으며, 이 신호를 단시간 푸리에 변환(STFT) 기법을 사용하여 주파수 영역에서 분석하였다. 밀링 전후의 AE 신호 특성 변화를 비교함으로써, 공구 마모, 가공 진동 등 공정 이상에 따른 신호의 변화를 명확히 파악할 수 있었다. 이를 통해 AE 신호가 하이브리드 금속 3D 프린팅 공정의 밀링 상태를 진단하고, 궁극적으로 최종 부품의 품질을 예측하는 데 효과적인 도구임을 입증하였다. 본 연구는 AE 신호 분석을 기반으로 한 스마트 공정 모니터링 시스템 구축에 기여할 것으로 기대된다.

[P3-24]

표준 열처리 조건 적용에 따른 L-PBF 및 가공재 IN718 합금의 고온 기계적 특성 및 미세조직 평가: 외하은(한국생산기술연구원, 경희대학교), 이승호, 김영경(한국생산기술연구원, 한양대학교), 안소희, 윤종천*(한국생산기술연구원), 이빈*(경희대학교)

Keywords: IN718, recrystallization, heat treatment, anisotropy, mechanical properties

Laser Powder Bed Fusion(L-PBF) 공정은 높은 설계 자유도와 정밀도를 바탕으로 복잡한 형상의 금속 부품을 제조할 수 있는 적층 제조 기술로, 고온에서도 우수한 강도와 피로 저항성, 내식성을 갖는 초내열합금 Inconel 718(IN718)의 제작에도 폭넓게 활용되고 있다. L-PBF로 제조된 IN718은 이방성의 원인이 되는 columnar grain을 가지며, 빠른 냉각속도로 인해 미세한 cellular-dendritic microsctructure를 형성한다. L-PBF의 빠른 응고 과정 중 수지상 계면과 입계에 Nb이 편석되어 Nb-rich region이 형성되고, 적층 제조 동안 지속적으로 발생되는 열사이클에 의해 취성상인 Laves상이 석출되어 강도와 연성 등 기계적 특성을 저하시킨다고 보고된다. 따라서 고온 환경에서의 기계적 특성을 향상시키기 위해서는 적절한 후열처리 공정이 필수적이다. 본 연구는 IN718합금에서 주로 활용되는 두 개의 표준 열처리 규격으로 열처리를 수행하여 두 열처리에 따른 미세조직을 평가하고 고온(650°C) 인장시험을 통해 조직과 물성의 상관관계를 분석하고자 한다. 또한, L-PBF로 제작된 IN718 소재의 고온 기계적 특성을 개선하기 위한 열처리 방안을 제안하고자 연구하였다.

[P3-25]

대기 주조 유도용해 공법(Induction melting)으로 제작한 3D 프린팅 분말용 Maraging 300 합금의 청정도 및 건전성 평가 : 김용근, 이민숙, 최재영*(HVM)

Keywords: Mar300, 대기용해, 재자원화, 재활용, 3D 프린팅용 소재

본 연구에서는 Maraging 250(Mar250) 폐 금형 및 Maraging 300(Mar300) 폐 스크랩을 활용하여 대기 주조 유도용해(Induction Melting, IM) 공법으로 3D 프린팅 분말용 Mar300 합금을 제작하고 청정도 및 건전성을 평가하였다. Mar250과 Mar300의 조성차를 보완하기 위해 Co와 Ti를 추가하여 목표 조성을 만족하는 합금을 제조하였으며, 제작된 잉곳의 화학적 균일성 분석을 위해 Spark-OES, ICP, 분석을 수행하였고, 불순물 관리를 위해 C/S, N/O 분석을 수행하였다. 미세조직 관찰, 개재물 및 기공 분석을 통해 건전성 평가를 수행하였으며, 편석 분포에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과, IM 공정으로도 Ti 원소를 제외한 C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, Co 등의 Mar 300 조성 달성이 가능한 것을 확인하였으나, 휘발성이 강한 Ti, Al 성분의 편차와 개재물에 의한 결함을 보완하기 위한 공정 최적화의 필요성이 대두되었다. 본 실험을 통해 폐자원 활용을 통한 Maraging 강의 재자원화 가능성을 입증하였으며, 3D 프린팅 분말용 소재 확보 및 비용 절감을 이루는 초석을 다질 수 있게 되었다.

[P3-26]

L-PBF 공정조건에 따른 Ti-6Al-4V ODS 합금의 미세조직 변화 및 Ti64 대비 기계적 특성: 강동욱, 박창수, 박형기, 문인용, 송영환*(한국생산기술연구원)

Keywords: L-PBF, Ti-6Al-4V, Oxide Dispersion Strengthened

Ti-6Al-4V(Ti64) 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성을 바탕으로 항공우주, 바이오 임플란트, 에너지 산업 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다. 그러나 고온 환경에서의 결정립 성장, 강도 저하 및 피로 특성의 한계로 인해 고온 및 장시간 안정적인 구조재의 적용에는 제약이 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 산화물 분산강화(Oxide Dispersion Strengthened, ODS) 기술이 적용될 수 있으며, 나노미터크기의 미세한 산화물 입자가 균일하게 분산될 경우 결정립의 성장 억제와 전위 이동의 방해를 통해 고온 안정성을 향상시킬 수 있다. 특히, Ti64의 적층제조 공정에 ODS 기술이 적용될 경우 Layer간 재가열로 인해 발생하는 결정립 성장을 억제하여 기존 Ti64 대비 미세한 결정립을 형성할 수 있어 더 우수한 기계적 성능 확보가 가능할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 Y_2O_3를 Ti64분말 내부에 각각 0.5 wt.%, 0.8 wt.%의 분율로 분산시킨 분말을 대상으로 L-PBF 공정조건의 변화가 미세조직 형성에 미치는 영향을 분석하였고, L-PBF 공정으로 제작된 Ti64 합금과의 기계적 특성을 비교하였다. 연구에서는 Laser power와 Scan speed를 변수로 에너지밀도의 범위를 조절하였고, 이에 따른 상대밀도 변화를 비교하였다. 또한 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), 에너지 분산형 분광기(EDS), 전자후방산란회절(EBSD)을 통해 미세조직을 관찰하여 내부 기공, 산화물 입자의 분포와 크기 및 α' 마르텐사이트 형성과 미세조직의 변화를 비교하였다. 또한 경도 및 인장 시험을 통해 Ti64 ODS와 Ti64 시편의 기계적 특성을 비교하였다.

[P3-27]

In-situ 가스 분무 및 스파크 플라즈마 소결로 제조된 산화물 분산 강화 Ti-6Al-4V 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 대한 Y_2O_3 함량의 영향: 임현태, 곽륜호, 박성민, 박창수, 박형기*(한국생산기술연구원)

Keywords: Ti-6Al-4V, Y_2O_3, 산화물 분산 강화 (Oxide dispersion-strengthened), 스파크 플라즈마 소결 (Spark plasma sintering), In-situ 제조 (In-situ fabrication)

본 연구에서는 in-situ 가스 분무법과 스파크 플라즈마 소결법 (SPS)을 이용하여 제조된 산화물 분산 강화 (ODS) Ti-6Al-4V (Ti64) 합금의 미세조직과 기계적 특성을 연구하였다. 진공 아크 재용융법 (VAR)을 이용하여 0.5, 1, 2 wt%의 Y_2O_3를 함유하는 ODS Ti64 합금의 로드 잉곳을 제조하고, 이어서 전극 유도 용융 가스 분무법 (EIGA)을 이용하여 분말을 제조하였다. ODS Ti64 분말은 구형을 나타내었으며, 40 nm 미만의 미세한 Y_2O_3 입자가 분말 내에 균일하게 분포되어 있었다. 이후, 이 분말들을 SPS로 소결하였는데, 이때 Y_2O_3를 첨가함으로써 소결 시작 온도가 증가하였다. 소결 중 Y_2O_3 입자의 조대화가 발생했지만, 80nm 미만의 크기를 유지했고, 소결체 내에 균일하게 분산되어 입자 성장을 효과적으로 억제하고 입자 크기를 감소하였다. 기계적 물성 평가 결

과, Y_2O_3 함량이 증가함에 따라 경도와 압축 강도가 모두 향상되었다. 압축 시험 결과, 1 wt% Y_2O_3를 함유한 ODS Ti64 합금은 기존의 Ti64 합금과 유사한 연성을 유지하면서 강도가 크게 향상되었다. 반면, 2 wt% Y_2O_3를 함유한 ODS Ti64 합금은 연성이 감소했다. 전반적으로, 본 연구는 in-situ 가스 분무 및 SPS를 통해 미세 분산된 Y_2O_3 입자를 갖는 ODS Ti64 합금의 성공적인 제조를 확인하였다. 특히, 1 wt% Y_2O_3를 첨가하면 강도, 경도, 연성의 균형이 최적화되었다.

[P3-28]

산화물 분산 강화 Ti-6Al-4V 합금의 in-situ 분말 제조 및 소결 거동 분석: 임현태, 곽륜호, 박성민, 박창수, 박형기*(한국생산기술연구원)

Keywords: Ti-6Al-4V, Y_2O_3, 산화물 분산 강화 (Oxide dispersion-strengthened), 스파크 플라즈마 소결 (Spark plasma sintering), 활성화 에너지 (Activation energy)

산화물 분산 강화 (ODS) Ti-6Al-4V (Ti64) 합금은 In-situ 분말 제조 및 스파크 플라즈마 소결 (SPS) 공정을 통해 개발되었다. In-situ 분말 제조는 열역학 계산을 통해 설계된 In-situ 가스 분무 공정을 이용하여 의도적으로 Ti64 분말 내부에 나노 크기의 Y_2O_3을 균일하게 분산시켰다. 이 공정은 가스분무법의 장점과 기계적 합금화법의 장점을 결합하면서도 각각의 단점을 동시에 해결하였다. ISM 장비를 이용하여 Ti64 + 1 wt% Y_2O_3 (Ti64/1Y_2O_3) 조성으로 용해하여 로드 잉곳을 주조하였고, 제조된 로드 잉곳으로 가스분무법을 이용하여 분말을 제조하였다. 분말은 기존 기계적 합금화법으로 제조된 분말과 달리 분말 표면이 아닌 분말 내부(Ti64 합금 기지 내)에 나노 크기의 Y2O3가 균일하게 분포되어 있었다. Ti64/1Y_2O_3 분말을 SPS 공정으로 소결하여 소결 거동 분석 및 복합재를 제조하였다. Ti64/1Y_2O_3 분말은 소결 수축의 시작과 끝이 기존 Ti64 분말보다 높은 온도에서 발생했기 때문에 순간 상대 밀도가 낮았다. 두 분말 모두 가열 속도가 증가함에 따라 순간 밀도화 속도가 증가했다. 반면, 분산된 Y_2O_3가 입자 성장을 억제했기 때문에 소결 중 Ti64/1Y_2O_3 분말의 순간 밀도화 속도가 비교적 느렸다. 상대 밀도와 밀도화 속도의 결과에 기반하여 도출한 활성화 에너지 값은 Ti64/1Y_2O_3 분말에서 더 높았다. Ti64/1Y_2O_3 분말은 분말 내부에 분산된 Y_2O_3로 인해 소결 시 에너지 장벽을 극복하기 위해 더 높은 활성화 에너지 (Q) 값이 필요하다는 것이 확인되었다.

[P3-29] Canceled

반도체 공정 인라인 가스필터 제조용 STS 분말 표면 개질을 위한 플라즈마 공정 최적화 연구: 성준규(한양대학교, 한국생산기술연구원), 안치성*(한국생산기술연구원)

Keywords: 수분사법, 비정형 분말, 산화막, 표면개질, 플라즈마

인공지능(AI) 수요에 따른 고대역폭 메모리(HBM) 등 첨단 반도체 제조를 위한 초미세 공정 중 발생하는 미립자들의 혼입은 칩의 패턴 결함을 유발하는 등 수율 저하의 주요 인자로 작용하므로 공급 가스의 불순물 제거 기술이 필수적이다. 특히, 반도체 공정용 가스 필터는 불순물 유입을 사전에 차단하여 불량률 저감 및 품질 균일도를 향상시키는 핵심 부품으로 여겨지고 있으나 대부분 수입되고 있으며 일부 국산화 된 필터의 경우에도 원료 분말은 전량 해외에 의존하고 있어 부품 자립화를 위한 원천 소재 제조 공정 기술 내재화가 필요하다. 한편, 수분사법 (Water Atomization)은 용해된 금속을 고속의 물 분사로 냉각/응고시켜 분말을 제조하는 공정으로 비정형 금속 분말을 제조하는데 유리하며 미세한 입자 크기 분포를 지니는 STS 및 합금 분말을 상대적 저비용으로 생산 가능하다는 장점을 지니고 있어 반도체 인라인 가스필터 제조를 위한 원료 분말 합성 기술로 주목을 받고 있다. 하지만, 분말 제조 과정에서 기인하는 Cr-Rich 산화층은 가스필터 및 케이스 용접 과정에서 불량을 유발하므로 이를 효과적으로 제어하기 위한 분말 표면 개질 기술 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 수분사법으로 제조한 비정형 Rod-like STS 316L 분말의 산화막 제거를 위해 회전형 챔버 모듈을 적용한 수소 플라즈마 공정을 활용하였으며, 기존 분위기 가스를 활용한 환원 열처리 공정과의 효율성을 비교하기 위해 분말 내 산소함량 변화를 정량적으로 관찰하였다.

[P3-30]

LPBF 공정으로 적층제조된 AlSi10Mg 합금의 적층방향과 적층높이에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화: 이승연, 박하음, 이승용, 유지훈(한국재료연구원), 손석수(고려대학교), 박정민*(한국재료연구원, 고려대학교)

Keywords: LPBF, AlSi10Mg 합금, 적층방향, 적층높이, 미세조직, 기계적 물성

AlSi10Mg 합금은 레이저 분말 베드 용융(laser powder bed fusion, LPBF) 공정에서 널리 활용되는 대표적인 알루미늄 합금으로, 우수한 적층성과 LPBF 공정으로 유도된 계층적 불균질 미세조직을 통해 기존 주조 및 단조 합금 대비 우수한 기계적 성능을 발현하는 것으로 알려져 있다. 특히, LPBF로 제조된 AlSi10Mg 합금의 계층적 불균질 미세조직의 핵심인 나노셀 조직은 높은 전위밀도와 함께 나노 Si상을 함유하고 있어, 변형 도중 추가적인 전위의 이동을 효과적으로 방해하고 강도와 연신율 향상에 중요한 역할을 하는 것으로 알려진다. 한편, LPBF 공정으로 제조되는 조형체는 적층방향과 적층높이에 따라 기계적 물성이 달라지는 것으로 알려진다. 즉, 해당 소재에 대한 LPBF 공정 적용을 통한 대형 부품 제조를 위해선 우수한 기계적 물성을 확보할 수 있는 최적의 적층방향을 설정하는 것이 중요하다. 그러나, 현재까지 LPBF 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 적층방향과 적층높이에 따른 기계적 물성 변화와 이에 대한 미세조직학적 원인 규명에 대한 연구는 아직까지 거의 이루어지지 않은 상황이다. 이에 본 연구에서는 서로 다른 적층방향으로 제조된 AlSi10Mg 합금 조형체에 대해 적층높이에 따른 미세조직 변화와 기계적 특성 변화를 분석하였다. 해당 분석 결과, 일정 적층높이 이상에서 경도와 강도가 감소하는 현상을 관측 가능했으며, 이는 미세조직이 조대화되는 것에 기인함을 확인하였다. 해당 결과는 적층높이에 따른 열이력 차이가 미세조직 및 기계적 성능에 직접적인 영향을 미친다는 점을 보여준다. 본 연구는 LPBF 공정을 통한 알루미늄 합금 기반 대형 경량 부품제조를 위한 공정설계 전략 수립의 기초자료로서 활용 가능할 것이라 기대된다.

P4 : 고엔트로피합금
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P4A-1]
V 첨가에 따른 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 미세조직 및 고온물성 변화 연구: 권민철, 박강현, 최순원(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 심상훈, 임가람(한국재료연구원 극한재료연구소), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)
Keywords: High Entropy alloys, L21 precipitate, Compressive test, High temperatures, Coherent interface

Fe기반 합금에서 L21-Ni2TiAl 구조의 석출상의 형성은 고온에서 우수한 강화효과를 가진다는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 L21 구조 석출상의 격자상수가 Fe 기지상의 격자상수보다 크기 때문에 큰 격자 불일치도를 나타낸다. 이는 Pipe 확산을 유도할 수 있는 반정합 석출상이 형성될 수 있으므로 고온 물성 개선을 위한 계면구조 제어가 요구된다. 실제로, 이전 연구에서는 Al 함량에 따라 격자 불일치도를 제어하였고 정합 계면을 형성할 때 가장 우수한 고온 인장강도를 보고하였다. 그러나, 높은 함량의 Al은 재료의 취성을 야기시키기 때문에 Al을 대체할 수 있는 방법이 필요하다. V의 경우 L21-Fe2VAl 석출상을 형성시킬 수 있다고 보고되었으며, V은 Ti보다 작은 원자반경을 갖기 때문에 V를 Ti로 부분적으로 대체하면서 석출상의 격자상수 및 격자 불일치도를 제어할 수 있다고 보고되었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 반정합 L21-Ni2TiAl 석출상을 형성한 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 합금에서 Ti를 V로 부분적으로 대체하여 두 상 사이의 격자 불일치도를 제어하고 이를 통해 미세조직적 변화 및 고온 물성 평가를 수행하고자 하였다. 구체적으로, Fe-Cr-Ni-Al-Ti(4-x)-Vx (X=0, 1, 2, 3, at %) 조성을 갖는 합금을 진공 아크 용해 및 흡입주조로 제작되었으며, 주사전자현미경, 고온 압축시험을 통해 미세조직 분석과 고온 물성을 평가하였다. 이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원 연구비 지원에 의한 연구임 (P0022331)

[P4A-2]
UNSM 공법을 적용한 Co-Cr-Fe-Ni-Mo 고엔트로피 합금의 잔류응력 형성과 초극저온 기계적 거동 분석: 임현빈(국립공주대학교), 이재홍, 하수빈, 김형섭(포항공과대학교), 문종언*(국립공주대학교, 첨단분말소재부품센터)
Keywords: 초극저온 환경, 고엔트로피 합금, UNSM, 잔류응력

초극저온 환경은 수소 에너지, 극지 항로, 우주항공 산업에서 필수적이나 기존 구조용 소재는 극저온 변형 불안정과 DBTT 등으로 한계가 있다. 본 연구에서는 Co-Cr-Fe-Ni-Mo 고엔트로피 합금에 UNSM (초음파나노표면개질)을 적용하여 미세조직 변화와 4.2 K 온도에서의 기계적 특성에 대해 조사하였다. SEM 및 XRD 분석을 이용한 미세조직 및 잔류응력 측정 결과, 합금의 표면부로 갈수록 강한 압축 잔류응력이 남았으며 결정립이 미세화되었다. UNSM 공정으로 인한 높은 표면 잔류응력과 미세조직의 구배는 초극저온 기계적 강도를 향상시켰으며, 변형유기상변태로 인한 우수한 가공경화율과 연성을 가졌다. 또한, UNSM 공정은 본 합금의 극저온 변형과정에서의 변형 불안정과 미세조직 변화에도 영향을 미쳤다. 본 연구에서의 UNSM 처리를 통해 초극저온 환경에서의 고강도 확보와 동시에 변형 불안정성을 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

[P4A-3]
배터리케이스용 Ni 도금강의 미세조직 및 집합조직에 따른 전기화학적 부식 특성: 이정민, 임현빈, 박강현, 최순원(국립공주대학교),문종언*(국립공주대학교,첨단분말소재부품센터(CAMP2))
Keywords: 니켈 도금강, 배터리케이스, 집합조직, 내부식성

최근 전기자동차 산업에서 배터리 안전성을 확보하기 위해 고신뢰성 배터리케이스 소재 개발에 대한 수요가 증가하고 있다. 본 연구에서는 딥드로잉 성형된 Ni 도금강의 열처리 조건에 따른 미세조직/집합조직의 변화와 부식 거동의 차이에 대해 조사하였다. 본 연구의 Ni 도금강은 주사전자현미경을 통해 도금 두께 및 도금층과 강재 계면의 화학적 조성을 분석하였으며, EBSD 분석을 통해 도금강의 배향과 집합조직 분석을 수행하였다. 또한, 3.5 wt% NaCl 용액 하 동전위 분극 시험을 수행하여 부식 거동을 평가하였으며, XPS 분석을 통해 도금강 표면의 형성된 산화막을 분석하고 부식 미세조직을 확인하였다. 평가 결과, 특정 결정방위가 우세하고 두꺼운 도금층을 가진 시편에서 비교적 우수한 내식성을 가졌다. 본 연구를 통해 전기자동차용 배터리케이스의 열처리 조건을 최적화하여 내식성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P4A-4]
전기음성도 차이를 고려한 고항복강도 CrCoNi 중엔트로피 합금 설계: 정회윤, 이제인*(부산대학교)
Keywords: High-entropy alloys, Solid-solution strengthening, Electronegativity difference

FCC계 CrMnFeCoNi계 고엔트로피 합금은 77 K에서 상온 대비 적층결함에너지가 낮아짐에 의해 나노쌍정이 형성되어 강도와 연신율이 증가됨이 보고된 이후로 고엔트로피 합금의 적층결함에너지를 제어하는 연구가 주목받게 되었다. 그러나, FCC 단상을 갖는 CrMnFeCoNi 5원계 고엔트로피 합금의 항복강도는 STS304 또는 STS316과 같은 스테인리스 강과 유사한 수준이다. 최근, 4주기 전이 금속 원소를 구성 원소로 갖는 고엔트로피 합금의 고용강화 정도와 전기음성도 차이가 선형적인 관계를 보임이 보고된 바 있다. 본 연구에서는 CrMnFeCoNi 5원계 고엔트로피 합금 대비 항복강도가 높다고 알려진 CrCoNi 3원계 중엔트로피 합금의 조성비를 제어하여 고항복강도를 갖는 신합금을 설계하고자 하였다. 구체적으로 FCC 단상을 갖는 CrCoNi 합금들의 전기음성도 차이 및 FCC와 HCP 상간의 자유에너지 차이를 계산하여 항복강도 및 변형 기구를 예측하였다. 선정된 합금들을 다양한 조건에서 열처리를

진행한 후 상온에서의 인장시험을 통해 항복강도, 인장강도, 연신율을 확인하였다. 이후, Hall-Petch 관계식의 σ_0를 구해 FCC 기지의 고용강화 정도를 확인하였다. 또한, 77, 200 K의 극저온에서의 인장시험을 통해 적층결함에너지가 낮아짐에 따른 변형 기구의 변화가 재료의 기계적 물성에 미치는 영향을 확인하였다. 본 연구를 통해 고항복강도를 갖는 FCC계 CrCoNi 합금을 설계하였고, 극저온 환경에서 구조재료로써 활용될 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

[P4A-5]

Cr 첨가에 따른 MoNbTi 내열 엔트로피 합금의 고온 산화 거동 연구: 신승환, 이강진(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

Keywords: Key word : Refractory High Entropy Alloys, Oxidation resistance, High temperature

내열 엔트로피 합금(Refractory Entropy Alloys, REAs)은 Senkov에 의해 보고된 합금 설계 방식으로 W, Mo, Ta, Nb 등과 같은 고융점 원소로 구성되어 고온에서 높은 용융점과 우수한 기계적 특성을 갖는 내열 소재로서 주목받고 있다. 그러나 내열 고엔트로피 합금은 고온 환경에서 제한된 산화저항성으로 인해 기계적 특성 저하 및 표면 열화가 발생하여 장기간 사용 수명에 한계를 가진다. 최근, 이를 개선하기 위해 Al, Cr, Si와 같은 원소를 첨가하여 Al_2O_3, Cr_2O_3, SiO_2등의 보호 산화 층을 형성함으로서 통해 내산화성을 향상시킨 연구가 보고되고 있다. 대표적으로 $MoNbVTa_{0.5}Cr_x$ 합금에서 Cr 함량 조절을 통해 $CrTaO_4$ 및 $CrNbO_4$ 와 같은 복합산화물 기반의 보호 산화층을 형성하고, 이를 통해 산화저항성을 크게 향상시킬 수 있다고 보고되었다. 더 나아가, 첨가 원소의 함량 조절을 통해 보호 산화 층의 두께, 구성 산화물 조성 및 구조를 최적화하여 산화저항성을 향상시킬 수 있다고 보고되었다. 본 연구에서는 MoNbTi 내열 엔트로피합금에 Cr을 첨가하여, 합금의 산화 거동에 미치는 영향을 이해하기 위한 연구를 진행하였다. 1000 ℃에서 1 ~ 24 시간 산화 시험을 진행하였으며, 산화 전 후 중량 변화를 통해 산화 저항성을 평가하였다. 합금 표면에 형성된 산화층 분석은 주사전자현미경(SEM), X선 회절 분석기(XRD)를 통해 산화 후 합금의 미세조직을 분석하였다. This work was supported by Korea Planning & Evaluation of Industrial Technology (KEIT) funded by Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE, Korea) (RS-2024-00436523), This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy ((P0018009).

[P4A-6]

$Al_{0.5}CoCr_{(1-X)}Fe_{(1+X)}NiTi_{0.1}$ 고엔트로피 합금의 Cr 함량 제어에 따른 부식 특성 변화 연구: 최순원, 박강현, 이정민, 문종언, 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

Keywords: high-entropy alloys, precipitation, passive films, corrosion resistance

발전소 터빈 및 해양 발전소에 사용되는 금속 재료는 고온·고압 및 염분이 높은 부식 환경과 같은 극한 조건에 노출되므로 우수한 내식성과 기계적 강도가 필수적으로 요구된다. 기존에 널리 활용되는 스테인리스강이나 Ni 기반 초합금은 내식성이 우수하지만, 고온·고압 환경에서의 성능 저하와 높은 제조 비용이라는 한계를 가진다. 이러한 이유로 이를 대체할 수 있는 새로운 소재가 꾸준히 모색되고 있으며, 대표적인 예가 고엔트로피 합금(HEAs)이다. HEA는 높은 조성 설계의 자유도를 바탕으로 우수한 기계적 특성과 더불어 내식성까지 확보할 수 있는 잠재력을 지니고 있어 차세대 합금 설계 전략으로 대두되고 있다. 그러나 현재까지 보고된 HEAs의 경우, 합금의 내식성이 기존 산업용 소재를 완전히 대체하기에는 여전히 부족한 수준으로 평가되고 있다. 이에 따라 내식성을 향상시키기 위한 다양한 접근법이 제시되고 있는데, 대표적으로 Cr과 같은 부동태 산화막 형성 원소의 첨가나 석출상의 크기 및 분율 제어가 있다. 그러나 이러한 인자가 HEAs 합금의 부식 특성에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 아직 미흡하다. 따라서, 본 연구에서는 $L2_1$ 석출상을 형성하여 고온 및 극저온과 같은 극한 환경에서 우수한 기계적 물성을 나타내는 $Al_{0.5}CoCrFeNiTi_{0.1}$ 합금을 대상으로, Cr 함량 조절 및 열처리에 따른 미세조직 변화와 부식 특성에 미치는 영향을 체계적으로 연구하고자 한다. 구체적으로 X선 회절분석(XRD), 주사전자현미경(SEM), 전기화학 계측기(Potentiostat), 광전자분광분석(XPS) 등을 활용하여 상 구조 및 미세조직 분석과 부식 저항성 평가를 통해 연구하고자 한다. This work was partly supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE, korea)(P0022331), This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy ((P0018009).

[P4A-7]

Ti-Zr-Hf-Ta-Mo 준안정 내열 고엔트로피 합금의 기계적 변형 거동 연구: 허민의, 정윤종, 이강진(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터), 이찬호(The University of Auburn), 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

Keywords: Refractory High-Entropy Alloy, Phase Transformation, Grain Size, Microstructure, Mechanical Properties

준안정 내열 고엔트로피 합금은 상 안정도를 조절하여, 변형이 진행됨에 따라 상변태 및 쌍정을 발생시킴으로써 연성을 향상시킬 수 있는 합금이다. 준안정 내열 고엔트로피 합금은 고온 강도에서 우수한 특성을 보이는 단상 내열 고엔트로피 합금이 상온에서 취성 거동을 나타내는 한계를 극복하기 위한 합금 설계 전략으로 주목받고 있지만, 대부분은 TiZrHfNb 및 TiZrHfTa 조성에만 연구가 집중되어져 있다. 따라서 제한적인 조성에서 벗어나고자 BCC 안정화 원소인 Mo를 소량 첨가하여 $Ti_{30}Zr_{30}Hf_{30}Ta_{10-x}Mo_x$ (x=0, 1, 2)의 새로운 합금조성을 설계하였다. 이전 연구에서 $Ti_{30}Zr_{30}Hf_{30}Ta_9Mo_1$ 합금의 경우 가장 활발한 변형유기상변태가 발생되었지만, 결정립 크기가 매우 조대하여 여러 결정면에서의 상변태 거동을 정밀하게 관찰하기에는 한계가 있었다. 본 연구에서는, 변형유기상변태가 발생하는 $Ti_{30}Zr_{30}Hf_{30}Ta_9Mo_1$ 조성으로 결정립 미세화를 유도하여 결정립 크기에 따른 상변태 거동에 대해서 분석해보고자 하였다. 이를 위해 주사전자현미경(SEM), 후방 산란 전자회절패턴분석(EBSD), 상온 인장 시험(Tensile Test) 및 중성자 회절 시험

(Neutron Diffraction)을 통하여 $Ti_{30}Zr_{30}Hf_{30}Ta_9Mo_1$ 합금에서 미세조직 및 기계적 거동에 대해 체계적인 연구를 진행하였다. This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy(P0018009). This work was supported by National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(MIST, Korea) (RS-2023-00281671).

[P4A-8]

DLC/HEA/Al 코팅 시스템에서의 gradient-C structured buffer layer를 통한 밀착력과 마찰마모 성질 향상: 이상원, 손석수*(고려대학교), 김영목(한국과학기술연구원)

Keywords: 고엔트로피 합금, 마찰, 마모, DLC 코팅

Diamond-like coating (DLC)는 비정질 탄소 기반 박막으로 연삭마모와 응착마모 모두에 저항성이 우수하여 경량화 및 고방열특성이 요구되는 Al 부품 등의 다양한 부품 보호용으로 사용된다. 그러나 DLC와 Al 기판은 큰 경도차이로 인한 낮은 적합성으로 완충역할을 할 buffer layer가 필요하다. Sputtering 증착된 FCC HEA는 안정적 고용체 형성과 높은 경도, 인성의 특성을 가져 buffer layer로 적합하다. 본 연구에서는 DLC/HEA/Al의 코팅 시스템에서 높은 밀착력을 확보할 수 있는 방안으로써의 gradient DLC/HEA 시스템을 개발하였다. HEA sputtering 과정중에 C2H2gas를 점진적 농도구배로 주입하여 DLC/HEA의 연속된 계면을 형성하였다. Gradient 구조를 도입하지 않은 DLC/HEA 코팅의 경우 Pico-indentation hardness 측정 결과 HEA와 DLC 계면에서 불연속적인 경도값을 보였던 반면, gradient DLC/HEA 코팅은 계면에서 연속적인 경도 구배를 보였다. 같은 조건의 마모시험에서 COF는 약 10%, wear volume은 약 30% gradientDLC/HEA가 더 낮은 값을 보여 우수한 마찰마모 특성을 보였다. 이러한 우수한 특성은 gradient HEA 구조에서 결정질 HEA와 DLC 사이에 탄소 변화로 인해 형성된 비정질 HEA가 추가적인 buffer layer로 역할함에 기인하였다.

[P4A-9]

Mo 첨가에 따른 in-situ TiC 강화 NbTaVTi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 특성: 유형규, 최혁재, 이진규*(국립공주대학교)

Keywords: 하이엔트로피, Nb-Ta-V-Ti-Mo, 기계적합금화, 방전플라즈마소결

현대 산업에서 고온 구조재료에 대한 수요가 증가함에 따라, 특히 항공우주 및 방위산업과 같은 극한 환경에서도 안정적인 내열성능을 발휘할 수 있는 고엔트로피 소재 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근 연구에 따르면, NbTaVTi 기반 HEAs는 단일 BCC 구조 내에 TiC 입자가 분산된 복합재 형태로 제조되며, TiC 입자에 의한 강화 효과로 고연성과 고강도를 동시에 확보할 수 있음이 보고되었다. 본 연구에서는 상 안정성, 고온 내산화성과 같은 고온 특성을 향상시키기 위해 Mo를 첨가한 in-situ TiC 강화 NbTaVTi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 특성을 체계적으로 분석하였다. 이를 위해 기계적 합금화를 통해 단상 BCC 구조를 갖는 합금 분말을 제조하고, 방전 플라즈마 소결 공정을 통해 고밀도 소결체를 제조하였다. XRD, SEM, EDS, EBSD 분석을 통해 BCC 고용체 내에 균일하게 분포된 in-situ TiC 입자를 확인하였으며, 상온 및 고온 압축 시험을 통해 제조된 합금의 기계적 특성을 평가하였다.

[P4A-10]

FeCrMnNiCo High-Entropy Alloy의 부식 특성에 Titanium 및 Carbon 첨가가 미치는 영향: 김수빈*, 이주희(조선대학교), 이상화, 정재길(전북대학교), 장희진(조선대학교)

Keywords: High-Entropy Alloy, FeCrMnNiCo, Corrosion, Heat treatment

FeCrMnNiCo 고엔트로피 합금(High-Entropy Alloy, HEA)은 단일상을 형성하여 금속 간 화합물이 생성되지 않으며, 이로 인해 우수한 강도, 경도, 열적 안정성, 내식성 등의 특성을 동시에 나타낸다. 이러한 HEA의 내식성은 수 nm 두께의 Cr2O3 피막에 의해 안정적으로 유지된다. 그러나 소결 과정에서 Cr이 C와 반응하여 Cr carbide가 형성되면 입계 부근에 Cr 고갈 영역이 발생한다. 이는 표면 부동태 피막의 균일성과 안정성을 저하시켜 입계 부식을 유발할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Cr보다 C와의 친화력이 높은 Ti를 첨가하여 Ti carbide를 우선적으로 석출시키고, 이를 통해 부식 저항성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 FeCrMnNiCo 합금에 Ti(0.86 wt.%)와 C(0.11 wt.%)를 첨가한 후 800°C에서 열처리를 수행하였으며, 전기화학적 방법으로 부식 특성을 평가하였다. 사사 : 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00217415)

[P4A-11]

Co-Cr-Fe-Ni-Mo 중엔트로피 합금의 레이저 용접부에 대한 레이저 쇼크 피닝 (laser shock peening) 공정 시 반복 조사에 따른 기계적 물성 변화 관찰: 이재혁(단국대학교), 이선욱(국립공주대학교), 이성광(한국생산기술연구원), 이정훈(경북대학교), 이동준(한국재료연구원), 이동경, 문종언(국립공주대학교), 주수현*(단국대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Laser welding, Laser shock peening, Residual stress

최근 극저온 환경에서 안정적으로 활용 가능한 구조용 소재에 대한 관심이 높아지면서, 변형유도 마르텐사이트 변태(DIMT)를 통해 극저온에서도 우수한 강도와 연성을 보이는 $Co_{17.5}Cr_{12.5}Fe_{55}Ni_{10}Mo_5$ 중엔트로피 합금(medium entropy alloy, MEA)이 주목받고 있다. 그러나 본 합금의 용접성 및 용접 후 기계적 성능에 관한 연구는 상대적으로 미흡하며, 용접 공정에서 유발되는 미세조직 변화와 잔류응력은 극저온 성능 저하로 이어질 가능성이 크다. 이에 본 연구에서는 Bead-on-Plate(BOP) 레이저 용접을 수행한 뒤, 용접부의 잔류응력 완화와 성능 회복을 위해 레이저 쇼크 피닝(Laser shock peening, LSP) 후처리를 적용하였다. 제작된 용접 시편에

대해 미세조직, 경도 분포, 상온 및 77K 인장 특성, 잔류응력을 종합적으로 분석하였다. 열 이력에 의해 WM(Weld metal) 및 HAZ(Heat-affected zone)에서는 모재와 다른 미세조직이 형성되었고, 이로 인해 경도가 저하되며 인장 시험에서는 WM 및 HAZ 부근에서 조기 파단이 발생하는 경향을 확인하였다. 또한 WM 방향으로 갈수록 인장 잔류응력이 증가하여 균열 개시 및 파단의 잠재 원인이 될 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 문제를 개선하고자 LSP를 적용한 결과, 용접부 표면에 압축 잔류응력이 유도되어 기존의 인장 잔류응력이 완화되었으며, 소성변형에 따른 전위 밀도 증가로 경도 및 인장 특성이 향상되었다. 특히 반복 조사 횟수(multi-pass LSP) 증가를 통해 극저온 환경에서도 파단 저항성이 향상되는 경향을 확인하였다. 본 연구는 MEA 용접부에서 발생하는 성능 저하 문제를 LSP 후처리를 통해 효과적으로 보완할 수 있음을 보여주며, 새로운 극저온 구조재로서 활용 가능성을 뒷받침하는 기초 자료를 제공한다.

[P4A-12]

Effect of loading conditions and geometric factors on complex concentrated alloys with various deformation mechanisms: 예정원, 민현기, 김동환, 이명규*, 박은수*(서울대학교)

Keywords: Complex concentrated alloys (CCAs), Transformation-induced plasticity, Formability, Loading condition, Schmid factors

Complex concentrated alloys (CCAs)는 다수의 원소로 이루어진 합금으로 격자 비틀림 효과와 그에 따른 solid solution strengthening 효과로 인해 높은 강도와 인성 등의 우수한 기계적 특성을 보인다. 이러한 특성으로 인해 CCAs는 차세대 구조재료로서 주목을 받고 있지만, CCAs가 구조재료로서 상용화되어 사용되기 위해서는 일축 응력 상태에서의 소성 변형능(plasticity) 뿐만 아니라 이축 응력 상태를 가지는 성형 환경에서의 성형성 평가가 필수적이다. 이때 성형 환경에서는 재료의 변형 기구와 초기 미세구조 등에 따라 일축 응력 조건과는 다른 소성 변형능이 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는, 변형 기구에 영향을 미친다고 알려진 적측 결함에너지와 상관 관계가 있는 ΔGhcp-fcc 값을 제어하여 전위 활주, 쌍정 유기 소성, 변태 유기 소성을 주요 변형 기구로 갖는 CCAs를 선정하였다. 이후, 선정된 CCAs에 대해 Limit Dome Height(LDH) 실험을 실시하여 이축 응력 상태에서의 소성 변형능을 평가하였다. 그 결과, 변태 유기 소성이 주요 변형 기작인 CCAs의 소성 변형능이 일축 응력 조건에서의 소성 변형능에 비해 크게 저하되는 것을 확인하였다. 이러한 원인을 규명하기 위해, 재료의 결정학적 방위에 따라 슬립 시스템의 활성화 가능성을 평가할 수 있는 Schmid factor분석을 수행하였다. 우선, 압연 방향에 따른 일축 인장 실험(RD(0o), TD(90o), DD(45o))을 통해 재료가 무작위 결정학적 orientation을 갖는 것을 확인하였다. 이후, 일축 응력 상태 및 이축 응력 상태 각각에서 무작위 orientation에 대해 전위 활주시의 최대 Schmid factor와 변태 유기 소성시의 최대 Schmid factor 값을 비교 분석하였다. 그 결과, 일축 응력 상태에서는 변태 유기 소성이 유리한 결정학적 orientation의 분포가 이축 응력 상태보다 많다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해. LDH 실험(이축 응력 상태)에서 변태 유기소성을 주요 변형 기구로 갖는 CCA의 소성 변형능이 감소하는 원인을 규명할 수 있었다.

[P4B-1]

Al 및 V 첨가에 따른 FCC 이중상 구조의 고연성 CoCuFeNi 기반 고엔트로피 합금의 기계적 물성 향상 : 이규필, 하준수, Yusupov Dilshodbbek, Abbas Muhammad Aoun, 홍동성, 강원묵, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

Keywords: High entropy alloy, Mechanical property, cold rolling, CoCuFeNiAlV

고엔트로피 합금은 4-5개 이상의 금속 원소가 유사한 비율의 조성으로 구성되어 있는 합금이다. 높은 엔트로피로 인해 자유 에너지가 낮아짐으로써 금속간 화합물의 형성 없이 단일 고용체 구조를 형성한다. 그 중 단상 FCC 고엔트로피 합금은 뛰어난 연성을 가지고 있어 제조 및 가공에 유리하므로 많은 연구가 진행되고 있으나 상대적으로 낮은 강도를 가진다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 물성 향상을 위하여 단상 FCC구조에 비해 더 높은 배열엔트로피 효과를 통한 고용강화를 기대할 수 있는 FCC 이중상 구조의 합금을 활용하였다. 합금의 우수한 기계적 물성을 지닌 최적의 조성을 파악하고 뛰어난 가공성을 바탕으로 압연 공정을 진행하여 FCC 고엔트로피 합금의 한계를 극복하여 고강도 및 연성을 가진 우수한 합금의 설계를 목표로 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 우수한 연성의 FCC 고엔트로피 합금의 설계를 위해 3주기 전이금속 원소 중에서 가장 큰 VEC값을 가져 FCC구조를 형성하고 양의 혼합엔탈피(ΔH_{mix})관계를 가지는 Cu에 의하여 이중상을 형성하는 CoCuFeNi 합금계를 활용하였다. 해당 합금계에 Al과 V를 첨가원소로 선택하여 FCC 이중상을 유지하면서 강도를 향상시키는 설계를 의도하였다. 두 원소의 비율을 다르게 하여 미세조직의 변화 및 물성 변화를 확인하고 가장 우수한 기계적 강도를 지니는 조성에 대해 냉간 압연 및 어닐링을 진행하여 미세구조 및 파단면 분석, 기계적 물성을 평가하였다. 합금의 제조는 $(CoCuFeNi)_{92}Al_{8-x}V_x$(x=0.8, 2.4, 4, 5.6, and 7.2 at%) 조성의 합금을 아크 용해법과 흡입 주조법을 통해 직경 3mm의 봉상시편을 주조하였고, 냉간 압연을 진행할 시편의 경우 아크 용해법과 낙하 주조법을 통해 6mm×12mm×50mm의 판상 시편을 주조하였다. 시편의 미세조직 및 상분석은 SEM(JEOL JSM-6390), X-선 회절분석(XRD: Panalytial), FE-SEM(Hitachi SU-8010 JEOL, JSM-7800F Prime), TEM(JEOL JEM-ARM200F)을 이용하였으며 기계적 물성의 평가는 비커스 경도 시험(Vickers indentation test, SIMADZU HMV-G21DT), 나노 압입 시험(Nano indentation test, CSM CPX-NHT2), 상온에서의 압축시험 및 인장시험(UTM, MTDI Minos-100S)을 진행하였다.

[P4B-2]

Ti-Modified $CoCrFeNi_2$ High-Entropy Alloys with Dual-Phase structure for Improved Hydrogen and Oxygen Evolution Catalysis: ABBAS MUHAMMAD AOUN, Kiran Shinde, Yusupov Dilshodbek, Dong Sung Hong, Ga Eun Jo, Sung Hwan Hong, Hae Jin Park, Ki Buem Kim*(Sejong University)

Keywords: High Entropy Alloy, HER, OER, Catalysis

The growing demand for sustainable and clean energy has intensified research into hydrogen production via electrocatalytic water

splitting, an efficient route for generating high-purity hydrogen. While prior studies have primarily focused on optimizing catalyst composition, our work highlights the pivotal role of morphology in enhancing catalytic performance. High-entropy alloys (HEAs), with their multi-component equiatomic compositions, have emerged as promising catalysts due to their unique chemical and structural properties. In this study, we investigate the electrocatalytic behavior of $CoCrFeNi_2Tix$ (x = 0, 0.3, 0.5, 0.8, 1) HEAs with varying titanium (Ti) content for both hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER). Among them, $CoCrFeNi_2Ti0.5$ exhibits an optimized morphology, resulting in reduced overpotential, favorable Tafel slopes, and a current density of 10 mA cm^{-2} in alkaline media, alongside excellent long-term stability. Our results demonstrate that the synergistic interplay between composition and morphology is critical for designing high-performance catalysts for sustainable hydrogen generation. This study provides valuable insights into the design and application of HEAs in energy conversion, paving the way for the development of efficient and durable water-splitting catalysts.

[P4B-3]

Effect of Al content on the microstructure and mechanical behavior of $(CrFeNiCu)_{100-x}Al_x$ (x = 0 – 15 at.%) high entropy alloys : Dilshodbek Yusupov, Abbas Muhammad Aoun, Kiran Shinde, Hae Jin Park, Sung Hwan Hong, Ki Buem Kim*(Sejong University)

Keywords: High-entropy alloy, Mechanical properties, Microstructure, Thermo-physical parameters

High entropy alloys (HEAs), as advanced materials, have gained significant attention over the past decade owing to their exceptional properties. A s-cast $(CrFeNiCu)_{100-x}Al_x$ HEAs (x = 0 - 15 at.%) were designed by adding Al as a minor element to the quaternary CrFeNiCu HEA caused microstructural change and enhancement of mechanical characteristics. Systematic microstructural analyzes found that addition of Al content is more than 7 at.% induced significant micro-to-nano-scale microstructural evolution. A minor addition of Al content lower than 5 at.% was effective to modulate the microstructure of the HEAs composed of CrFeNi-rich FCC1 and Cu-FCC2 phases. In contrast , the HEAs containing Al content higher than 7 at.% exhibited crucial microstructural evolution from dual-phase FCC1/FCC2 structure to multi-phase FCC1/FCC2/BCC structure. Furthermore, the primary BCC dendrite revealed a phase separation into nanoscale A2/B2 phase, and $L1_2$ nanoprecipitates formed in the FCC phase. The Al content with large negative mixing enthalpy with constituent elements induced the micro-to-nano-scale chemical evolution and heterogeneity, which resulted in micro-to-nano-scale microstructural evolution. The volume fraction of the BCC phase strongly depended on Al content and significantly improved the yield strength from 291 MPa to 1366 MPa and Vickers hardness from 134 HV to 475 HV. Although the increase in volume fraction of BCC phase in the HEAs decreased plasticity from a higher than 45% to 16.02%, this result could be considered reasonable plasticity for engineering materials.

[P4B-4]

Zr 및 V 합금화에 의한 TiHfNb 기반 중엔트로피 합금의 강도 및 산화 거동 제어: 박태연, 허재혁, 최인철*(국립금오공과대학교)

Keywords: HEAs, Oxidation, Nano indentation, Heat treatment, Vickers hardness

고엔트로피 합금(HEA)은 높은 구성 엔트로피로 단상 안정성과 강도를 보이나, 초기 전이금속계 HEA는 고온 강도 저하 문제가 있었고 내화 HEA 또한 산화 저항성이 낮다. 본 연구는 밀도 저감과 주조 편석 완화를 위해 Ti 함량을 높인 TiHfNb 중엔트로피 합금을 설계하고, Zr 및/또는 V 첨가가 고용 강화, 실온 항복 거동, 고온 산화 거동에 미치는 영향을 평가하였다. Zr, V, Zr+V 첨가 모두 경도와 항복강도를 증가시켰으며, 이는 원자 크기 및 전단계수 불일치에 기인한 고용 강화로 해석되었고 항복 메커니즘의 변화는 관찰되지 않았다. 산화 시험에서는 Zr 첨가가 산화 저항을 저하시킨 반면, V 첨가는 비교적 안정한 산화막 형성에 기여했으나 내부 산화를 촉진하여 장시간 고온 노출 시 저항성 저하 가능성을 보였다. 또한 Hf 또는 Zr의 함량 조절이 TiHfNb계 합금의 산화 거동을 크게 좌우함을 확인하였다.

[P4B-5]

Al-Ti 비율 조절에 따른 초경량 AlTiVCr 공정 고엔트로피 합금의 미세구조 및 변형 메커니즘과 고온 물성 분석: 강원묵, 홍동성, Yusupov Dilshodbek, Abbas Muhammad Aoun, 강결찬, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

Keywords: 내열 고엔트로피 합금, 공정 합금, 기계적 물성, AlTiVCr 합금 설계

고엔트로피 합금(High-Entropy Alloy, HEA)은 다종의 주 금속 원소를 5~35 at.% 범위로 혼합하여 만드는 합금이다. HEA는 일반적으로 단상 고용체를 형성하며 높은 배열 엔트로피 효과, 느린 확산 효과, 격자 뒤틀림 효과, 칵테일 효과 등으로 인해 기존 합금에서는 관찰하기 힘든 우수한 기계적·물리적 성질을 보인다. 하지만 이러한 HEA는 강도와 연성의 불균형으로 인한 여러 문제점을 보여왔다. 이러한 한계를 극복하고 우수한 고온 물성을 확보하기 위해 공정 고엔트로피 합금(Eutectic High-Entropy Alloy, EHEA)이 제안되었다. EHEA는 강도와 연성을 동시에 확보하기에 용이하다는 장점을 가져 많은 연구가 진행되었다. 그러나 이는 대부분 Ni 기반 합금으로, 밀도가 높아 실제 구조용 부품에 적용 시 연비 저하 등의 문제를 유발하였다. 따라서 본 연구에서는 Al, Ti, V, Cr과 같은 초경량 내열 원소로 기존의 Ni 기반 EHEA를 대체하여 고온 및 상온에서의 강도를 유지하는 동시에 연성 확보를 통한 가공성 향상을 도모하였다. 연구의 핵심 목표는 혼합열을 기반으로 Al, Ti, V, Cr EHEA 조성을 설계하여, 상온 및 고온 환경 모두에서 균형 잡힌 최적 조성을 도출하는 데 있다. 따라서 서로 음의 혼합열을 가져 금속간 화합물을 형성하는 Al-Ti 그룹과 0에 가까운 혼합열을 가져 고용상을 형성하는 V-Cr 그룹으로 나누고 원소 간 비율을 조절하여 EHEA를 개발하였다. 또한, Al과 Ti의

조성 비율 변화가 미세조직에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 압축 시험을 실시하여 상온에서의 물성을 파악한 뒤, 이를 바탕으로 변형 메커니즘을 규명하였다. 그중 가장 뛰어난 상온 물성을 보인 조성을 선정하고 해당 조성의 고온 물성을 분석하였다. AlxTi80-xV15Cr5 (x = 35, 40, 45 at%) 조성을 선정하여 아크 용해법과 흡입 주조법으로 직경 3 mm, 길이 50 mm의 봉상 시편을 제작하였다. 미세조직 및 상 분석은 주사전자현미경(SEM: JEOL JSM-6390)과 X선 회절 분석(XRD: Panalytical)을 통해 수행하였으며, 화학 조성은 투과전자현미경(TEM: JEM-ARM200F, Jeol)과 에너지분산형 분광분석(EDS)으로 확인하였다. 기계적 특성 평가는 만능시험기(UTM, Universal Testing Machine)를 사용하여 상온 압축 시험을 진행하였다. 또 상온 물성이 가장 뛰어난 조성을 사용해 500~900°C에서 고온 압축 시험을 진행하였다. 해당 시험 결과를 바탕으로 미세조직과 기계적 물성 간의 상관성을 분석하였다.

[P4B-6]

Ni 기반 3원계 합금 바인더를 적용한 초경합금의 미세조직 및 기계적 특성: 양준열, 이정연, 장민서, 김은채, 권한중*(전북대학교)

Keywords: 초경합금, Ni 기반 3원계 합금 바인더

초경합금은 단단한 WC 상과 금속 바인더로 구성되며, 전통적으로는 WC와의 강한 친화력과 우수한 고유 특성 때문에 Co가 사용되어 왔다. 그러나 높은 비용과 환경적 문제로 인해, 최근에는 대체 바인더로서 Ni 기반 금속 바인더에 대한 관심이 증가하고 있다.본 연구에서는 Ni 기반 3원 합금을 합성하여 초경합금의 금속 바인더로 적용하였다. 합성 조건 및 조성에 따른 Ni 기반 합금의 상(phase) 진화와 결정 구조 변화를 조사하였다. 마지막으로, 본 연구는 Ni 기반 합금이 초경합금에서 코발트를 대체할 수 있는 바인더 상으로서의 가능성을 평가하는 것을 목표로 하였다. 본 실험에서는 NiO, WO, CoO 분말을 혼합한 후 Ar 분위기에서 800 °C에서 수소 환원을 수행하였으며, 이후 열처리를 통해 Ni 기반 합금 분말을 제조하였다. 합성된 합금 분말은 WC와 혼합하여 1200 °C에서 SPS(Spark Plasma Sintering) 공정을 통해 소결하였다. 제조된 초경합금의 기계적 특성을 평가하여 초경합금의 대체 바인더로서의 적용 가능성을 검토하였다. Ni–Co–W 및 Ni–Cu–W 3원계 바인더 합금에서, Ni 함량이 증가함에 따라 격자상수가 감소하였으며 이는 FactSage 예측 결과와 일치하였다. WC와 혼합할 경우, 계면 응력과 고용 한계 근처에서의 W 고용으로 인해 격자상수가 추가적으로 감소하는 현상이 관찰되었다. 기계적 특성 평가 결과, WC–(Ni, Co, W) 초경합금에서는 Co 함량이 증가할수록 경도가 향상되었고, WC–(Ni, Cu, W) 초경합금에서는 안정한 고용체가 형성되는 조성에서 경도가 개선되었다. 이러한 결과는 Ni–Co–W계에서는 Co의 고유한 특성이 지배적인 반면, Ni–Cu–W계에서는 고용 강화(solid solution strengthening)가 더 큰 영향을 미친다는 것을 보여준다. 마지막으로 본 연구에서는 Co 또는 Cu와 W를 포함한 Ni 기반 3원계 합금 바인더를 제조하였으며, 이들 합금에서 첨가 원소들이 격자 변형(lattice strain)에 서로 다른 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 결론적으로, 적절한 비율의 적합한 첨가 원소가 포함될 경우 Ni 기반 3원계 합금 바인더는 대체 금속 바인더로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[P4B-7]

석출-격자 왜곡 간 경쟁적 상호작용을 통한 중엔트로피합금의 강도-연성 최적화 : 정희재, 이재흥, 권현석*, 구강희, 왕재민, 이병주(포항공과대학교), 이상봉*(국립금오공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: 중엔트로피합금, 변형유기상변태, 고용강화, 석출, 가공경화

본 연구에서는 CoCrFeNiMoC계 중엔트로피합금에서 석출과 격자 왜곡 간 경쟁적 상호작용을 제어함으로써 강도와 연성을 동시에 향상시키는 전략을 제시하였다. 소둔 열처리 제어를 통해 유사한 결정립 크기를 유지하면서도 서로 다른 석출 거동을 보이는 두 시편(A800: 800 ºC 3시간, A900: 900 ºC 10분)을 제작하였다. A900 시편은 A800에 비해 M6C 및 M23C6 탄화물의 석출이 억제되어 석출물의 크기와 분율이 감소하였고, 이로 인해 FCC 모상에서 Mo와 C의 고용 농도가 증가하여 격자 왜곡 및 이에 따른 고용강화 효과가 증대되었다. 이와 동시에, A900에서는 matrix의 조성 변화에 기반한 FCC 상 안정성의 증가로 인해 변형유기상변태가 지연되며, 가공경화 및 연신율의 증대가 함께 관찰되었다.

[P4B-8]

열처리 기반 AlTiVCr 공정 고엔트로피 합금의 상변태와 고온 항복 강도 특성 평가 : 홍동성, 하준수, Yusupov Dilshodbbek, Abbas Muhammad Aoun, 강원묵, 이규필, 강결찬, Kiran Shinde, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 고온 기계적 특성, 고온 압축, 상변태, 열처리

공정 고엔트로피 합금은 공정 라멜라 조직등에서 기인한 계면 지배 변형을 통해 상온과 고온에서의 강도 유지와 균일 변형 확보가 가능한 합금이다. 해당 기계적 특성은 상 간 계면에서 전위 전파에 대해 슬립 전이 장벽이 되어 변형을 분산시키고, 그 간격이 미세할수록 전위의 mean free path가 축소되어 고온 항복 강도 유지에 유리하다는 점이다. 선행 연구에서 $Al_xTi_{80-x}V_{15}Cr_5$ (x= 35, 40, 45 at.%) 합금은 Al, Ti 음의 혼합 엔탈피와 V, Cr의 0에 가까운 음의 혼합 엔탈피를 활용하여 B2-HCP Eutectic colony를 형성하였다. 이는 colony 조직의 회전 변형과 상 간 계면 강화 효과를 통해 상온과 고온에서의 강도와 연성을 동시에 확보할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 연구에서는 선행 연구의 기계적 물성이 가장 우수한 Al_{45} 합금을 기반으로 열처리를 통해 안정상으로의 상변태를 유도하였다. 이를 통해 최적 물성을 확보를 위한 조건을 도출하였으며, 특히 700 °C 이상에서 안정상(L10+B2)으로 유지되는 것을 확인하였다. 열처리 조건을 제어하여 강도를 유지하면서 연성이 향상된 조건을 선별하여 고온 압축 시험을 수행하였으며, 온도 상승에 따른 강도 저하 기울기를 완화하고자 하였다. 합금의 제조는 $Al_xTi_{80-x}V_{15}Cr_5$ (x= 35, 40, 45 at.%) 조성의 합금을 아크 용해법과 흡입 주조법을 통해 직경 3mm, 길이 50mm의 봉상형 시편을 주조하였다. 합금은 Tube furnace를 통하여 Ar분위기 하에 500°C-900°C에서 열처리 진행 후, 급냉하였다. 900°C에서 상 안정성을 보기 위해 조건을 제어하였다. 시편의 미세조직과 상 분석은 전자주사현미경(SEM: JEOL JSM-6390), X선 회절분석(XRD: Panalytial)을 이용하였으며, 기계적 물성 평가는 만능시험기(UTM, Universal Testing Machine)를 이용한 압축 시험을 상온과 고온 압축 시험을 진행하였다.

[P4B-9]

고압 비틀림 공정을 통한 B, N 첨가 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 헤테로구조 형성과 기계적 거동: 하수빈, 손수정, 김래언, 이정완, 이도원(포항공과대학교), 장재일(한양대학교), 김형섭*(포항공과대학교)

Keywords: Material design, Heterogeneous structure, High-entropy alloy, Severe plastic deformation, Mechanical properties

헤테로구조는 이종 변형 유도 강화(hetero-deformation induced strengthening, HDI)를 통해 강도와 연성 간의 상충관계를 극복할 수 있는 효과적인 전략으로 알려져 있다. 본 연구에서는 미세조직적 이질성을 갖는 B, N 첨가 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금(BN-HEA)에 고압 비틀림(high-pressure torsion, HPT) 공정과 단시간 열처리를 적용하여 석출상 분포를 제어하였다. HPT 과정에서 기존 BN 및 Cr_2B 석출상이 미세화 후 용해되어 기지 내에 B, N 농도가 높은 영역이 형성되었고, 열처리 후 BN, Cr_2B, Cr_2N 석출상이 재형성되어 석출상이 다량 분포된 경질 도메인과 석출상이 없는 연질 도메인이 확립되었다. 이러한 미세조직은 변형 시 경질 도메인과 연질 도메인 간의 변형 불일치를 유발하고 이에 따른 HDI 강화를 촉진하여 기존 BN-HEA 대비 우수한 강도–연성 조합을 확보하였다. 본 연구는 HPT 공정을 활용한 헤테로구조 설계가 고엔트로피 합금의 기계적 성능 향상에 효과적임을 입증하며, 향후 고성능 구조재 개발의 유망한 설계 경로를 제시한다.

[P4B-10]

실시간 X-선 회절을 이용한 부분재결정 철계 중엔트로피합금의 변형 거동 분석: 김진우, 이재흥, 권현석, 구강희, 이지영(포항공과대학교), 정상국(Tohoku Univ.), Emad Maawad(Helmholtz-Zentrum Hereon), 하창완(포항공과대학교), 설재복(포항공과대학교, 국민대학교), 홍순익(포항공과대학교, 충남대학교), 이상봉(국립금오공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교, Tohoku Univ.)

Keywords: 중엔트로피합금, 부분재결정, 변형 유기 마르텐사이트 상변태, 실시간 X-선 회절, 변형 거동

철계 중엔트로피합금은 변형 유기 마르텐사이트 상변태가 일어나 연성을 유지하면서 높은 강도를 보인다. 항복 강도를 증가시키기 위하여 부분재결정 전략 또한 적용된 바 있으며, 이는 재결정 영역과 미재결정 영역에서 각각 변형 유기 마르텐사이트 상변태가 발생하는 복잡한 변형 거동을 유발하였다. 본 연구에서는 실시간 X-선 회절 시험을 통해 복잡한 변형 거동을 자세하게 분석하는 것을 목표로 한다. $Fe_{57.5}Co_{18}Cr_{13}Ni_{7.5}Mo_3C_1$ 철계 중엔트로피합금을 냉간 압연 후 800도에서 10분 열처리를 통해 부분 재결정 미세조직을 얻었다. 인장 시험 결과 다단계 변형 거동을 보였으며, 변형 유기 마르텐사이트 상변태로 인해 생성된 BCC 상의 우수한 하중 지지 능력으로 인해 높은 유동 응력 및 가공경화능이 발현되었다. 실시간 X-선 회절 분석 결과 비대칭적인 FCC 피크가 나타났고, 피크 분리 기법을 이용해 미재결정 영역 및 재결정 영역의 두 서브 피크로 분리하였다. 이러한 분리 분석 기법을 통해 각 영역의 상분율, 격자 변형 및 응력 변화를 분석하여, 영역별 변형 유기 마르텐사이트 상변태 거동을 구분하여 정량화하였다. 각 영역의 상변태 속도는 유사한 것으로 밝혀졌으며, 이는 재결정 영역의 탄화물 형성에 따른 FCC 상안정성 감소 및 초미세 결정립 크기로 인해 재결정 영역의 상변태 속도가 미재결정 영역의 상변태 속도만큼이나 가속되었기 때문이다. 각 영역의 가공 경화 기여도의 경우에는, 변형 초기엔 재결정 영역과 BCC 상의 높은 stress partitioning으로 인해 재결정 영역의 변형 유기 마르텐사이트 상변태에 의한 기여도가 높은 반면, 변형 후반에는 BCC 상의 유동 응력이 미재결정 영역의 유동 응력을 상회함에 따라 미재결정 영역의 변형 유기 마르텐사이트 상변태에 의한 기여도가 증가한다. 본 부분 재결정 철계 중엔트로피합금의 실시간 X-선 회절 분석은 이종구조를 갖는 합금의 복잡한 변형 거동을 이해하고 우수한 인장 물성을 얻기 위한 합금의 미세조직 설계에 기여한다.

[P4B-11]

4.2 K에서 기계적 불안정성이 완화된 $L1_2$ 강화형 중엔트로피 합금 개발 : 이준석, 신필욱, 소영섭(부경대학교), 김영균, 나영상(한국재료연구원), 배재웅*(부경대학교)

Keywords: 합금 설계, 중엔트로피 합금, 석출강화, 초극저온, 미세조직

최근 연구에 따르면 고엔트로피 합금(high-entropy alloys)으로 알려진 다성분계 합금은 독특한 미세구조적 특성을 지니며, 이는 전위 이동에 큰 영향을 미쳐 기계적 물성 향상에 기여할 수 있다. 또한, 용질 원소 첨가량이 증가할수록 금속간 화합물(intermetallic compounds)이 쉽게 형성되는 기존 합금과는 달리, 고엔트로피 합금은 4-5종 이상의 원소가 동등한 농도로 혼합되어도 높은 엔트로피 효과로 인해 FCC 및 BCC 단상을 안정적으로 유지할 수 있기 때문에 조성 설계의 자유도가 높은 유망한 소재로 주목받고 있다. 특히, 단상의 면심입방(face-centered cubic, FCC) 구조의 기지(matrix)를 가지는 고엔트로피 합금은 극저온에서 우수한 파괴인성과 손상 저항성을 보이지만, 이러한 FCC 기지만으로는 극저온 공학 응용에 요구되는 충분한 강도를 확보하기 어려운 한계가 있다. 더욱이, 20 K 이하의 특정 임계 온도에서 발현되는 불연속 소성 변형(discontinuous plastic flow, DPF)에 의해 응력-변형률 곡선에서 관찰되는 응력 상승/하강 현상(stress drop in serration)은 소재의 연성 및 파괴에 영향을 미치며, 변형 불안정성으로 인한 내구성 열화 및 구조용 소재로써의 신뢰성 한계를 초래할 수 있다. 따라서, 초저온과 같은 극한환경에서의 적용과 소재의 신뢰성 확보를 위해서는 우수한 기계적 물성뿐만 아니라, 초저온 환경에서 변형 불안정성이 완화된 합금을 개발하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 FCC 기지와 정합성을 갖는 Ni_3Al-type $L1_2$ 석출물의 나노 석출 강화기구를 활용한 AlCrFeNiMo 5원계 중엔트로피 합금(medium-entropy alloys)을 개발하였다. 본 합금은 냉간 압연 후 1000 °C에서 재결정 처리와 700 °C에서 시효 처리를 통해 수십 나노미터 크기의 $L1_2$ 석출물을 유도하였다. 미세조직은 X-ray diffraction (XRD), electron backscatter diffraction (EBSD), electron channeling contrast imaging (ECCI)를 통해 관찰하였으며, 해당 합금의 4.2 K 인장시험 결과 1.02 GPa의 항복강도, 1.66 GPa의 인장강도, 29%의 총 연신율 조합을 달성하였다. 4.2 K의 응력-변형률 곡선에서만 serration이 관찰되었으며, 변형이 진행됨에 따라 stress drop의 크기가 증가하는 경향을 보였으나, 그 절대값은 현재까지 보고된 중엔트로피 합금 대비 낮은 수준을 유지하였다. 이는 본 연구에서 개발된 합금이 초저온 환경에서의 기계적 불안정성이 완화되었음을 의미하며, 향후 초저온용 구조 재료 개발을 위한 설계 전략과 기술적 기반을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[P4B-12]

Coexistence of weak ferromagnetism and superconductivity with stabilized vortex pinning in magnetic high-entropy alloy NbTaTiZrNi: Rahmatul Hidayati, Jin Hee Kim, Jae Hyun Yun(Kyung Hee University), Beongki Cho(Gwangju Institute of Science and Technology), Jung-soo Rhyee *(Kyung Hee University)

Keywords: High-entropy alloy (HEA), Superconductivity, Magnetic elements, Vortex avalanches, Magneto-thermal stability.

High-entropy alloy (HEA) superconductors have practical importance because of high mechanical strength and vast tunability of compositions. We propose the synthesis and characterization of a high-entropy NbTaTiZrNi alloy that exhibits coexistence of superconductivity and weak ferromagnetism with superconducting transition temperature T_c = 7 and weak ferromagnetic hysteresis with sizable coercive force H_{coer} = 100~300 Oe over a wide range above T_c up to room temperature. In general, ferromagnetic properties deteriorates superconducting critical temperature T_c of s-wave superconductivity by breaking of Cooper pair of singlet pairing of electrons due to Lorenz force. Here, we incorporate a magnetic 3d element, nickel (Ni), into the prototypical NbTaTiZr HEA, forming a quinary compound NbTaTiZrNi. The T_c (7.1 K) of Ni-based HEA is not decreased significantly compared to the nonmagnetic $Ta_{1/6}Nb_{2/6}Ti_{1/6}Zr_{1/6}Hf_{1/6}$ compound (T_c = 7.8). In our previous report, we observed significant vortex avalanches in the $Ta_{1/6}Nb_{2/6}Ti_{1/6}Zr_{1/6}Hf_{1/6}$ compound, synthesized by powder metallurgical methods, which is detrimental for superconductor applications. The Ni-substituted NbTaTiZrNi compounds stabilize the vortex pinning without vortex avalanches. Electrical resistivity, magnetization, and specific-heat measurements confirm conventional, phonon-mediated s-wave pairing with intermediate electron–phonon coupling ($\lambda \approx 0.7$) and a Sommerfeld coefficient $\gamma \approx 5.5$ mJ mol^{-1} K^{-2}. Upper critical fields $Hc_2(0)$ reach 5.3–5.6 T, and coherence lengths $\xi_o \approx 7.8$ nm, while lower penetration depths $\lambda_o \approx 178$ nm yield a favorable λ/ξ ratio. The configurational disorder and magnetic-element distribution establish a mixed vortex-pinning landscape—grain boundaries at low fields and point defects at high fields—that completely suppresses thermomagnetic flux avalanches, yielding stable critical current densities up to 10^4–10^5 A cm^{-2} at 2 K. Our results demonstrate that magnetic HEAs combine entropic stabilization with tailored pinning centers, offering a versatile materials platform for robust, flux-stable superconductors. in cryogenic magnets and device applications.

[P4B-13]

Design and Development of Fe-Rich Complex Concentrated Alloys for High-Temperature Applications : vikas Shivam*, Dong Whan KIM, Jae Kwon Kim , Eun Soo Park(Seoul National University)

Keywords: Complex concentrate alloys (CCAs), Microstructure stability, Precipitation strengthening, Mechanical properties.

Complex Concentrated Alloys (CCAs) have attracted significant attention over the past two decades due to their promising mechanical properties. However, one of the key limitations of these alloys is their high cost, largely stemming from the equimolar composition of multiple expensive elements. In this study, we designed a series of Fe-rich, non-equiatomic alloy compositions (with Fe content $\geq$ 40 at.%) using a pseudo-binary, semi-quantitative approach based on CALPHAD thermodynamic calculations, targeting industrial applications operating in the temperature range of 500–700 °C. The alloy compositions were carefully selected to promote the formation of a dual-phase microstructure consisting of FCC and $L1_2$ phases, resembling the γ–γ′ architecture of conventional superalloys. The first group of elements—Fe, Ni, Co, and Cr—preferentially partition to the FCC matrix (γ phase), contributing to its stability. The second group of elements, Al and Ti, possess larger atomic radii and exhibits strong negative mixing enthalpies with Ni, thereby facilitating the formation of the ordered γ′ ($L1_2$) phase. The alloys were produced via arc melting, followed by homogenization at 1100 °C and cold rolling. The deformed alloys then undergo a treatment solution to achieve a single-phase FCC structure. Subsequent aging treatments at 600, 700, and 800 °C for various durations were conducted to investigate the precipitation kinetics. Comprehensive evaluations were performed to assess the microstructural stability, precipitate evolution, and high-temperature tensile properties at different heat treatment stages. The findings offer insights into the potential of Fe-rich CCAs for cost-effective, high-temperature structural applications.

P5 : 알루미늄
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P5-1]]

7xxx계 Al합금의 데이터 연구를 위한 석출물 고속 분석 방법 연구: 이우영, 전서연, 이경환, 최현주*(국민대학교)

Keywords: AA7000, DSC, TEM, precipitation kinetics, heat treatment, precipitation

최근 환경오염으로 인한 기후변화문제가 심각해짐에 따라 여러 국가들은 파리기후협약을 맺어 온실가스배출 저감을 목표로 노력하고 있다. 이 목표를 이루기 위해 여러 산업에 온실가스 규제가 엄격해졌으며, 자동차의 경우에도 연비규제 및 배기가스 배출량 규제를 통해 온실가스 배출에 대한 규제가 엄격해지고 있다. 이로인해 자동차 업계는 연비의 효율성 증가, 하이브리드, 전기, 수소차의 개발에 전념하고 있다. 자동차의 연비 및 전비향상은 자동차의 무게와 밀접한 연관이 있다. 기업들은 자동차의 주행거리 향상과 온실가스 배출 저감의 목표를 위해 차체 경량화에 많은 노력을 기울이고 있다. 알루미늄 합금은 경량소재로써 차체 경량화를 위해 점차 사용범위가 확대되고 있기 때문에 더욱 개발이 필요한 상황이다. 7000계 알루미늄 합금은 낮은 밀도와 높은 강도를 가지고 있기에 현재 데이터 연구를 통해 적용가능한 신합금 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 조성, 구조, 기계적 특성의 경우 인공지능과 많은 실험을 통해 많은 데이터가 확보되어 있지만, 알루미늄 합금연구에 가장 중요한 석출물 미세조직 데이터의 경우, 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)분석에 장시간이 소모된다는 점으로 인해 많은 데이터가 확보되지 않은 상황이다. 따라서 고속분석방법으로 TEM에서 얻을 수 있는 석출물의 부피분율과 평균크기를 데이터화 할 수 있는 탐색방법 개발을 통해 이러한 데이터의 간극을 채우는 것이 필요하다. 본 연구에서는 몰드중력주조 후 460도 24시간동안 균질화 열처리한 시편을 400도 2시간동안 어닐링, 열간압연, 다시 어닐링, 냉간압연 진행한 7000계 알루미늄 압연재(7075, 7050, 7068)의 T6열처리 공정 중, 시효 온도(100, 120, 140 ºC)와 시간(0h ~ 48h)을 변수로 하여 서로 다른 크기와 분율의 MgZn2 석출물을 갖는 합금들을 제작하였다. 이후 경도분석 결과를 통해 가장 높은 강도를 갖는 열처리 조건 및 과시효 조건을 선택 한 후, 빠르게 분석이 가능한 시차 주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC)와 정밀하게 분석이 가능한 TEM 분석을 진행 한 후, 인공지능 능동분석을 진행하여 두 데이터 간 상관관계를 분석하여 고속데이터만을 사용해 정밀데이터를 예측하는 모델을 구축하여 조성-공정-미세조직-물성 중, 데이터가 가장 부족하다고 알려진 미세조직 데이터를 채워 신합금 개발의 연구 기간을 단축하는 것을 목표로 하였다.

[P5-2]

미량 원소 첨가가 Al-0.3Fe 합금의 전기 전도도 및 기계적 특성에 미치는 영향: 윤연희(한국재료연구원, 한양대학교), 이재석(한국재료연구원), 김형준(한국재료연구원, 부산대학교), 안지혁, 오영석, 이윤수*(한국재료연구원), 장재일*(한양대학교)

Keywords: 알루미늄 합금, 합금설계, 미세조직, 전기 전도도, 기계적 특성

전 세계적으로 탄소중립 실현과 온실가스 감축을 위한 노력이 강화됨에 따라, 에너지 효율이 높은 경량 전력 전송 소재에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다. 특히 전기차 시장의 급성장은 송·배전 장치, 배터리 모듈, 전력 변환 장치 등에 사용되는 도전재의 성능 향상을 요구하고 있다. 현재까지는 구리가 가장 널리 사용되는 도전재이지만, 경량성과 가격 경쟁력 측면에서 알루미늄이 유력한 대체 소재로 부상하고 있다. 그러나 순 알루미늄(1XXX계)은 불가피하게 포함되는 불순물 원소(Fe, Si 등)로 인해 전기전도도가 저하되고, 기계적 특성에도 한계가 존재한다. 이에 따라 미량 원소 첨가를 통한 전기적·기계적 특성 개선 가능성에 대한 연구가 필요하다. 미량 원소 첨가는 생성상의 종류와 분율 변화, 불순물 원소의 알루미늄 기지 내 고용도 제어 등을 통해 전기적·기계적 특성을 동시에 향상시킬 수 있는 잠재력을 가진다. 본 연구에서는 Al-0.3Fe 합금을 기본 조성으로 설정하고, 열역학 계산을 통하여 알루미늄 기지 내 불순물 원소의 고용도를 최소화할 수 있는 미량 원소의 종류와 첨가량을 도출하였다. 설계된 합금 조성은 주조, 압연, 인발 공정을 거쳐 알루미늄 선재로 제조하였으며, 제조된 선재의 미세조직을 분석하여 합금 원소 첨가에 따른 이차상의 분포를 관찰하였다. 또한 전기 전도도 및 기계적 특성 변화를 분석하여, 미세조직 변화와 특성 간의 상관관계를 검토하였다.

[P5-3]

Influence of Brazing Temperature on the Interfacial Joining Behavior and Properties of 3102 Aluminum Alloy Clad Material: Ko Eun Chan, Lee Byeong Kwon(Korea Institute of Industrial Technology, Chonnam National University), Yoo Hyo Sang, Kim Yong Ho, Son Hyeon Taek*(Korea Institute of Industrial Technology), Kim Tae Hoon(Chonnam National University)

Keywords: Al alloy, Clad, Braizing, Microstructure

Aluminum clad materials have attracted significant attention as key components in automotive thermal management systems owing to their high thermal conductivity and superior specific strength. They are widely applied as brazing materials in parts such as radiators, evaporators, condensers, and oil coolers. With the increasing demand for lightweight vehicles and enhanced efficiency, the development of advanced clad materials with improved mechanical strength and functionality has become essential. Typically, clad materials consist of a core and a clad layer. The 3000-series aluminum alloys are commonly used as core materials because they provide structural stability during brazing processes and are advantageous for large-scale and cost-effective production. In contrast, the 4000-series alloys, employed as clad layers, exhibit excellent corrosion resistance and a relatively low melting point, which enables brazing at reduced temperatures while simultaneously improving surface protection. Therefore, the optimization of alloy design and brazing parameters is critical for improving the overall performance of aluminum clad materials. In this study, a 3102 aluminum alloy was modified by the

addition of rare earth (RE) elements at concentrations of 0, 0.2, 0.5, and 1 wt.% in order to develop novel clad alloys. Brazing experiments were conducted at 590, 610, and 630 °C for 10 min using a $KAlF_4$-based flux. The interfacial joining behavior and microstructural evolution were examined using X-ray CT and field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). At 590 °C, the core and clad regions remained clearly separated, indicating insufficient bonding. In contrast, successful brazing was achieved at both 610 °C and 630 °C. Notably, the joints at 610 °C exhibited uniform and stable interfaces, while those at 630 °C showed evidence of excessive melting, suggesting degradation of interfacial quality at higher brazing temperatures. Further analysis using EBSD revealed that the as-extruded alloy showed no evidence of recrystallization. However, clear recrystallization occurred after heat treatment at 610 °C. Moreover, the grain size decreased significantly with increasing RE content, from 303.67 μm (0 wt.%) to 264.96 μm (0.2 wt.%), 144.28 μm (0.5 wt.%), and 71.98 μm (1 wt.%). This grain refinement effect of RE additions is expected to enhance both the mechanical properties of the core alloy and the stability of brazed interfaces. Overall, this study systematically demonstrates the effect of RE addition on the microstructure and joining behavior of 3102 aluminum alloys under different brazing conditions. The results highlight the importance of selecting optimal brazing temperatures—particularly 610 °C as well as the role of RE-induced grain refinement in improving clad material performance. These findings provide valuable guidelines for the design of high-performance aluminum clad materials, thereby contributing to enhanced reliability and efficiency in automotive thermal management systems.

[P5-4]

Effects of Mg Additions on the Microstructure, Mechanical Properties, and Electrical Conductivity of Al-4Zn-2Cu-0.5MM Alloys: BYEONGKWON LEE, EUNCHAN KO(Chonnam national university, Korea Institute of Industrial Technology), YONGHO KIM, HYOSANG YOO, HYEONTAEK SON*(Korea Institute of Industrial Technology), TAEHOON KIM(Chonnam national university)

Keywords: Aluminum, Zinc, Copper, Mischmetal, Mechanical properties, Electric conductivity

In this study, the effects of Mg additions on the microstructure, mechanical properties, and electrical conductivity of Al-4Zn-2Cu-0.5MM alloys were investigated. The alloys were fabricated by gravity casting, and their phase constitution and microstructures were analyzed using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive spectroscopy (EDS). The addition of Mg promoted solid solution strengthening and altered precipitation behavior, leading to grain refinement and improved strength. However, as the Mg content increased, electron scattering became more pronounced, resulting in a gradual decrease in electrical conductivity. An optimal balance of properties was achieved at a specific Mg content. These results demonstrate the potential of Mg additions to optimize the strength–conductivity relationship in Al-Zn-Cu-MM alloys and provide an effective alloy design strategy for lightweight structural applications requiring both electrical and thermal conductivity.

[P5-5]

Ni 첨가에 따른 고강성 Al-18Si-xNi 주조 합금의 미세조직 변화와 물리적 특성의 상간관계 : 이윤호, 이상익(한국재료연구원, 한양대학교), 이정무(한국재료연구원), 장재일(한양대학교), 조영희*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Si-Ni casting alloy, microstructure, Elastic modulus, Electric conductivity, Thermal expansion coefficient

고강성과 낮은 열팽창 특성이 요구되는 경량 구조용 소재 개발을 위해, 본 연구에서는 Al-Si 주조 합금에 Ni을 첨가하여 응고 거동과 미세조직 제어에 미치는 영향을 고찰하였다. Ni 함량이 증가함에 따라 합금의 응고 거동이 변화하여 미세조직 발달 및 물리적인 특성 변화에 직접적인 영향을 미쳤다. 특히, Al-18Si합금에서 Ni을 20 wt.% 및 24 wt.% 첨가했을 때 각각 Cloudy 형태와 Needle 형태의 금속간 화합물이 형성되었고, 이들은 Al_3Ni, Al_6Ni_3Si, Al_3Ni_2 등을 포함하는 2상 및 3상 혼합 구조를 나타냈다. 이러한 혼합상이 형성되면 Ni 함량에 따른 비탄성률, 열팽창계수, 전기전도도의 선형적인 증감량이 변화하는 것을 알 수 있었다. Ni 첨가량이 20 wt.% 및 24 wt.%일 때 미세조직 변화에 따라 탄성계수 증가율은 각각 1.64GPa/wt. %에서 2.19 GPa/wt.%로 증가하였으나, 이후 3상 혼합구조가 형성되면서 1.23GPa/wt.% 로 감소하였다. 또한, 열팽창계수와 전기전도도의 감소율은 혼합구조가 형성되는 조성조성에서 각각 0.24 - 0.15 - 0.08 (10^{-6} K^{-1}·wt. % $^{-1}$) 과 0.51 - 0.28 - 0.11 ($M\Omega^{-1}$ · m^{-1} ·wt. % $^{-1}$)로 감소하는 경향이 나타났다. 나노인덴테이션 통해 측정한 Al_3Ni, Al_6Ni_3Si, Al_3Ni_2의 탄성 계수는 각각 166.84, 190.14, 235.16 GPa로 측정되었다. 열역학 계산과 XRD 분석을 통해 상 분율을 예측 및 측정하였고, 이를 실험적 측정치와 비교·검증하여 Ni 함량 조절에 따른 미세조직-물성 상관관계를 도출하였다. 본 연구 결과는 100 GPa 이상의 고강성을 확보할 수 있는 주조용 Al-Si 합금 설계에 활용될 수 있으며, 고온·고강성 부품 소재 개발을 위한 중요한 지침을 제공한다.

[P5-6]

친환경 자동차 소재를 위한 폐스크랩을 활용한 Al합금 연구(A study Al alloys using waste scrap for eco-friendly automotive meterials): 이도윤*(조선대학교)

Keywords: 알루미늄, T6열처리

본 연구의 목적은 Al-8Mg-6Si 합금의 서로 다른 열처리 온도가 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하는 것이다. 이를 위해 폐스크랩을 활용하여 알루미늄 합금을 제작하였다. 본 연구에서는 Al-8Mg-6Si 합금을 주조하여 520ºC, 540ºC, 570ºC, 590ºC, 610ºC 각각의 온도에서 5시간 용체화 열처리한 후 급냉하였다. 용체화 열처리 후 미세조직을 관찰한 결과 570ºC의 온도가 최적의 온도라 판단되어 570ºC의 온도에서 열처리 한 시편을 각각 160ºC, 190ºC 온도에서 1시간, 2시간, 7시간, 12시간, 24시간

동안 시효를 진행하였다. 미세조직 및 상의 변화를 관찰하기 위해 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), X선 회절(X-ray Diffraction)을 이용하여 주요 결정상들의 변화를 분석하였다. 또한 비커스 경도 및 인장시험을 통해 기계적 특성을 평가하였다.

[P5-7]

기계학습을 위한 실험계획 기반 조합데이터셋 구축: 이경환, 전서연, 천재은, 조기섭, 최현주*(국민대학교)

Keywords: 7xxx계 알루미늄 합금, 기계학습, 기계적 물성

7xxx계 고강도 알루미늄 합금은 높은 강도와 우수한 내석성을 바탕으로 항공, 자동차 및 구조소재로 다양하게 활용되고 있다. 7xxx계 합금은 조성, 인공 시효 온도 및 시간 설정이 필요하며, 이는 석출 거동을 조절하여 최적의 기계적 물성을 도출하는 데 큰 영향을 준다. 기존의 실험적 설계는 많은 시간과 비용이 소모되어, 기계학습을 활용하여 합금을 설계하는 연구가 늘어나고 있다. 기계학습은 광범위한 데이터를 바탕으로 합금 특성을 정량적으로 예측할 수 있으며, 실험에서 얻은 데이터를 학습하면 예측 성능을 높일 수 있다. 본 연구에서는 628건의 실험데이터를 활용한 기계학습을 통해 최적의 후보군을 도출하였다. 도출된 후보군은 주조, 압연을 통하여 제작하고, 열처리 후 경도 측정 등 기계적 물성을 평가하였다. 그 후, 우수한 기계적 물성을 보이는 시효 조건에서의 미세 조직을 분석하였다. 기계학습을 활용한 7xxx계 합금 설계는 추후 더 뛰어난 물성을 가진 합금을 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

[P5-8]

Zr 첨가와 열처리에 의한 Al-Si-Cu합금의 미세조직과 기계적 특성의 변화: 강준이*(조선대학교)

Keywords: 알루미늄, 열처리, Al_3Zr

본 연구의 목적은 Al-Si-Cu합금의 Zr 첨가 따른 물성 변화를 토대로 열처리 공정 중 발생하는 변화를 관찰하는 것이다. 본 연구에서는 Al-Si-Cu 합금에 Zr을 0.2, 0.4, 0.8, 1 wt% 함량을 첨가하였다. 이후, 495°C에서 4시간 용체화한 후 190°C에서 1, 2, 5, 8, 16, 24, 48, 100, 1000시간동안 시효하였다. 열처리에 따른 변화를 관찰하기 위해 광학현미경, 주사전자현미경, 투과전자현미경, 에너지 분산 X선 분석, 전자 프로브 마이크로 분석기를 이용하여 미세조직 및 구조변화를 관찰하였다. 주사전자 현미경과 투과전자 현미경을 통해 더욱 미세한 상의 분석을 진행하였다. ICP-MS, XRD, JMatPro를 이용하여 성분분석과 상태도를 분석하였고, 기계적/열적 특성은 마이크로 비커스 경도시험기, 인장시험기, 시차 주사 열량계를 이용하여 평가하였다.

[P5-9]

Al-Zn-Mg-Cu알루미늄 합금에서 Sc 및 Er첨가가 인장특성에 미치는 영향 : 정대한(한국재료연구원, 부산대학교), 이윤수, 김원경(한국재료연구원), 김양도*(부산대학교), 김형욱*(한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄, Al-Zn-Mg-Cu, 인장특성

최근 탄소배출 저감과 운송 효율 향상을 위해 전기자동차 및 도심 항공 모빌리티(Urban Air Mobility, UAM)의 경량화가 중요한 과제가 되고 있다. 특히 비강도가 높고 부식 저항성이 우수한 고강도 7xxx계 알루미늄 합금은 이러한 요구를 충족할 수 있는 합금으로 주목받고 있다. 그러나 첨가 원소의 함량이 증가할수록 강도는 향상되지만, 주조 시 응고 온도 범위가 넓어져 응고 결함이 발생하기 쉽기때문에 다양한 부품으로의 제조가 까다롭다는 단점이 있다. 스칸듐(Sc)은 알루미늄 합금의 결정립 미세화와 강도 향상에 매우 효과적인 원소로 알려져 있으나, 높은 가격으로 산업적 적용이 제한적이었다. 이에 대한 대안으로 지르코늄(Zr)은 비교적 저렴하면서도 고온 안정성을 높여주는 장점이 있으며, Sc와 Zr을 동시에 첨가할 경우 $L1_2$ 구조의 $Al_3(Sc, Zr)$ 상이 형성되어 결정립 성장 억제와 고온특성 향상이라는 효과가 동시에 보고되고 있다. 또한 값비싼 Sc 합금 대신 Er합금을 첨가할 경우 Sc을 대체한 Er 화합물이 생성되어 비슷한 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 강도가 높은 7xxx계 알루미늄 합금인 Al-7.5wt%Zn-2.5wt%Mg-1.0wt%Cu합금에 Sc, Zr, Er을 미량 첨가하여 중력주조 및 열·기계적 공정을 거쳐 압연 판재를 제작하였다. 제작된 판재의 인장 시편을 만들고 적정 열처리를 하고, 각 시편에 대한 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였으며, 각 첨가 원소의 종류와 따른 차이를 비교하였다.

[P5-10]

마찰교반 용접된 금속소재의 결정립 크기 예측 연구: 김현, 이승준*(한국공학대학교)

Keywords: 마찰교반 용접, 알루미늄, 결정립 크기

본 연구에서는 고온 변형 시 온도와 변형률 속도의 복합적인 효과를 정량화하는 Zener-Hollomon (Z-H) 상수를 이용하여, 마찰교반 용접 (friction-stir welding, FSW) 후 교반부의 결정립 크기를 예측하는 모델을 연구하고자 하였다. 분석 대상으로는 항공우주 및 자동차 산업에서 수요가 높은 고강도 알루미늄 합금 등과 차세대 강판으로 주목받는 중 망간 강 등을 선정하였다. 기존 연구를 바탕으로 우수한 용접성을 보이는 툴 회전속도, 툴 이동속도에서 마찰교반 용접을 진행하여, 교반부의 결정립 크기를 분석하였다. 더하여, 각 소재에 대해 Z-H 상수를 도출하고, 실제 측정된 결정립 크기와의 관계를 분석, 예측 모델을 제안하고자 한다.

[P5-11]

AlSi10Mg 합금의 제조 공정 및 열처리에 따른 미세구조와 기계적 특성 분석: 이희상(홍익대학교), 문준혁(서울대학교), 류채우*(홍익대학교)

Keywords: Additive manufacturing, Microstructure, Mechanical properties, Al-Si alloy, Heat treatment

Additive Manufacturing(AM)의 대표적인 금속 제조 방식인 Powder Bed Fusion(PBF)은 복잡한 형상의 정밀 제작, 재료 사용의 효율성 증대, 설계 자유도의 극대화 측면에서 우수한 이점을 제공한다. 특히 Al-Si 합금은 좁은 응고 범위, 낮은 열팽창 계수, 우수한 용융 풀 유동성으로 인해 수축 변형이 적고 고온 균열에 대한 민감도가 낮아 AM에 적합한 재료로 평가된다. 그 중 AlSi10Mg

합금은 높은 인장 강도, 우수한 내마모성, 높은 강도 대비 낮은 중량 등의 특성으로 인해 AM 분야에서 광범위하게 활용되고 있다. Laser-PBF(LPBF)로 제조된 AlSi10Mg 합금은 알루미늄 셀(Al-cell) 경계에 Al-Si eutectic 구조를 가진 미세구조를 나타내며, 이로 인해 동일 조성의 주조 합금과 비교 시 상이한 기계적 거동을 보인다. 본 연구에서는 저온 열처리 공정을 적용하여 LPBF 및 주조 공정을 통해 제조된 AlSi10Mg 합금의 미세구조 변화와 기계적 특성 간의 상관관계를 비교 분석하고자 한다. 이를 통해 저온 열처리 공정이 AM 공정을 통해 제조된 합금의 상용화를 위한 효과적인 전략이 될 수 있음을 제시하고, 항공 우주, 자동차 산업을 포함한 여러 산업에 응용될 수 있는 가능성을 논의한다. 본 연구에서 제시하는 열처리 공정에 대한 분석 결과는 LPBF로 제조된 AlSi10Mg 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 대한 가공 조건과 열처리 효과에 대한 데이터 베이스 구축에 기여하며, Al-Si 계 합금 개발에 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

[P5-12]

마찰교반 공정을 적용한 AA7075 합금의 마모 거동: 한지혜(한국공학대학교), 이광진(한국생산기술연구원), 이승준*(한국공학대학교)

Keywords: 알루미늄, 마찰교반 공정, 내마모성

본 연구에서는 고강도 알루미늄 합금인 AA7075-T6에 마찰교반 공정을 적용한 후, 미세조직 변화와 마모 거리별 마모 형상, 내마모 특성 및 마모 메커니즘을 분석하였다. 마찰교반 공정 전후의 미세조직은 주사 전자 현미경으로 관찰하였으며, 마모 특성 평사는 10 N의 하중 조건에서 reciprocating 방식의 ball-on-disc 시험을 통해, 마모 거리 50 m 부터 1000 m까지 진행하였다. 마모 시험 후, 주사 전자 현미경과 입체 레이저 현미경을 활용하여 마모 형상 및 트랙을 정밀 분석하였다. 이를 바탕을 마찰교반 공정이 마모 거리별 내마모 특성에 미치는 영향을 비교하여, 마모 메커니즘을 규명하고자 한다.

[P5-13]

비열처리형 Al-5Mg-2Si-Mn 주조용 합금의 공정 Mg_2Si 개량화 기구 연구: 강청아(한국재료연구원, 부산대학교), 정수진(포항산업과학연구원), 한상섭(기초과학연구원), 이제인*(부산대학교), 조영희*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Mg-Si (Magsimal-59) 주조용 합금, 공정 Mg_2Si, 개량화, 희토류계 원소 (REE), 응고

최근 이산화탄소 배출 규제 강화로 수송기기의 전장화 수요가 증가하고 있으며, 연비 향상을 위한 차체 및 전장 부품의 경량화가 필수적이다. 이를 위해 산업계에서는 부품의 대형화 및 일체화 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 경량 소재인 알루미늄 합금은 목표 물성을 확보하기 위해 일반적으로 T6 열처리가 요구되며, 용체화 후 냉각 과정에서 비틀림(Distortion)이 발생할 수 있다. 특히 대형·일체형 부품에서는 위치, 형상 및 크기에 따른 냉각 거동 차이로 열처리성 편차가 발생하여 균일한 품질 확보가 어렵다. 따라서 열처리를 생략하면서도 우수한 기계적 특성을 확보할 수 있는 비열처리형 알루미늄 주조용 합금 개발이 요구되고 있다. 비열처리형 Al–Mg–Si계 합금인 Magsimal-59는 Mg의 높은 고용도와 응고 중 형성되는 공정 Mg_2Si에 의해, as-cast 상태에서도 우수한 강도와 내식성을 확보할 수 있다. 그러나 주조 시 형성되는 공정 Mg_2Si 상은 주로 망상 형태로 존재하여 국부 응력 집중을 유발하고, 이로 인해 기계적 성질이 저하된다. 따라서 Mg_2Si의 형상과 크기는 합금의 기계적 특성에 큰 영향을 미치며, 비열처리 합금에서 이를 효과적으로 제어하는 것은 중요한 과제이다. 본 연구에서는 비열처리형 Al–Mg–Si계 주조 합금인Magsimal-59를 대상으로, 응고 중 형성되는 공정 Mg_2Si의 개량화를 통해 미세조직을 제어하고 기계적 특성을 향상시키고자 하였다. 이를 개선하기 위해 희토류계 및 알칼리 토금속계 원소를 미량 첨가하여 미세조직 변화를 분석하고 개량화 기구를 규명하였으며, 다양한 원소 종류와 첨가량을 비교하여 최적의 조건을 도출하였다. 연구 결과, 적정 미량 원소 첨가는 공정 Mg_2Si의 형상을 개량화하고 조대화를 억제하며 균일한 분포를 유도함으로써 Magsimal-59 합금의 기계적 특성의 동시 향상을 기대할 수 있다. 이러한 미세조직 개량화 효과는 Magsimal-59 합금이 비열처리형 상태에서도 대형·일체형 수송 부품에 적용 가능한 소재로서의 잠재력을 지니고 있음을 시사한다.

[P5-14]

전력 케이블 적용을 위한 재생 알루미늄의 기계적 및 전기적 특성 평가 : 양원석*, 김창근, 조정민, 신동훈(대한전선(주))

Keywords: 알루미늄, 재활용, 저탄소, 친환경, 전기전도도

전력 케이블 분야에서 전력 송전을 위한 도체 소재는 높은 전기 및 열전도성, 우수한 기계적 특성과 내식성을 갖는 구리 소재가 주로 사용되며, 알루미늄은 상대적으로 낮은 전기전도도(구리 대비 약 61%), 높은 열팽창계수 등으로 인해 가공송전선 등 일부 제품에만 적용되었다. 그러나 구리 광산의 지속적인 채굴량 감소와 같은 고질적인 공급 부족 문제와 더불어 친환경 에너지 전환 등과 같은 폭발적인 수요 증가에 따른 소재 가격의 급등으로 가격 경쟁력이 우수한 알루미늄이 전력 케이블용 도체로 점차 전환되는 추세이며, LV(Low Voltage)급에서 HVDC(High voltage Direct Current) 송전 시스템까지 다양한 제품군으로 적용 범위가 점차 확대되고 있다. 재생 알루미늄 소재는 신재 대비 최대 95%의 에너지 소비를 절감할 수 있어 알루미늄 원광의 채굴 및 정련 과정에서 높은 에너지 소비 및 탄소 배출을 수반하는 문제를 해결할 수 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 통해 환경 문제 해결과 더불어 원자재의 수입 의존도를 낮추고, 지정학적 리스크에 대응할 수 있는 전략적 자원 관리 수단으로 각광받고 있다. 그러나 전력용 도체 소재는 미량의 불순물 혼입에도 민감하게 반응하여 기계적, 전기적 특성을 크게 저하 시킬 수 있어 재생 알루미늄을 전력용 도체로 적용하기 위해서는 스크랩을 활용하여 제조 된 재생 알루미늄의 불순물이 미치는 특성에 대한 평가가 필요하며, 이를 통해 스크랩 첨가에 의해 발생되는 불순물을 제거할 수 있는 정련 공정 개발의 방향성을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 스크랩을 활용하여 만들어진 재생 알루미늄 소재의 전력 케이블용 도체로 적용하기 위한 가능성을 평가하기 위하여 초기 제품 입고 단계인 Al Rod와 신선 공정을 거친 신선재의 미세조직을 분석하고, 기계적 특성 및 전기적 특성을 평가 후, 상용 도체와 비교를 통해 케이블 도체로의 적용 가능성을 확인하고자 하였으며, 여기에서 발생되는 문제를 바탕으로 재생 알루미늄 소재를 적용하기 위한 향후 개발 방안을 도출하고자 하였다.

[P5-15]

T6 처리한 Al-7Si-0.4Mg 합금에서 예비시효 조건이 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향: 안재은, 손현우, 조영희, 이정무*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Si-Mg alloy, T6 heat-treatment, pre-aging, microstructure, mechanical property

Al-Si-Mg계 주조 합금인 A356 알루미늄 합금은 경량이며 주조성, 내식성, 용접성, 비강도 등 제반 특성이 우수하여 자동차 등의 수송기기에 널리 사용되고 있다. Al-Si-Mg계 주조용 합금은 열처리형 합금으로, 용체화 처리와 인공시효를 조합한 T6 처리를 실시하여 우수한 강도와연성의 조합을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. Al-Si-Mg계 합금 및 Al-Mg-Si 계 합금을 인공시효 처리하면 다음의 과정으로 시효 석출이 진행되는 것으로 알려져 있다. 과포화고용체 → atomic clusters → GP zones → β″ → β′, U1, U2, B′ → β, Si 일반적으로 용체화 처리 후 인공시효를 바로 진행하지 못하는 시간 지연이 발생한다. 이를 자연시효라고 하는데, 자연시효가 진행되면 인공시효 후의 특성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 이를 개선하기 위하여 Al-Mg-Si계 6xxx계 가공용 합금에서는 용체화 처리 직후 저온에서 예비시효 처리를 실시하여 시효 초기에 생성되는 클러스터의 종류/형태를 제어하여 인공시효 후의 특성 저하를 방지하는 방안이 활발하게 연구되고 있다. 하지만, Al-Si-Mg계 합금에서 예비시효 처리가 인공시효후의 기계적 특성에 미치는 영향은 잘 알려져 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 상용 A356합금을 용체화 처리한 후 다양한 온도/시간 조건에서 예비시효 처리를 진행하고, 이후 인공시효 처리를 진행하였다. 이 시편에 대하여 인장시험을 실시하여 기계적 특성을 평가하고, 이의 미세조직적 특징을 분석하여 예비시효처리가 A356 합금의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

[P5-16]

알루미늄 tube 압출재에서의 결정립 제어를 위한 열처리 공정 조건 검토에 관한 연구: 김선기*((주)나이스엘엠에스), 하성호, 이근효, 이상현, 조대연(한국생산기술연구원), 윤상민, 김영균(고등기술연구원), 구승현((주)나이스엘엠에스)

Keywords: 고순도 알루미늄, tube 압출, 조직제어, 열처리

알루미늄은 FCC 격자 구조를 가지고 있어 소성 변형 특성이 우수하고 이러한 특성 때문에 다양한 형상 조건의 판재 및 형재로 제조되어 산업적으로 다양하게 응용되고 있으나, 압출 이후 소성 가공 공정을 적용할 수 있는 형재(ex. tube 형상)일 경우, 압출재의 조직 제어를 위해서는 압출시의 냉각 방안 및 열처리를 통한 조직제어 공정이 산업적으로 적용할 수 있는 결정립 크기 제어방안으로 검토되고 있음. 또한 순수 알루미늄은 냉간 소성 변형 이후 높은 회복특성을 보이는 것으로 알려져 있어, 열처리 공정 조건 및 관련 특성의 평가가 쉽지 않다는 특성이 있음. 이러한 조직제어 특성을 확인하기 위해 본 기관에서는 상용 순수 알루미늄 소재를 사용하여 tube 형상으로 압출한 후, 열처리 공정 조건(열처리 온도 및 시간)을 변화하여 열처리를 진행, 특성 평가를 진행한 바 있음. 이에 본 연구에서는 상용순수 소재에서의 특성 평가 결과를 바탕으로, 고순도 소재 빌렛을 사용하여 양산급 압출 공정에서 tube 형상으로 압출하였으며, 이후 열처리 공정 조건(온도 및 시간)을 제어한 각각의 시편을 제조하였음. 이후 각각의 시편에 대해 미세조직, 결정립 크기 및 기계적 특성 평가를 진행하였으며, 이를 통해 고순도 알루미늄 소재에서의 tube 형상에 대한 조직 변화에 대해 열처리 공정 조건이 미치는 영향을 검토하고자 하였음.

[P5-17]

스크랩을 첨가한 알루미늄 소재의 특성 변화에 미치는 열처리 공정조건에 대한 연구: 김선기*, 김경수((주)나이스엘엠에스), 이근효, 이상현, 조대연(한국생산기술연구원), 노미란, 구승현, 황종일((주)나이스엘엠에스)

Keywords: 저탄소 알루미늄, 스크랩, 연속주조, 압출

알루미늄 합금(Al alloy)은 현재 철(Fe)와 함께 산업에서 폭넓게 사용되는 금속 소재로서, 최근 탄소중립과 관련한 다양한 저탄소 소재 적용 관련 기술이 연구 및 개발되고 있음. 알루미늄 산업에서 저탄소 소재 적용 공정의 경우, 알루미늄 스크랩을 첨가하는 방법이 일반적으로 적용되고 있는데, 특히 기존에 보고된 내용에 따르면 연간 재활용되는 알루미늄 캔은 약 75% 이상을 상회하고 있으며, 자동차 산업을 비롯한 다양한 산업군에서 발생하는 알루미늄 소재 재활용률 역시 크게 증가하고 있는 것으로 보고되고 있음. 그러나 스크랩에는 알루미늄을 제외하고도 다양한 금속소재 및 불순물, 개재물 등이 공존하고 있어, 이들을 제거한 이후에도 일부 잔류하고 있는 불순물들이 알루미늄 용탕 및 제품에 혼입, 제품 특성의 저하가 우려되고 있음. 이러한 이유로 제품 생산시의 스크랩 활용률은 상당히 제한적으로 이루어지는 것이 현실이지만, 탄소 저감 정책 관련하여 스크랩 사용량을 증가시키고자 하는 연구가 이루어지고 있음. 이에 본 연구에서는 스크랩을 첨가한 소재를 사용함과 동시에 높은 전기전도도를 확보해야 하는 케이블용 Al 소재의 개발을 위해 알루미늄 스크랩을 50% 이상 첨가한 용탕을 사용하여 연속주조 빌렛을 제조한 후 용탕의 특성 평가 및 주조 이후 빌렛 특성 평가를 진행하였음. 이후 제조한 빌렛을 봉(rod)상으로 압출한 후 압출재의 특성 평가를 통해 스크랩 첨가 비율이 제품의 특성에 미치는 영향을 검토함과 함께, 특성 향상을 위한 방안을 검토하고자 하였음

[P5-18]

Li 첨가 고강도 경량 알루미늄 합금의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 연구: 김용호*, 유효상, 이병권, 고은찬, 손현택(한국생산기술연구원)

Keywords: Aluminum, Lithium, Microstructure, Extrusion, Mechanical properties

알루미늄 합금은 대표적인 경량 소재로써 소형 경량화에 대한 기술적 요구로 인해 각 부품 적용에 대한 연구 개발 및 상용화가 가속되고 있다. 그 중 Al-Li계 합금의 경우 밀도가 낮고 높은 비강도를 가지고 있어 우주 항공 및 군수 분야의 재료로 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Al-Cu-Li-Zr계 합금의 소성가공 및 열처리에 따른 미세조직 변화와 기계적 특성을 알아보기 위해 주요 강화상 T1(Al2CuLi) 및 T2(Al6CuLi)의 생성을 위한 최적 열처리 공정에 관한 연구를 수행하였다. 사용된 Al-Cu-Li-Zr계 합금은 고주파용해로를 이용하여 Ar gas 분위기에서 주조하였고, 200ºC 온도로 예열된 금형(ø70x200 mm)을 사용하였다. 압출 가

능하도록 가공된 빌렛(Ø70x90 mm)을 550ºC에서 2시간 용체화 처리 후 450ºC 온도에서 직접압출을 통하여 t4x50 mm(압출비 : 14:1) 압출 판재를 제조하였다. 미세조직 분석 및 상 분석을 위해 FESEM, EBSD, XRD를 사용하였다. 압출 및 합금원소 첨가에 따른 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험을 실시하였다. 이를 통해 본 연구는 Al-Cu-Li-Zr계 합금의 열처리 및 소성가공 조건이 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향을 심층적으로 이해하고, 고성능 경량 합금 개발을 위한 최적 공정 설계에 기여하고자 한다.

[P5-19]

고강도 알루미늄 및 니켈 코팅을 이용한 반도체용 웨이퍼 링 프레임의 경량화 및 내구성 향상 기술 개발: 김찬일, 강헌(한국생산기술연구원)

Keywords: 웨이퍼 링 프레임, 고강도 알루미늄, 경량화, 니켈 코팅, 내마모성, 치수 정밀도

반도체 제조 공정에서 웨이퍼 링 프레임은 웨이퍼 이송 및 고정 과정의 핵심 부품으로, 경량화와 내구성 향상은 생산성 및 품질 확보에 필수적인 요소이다. 기존 스테인레스 스틸은 우수한 강도를 보유하나 무게가 크고 반복 사용 시 마모·변형이 발생하여 물류 효율과 신뢰성에 한계를 가진다. 본 연구에서는 스테인레스급 강도를 갖는 고강도 알루미늄 합금을 적용하여 30% 이상 경량화를 달성하고, 프레스 가공 조건 최적화를 통해 치수 정밀도를 ±0.3 mm 이하로 확보하였다. 또한, 내마모성과 내식성 강화를 위해 아노다이징 및 무전해 니켈 코팅을 적용하여 경제적, 물성적 효율을 비교하였으며, 코팅 두께와 균일도를 제어하여 표면 경도를 최대 500 HV까지 향상시켰다. 본 연구는 반도체 웨이퍼 링 프레임의 국산화 및 경량화 기술 확보를 통해 물류 효율 향상과 불량률 감소에 기여하며, 향후 디스플레이·정밀기계 부품 등으로의 기술 확장에 기여할 것으로 기대된다.

[P5-20]

유한요소 해석을 활용한 알루미늄 웨이퍼 링 프레임용 프레스 트림 공정 기술 개발: 김찬일, 강헌*(한국생산기술연구원)

Keywords: 알루미늄, 웨이퍼 링 프레임, Press Trimming, 유한요소해석, Deform, 금형 설계

본 연구는 반도체 제조 장비용 알루미늄 웨이퍼 링 프레임의 고정밀 제조 기술을 개발하는 것을 목적으로 한다. 대상 부품은 원형의 띠 형상을 가지며, 기존에는 레이저 방식을 활용하여 형상을 구현하였지만 프레스 트림 공정을 적용하여 외형 치수를 정밀 가공에 대한 연구로 공정 설계 단계에서 상용 유한요소해석을 활용하여 절단면의 품질 등을 예측하고, 공정 변수(펀치 속도, 간극, 클리어런스 등)를 최적화하였다. 시뮬레이션 결과를 기반으로 시제품용 금형을 제작하여 프레스 성형 시험을 수행하였으며, 치수 정확도와 단면 품질을 측정하였다. 본 연구에서 제안한 시뮬레이션 기반 프레스 트림 공정 설계 방법은 알루미늄 웨이퍼 링 프레임에 적용 가능성을 확인하였으며, 향후 반도체 장비 부품의 경량화 및 고정밀 가공 기술 고도화에 기여할 것으로 기대된다.

[P5-21]

고강도 Al-Li계 합금의 Mg 첨가량에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 연구: 유효상*, 김용호, 이병권, 고은찬, 손현택(한국생산기술연구원)

Keywords: Aluminum, Lithium, Extrusion, Microstructure, Mechanical properties

Al-Li 합금은 낮은 밀도와 높은 탄성계수를 동시에 제공하여 우수한 비강도 및 강성을 확보할 수 있으며, 항공우주, 자동차, 국방산업과 같이 경량화가 필수적인 분야에서 핵심 소재로 주목 받고 있다. 특히, Li의 첨가는 합금의 밀도를 감소시키는 동시에 탄성계수를 향상시켜 기존 Al 합금 대비 구조적 효율을 극대화한다. Cu의 첨가는 석출경화 반응을 활성화하여 기계적 강도를 증진시키며, Zr은 분산상을 형성하여 재결정 억제와 미세조직 안정화에 기여한다. 이를 통해 Al-Li 합금은 고온 안정성과 우수한 기계적 성능을 동시에 확보할 수 있다. 그러나 기존 Al-Li 합금은 낮은 연성과 균열 감수성으로 인해 가공성과 내구성에서 한계를 보인다. 이를 극복하기 위해 Mg의 첨가가 필요하다. Mg는 석출 거동을 조절하여 강도와 연성을 동시에 향상시키며, 석출물의 분포와 크기를 최적화함으로써 균열 저항성을 높인다. 또한, Mg 첨가는 고온에서의 기계적 안정성을 개선하고, 합금의 균열 성장 저항성을 강화하여 항공기 구조재로의 적용 가능성을 확장시킨다. 본 연구에서는 Mg 첨가가 Al-Li 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 알루미늄 합금을 제조하기 위해 고주파 유도로를 이용하여 중력 주조하였고, 가공 된 빌렛은 열간 압출하였다. 제조 된 주조재 및 압출재의 미세조직은 주사전자현미경 및 XRD를 이용하여 관찰하였으며, 인장시험을 통한 기계적 특성 평가를 하였다.

[P5-22]

외부장 인가에 의해 제조된 AA6082 합금 연속주조 빌렛의 열처리: 송람*, 김태형, 정재헌, 조훈(한국생산기술연구원)

Keywords: Al-Mg-Si 합금, 외부장인가, 연속주조공정, 빌렛, 균질화열처리

최근 자동차 산업에서는 자동차 전주기적 탄소배출 저감을 위한 전동화가 빠르게 추진되고 있으며, 이에 따라 배터리 시스템과 추가 전장 부품의 탑재로 인한 차량 중량 증가로 인해 차체 경량화 요구가 다시 부각되고 있다. 이에 따라 구조 부품에는 경량성과 더불어 고강성 및 충격흡수 성능 등이 동시에 요구되고 있으며, 이를 만족하는 알루미늄 압출재 부품의 수요가 증가하고 있다. 고품질 압출재 확보를 위해서는 균일하고 미세한 응고조직을 갖는 연속주조 빌렛의 제조가 필수적이다. 일반적으로 응고조직의 미세화를 위해 Al-Ti-B계 미세화제를 첨가하지만, 제조 원가 상승, 유동성 저하, 과잉 첨가 시 응집체 형성에 따른 결함 발생 등의 문제를 일으킬 수 있다. 본 연구에서는 압출성과 절삭성이 우수한 AA6082 합금을 대상으로 연속주조 중 초음파 인가를 적용하여 미세 응고조직을 갖는 직경 10인치(약 254 mm)의 알루미늄 빌렛을 제조하였다. 초음파 인가로 형성된 미세한 결정립과 정출상의 분포는 기존 주조조직과는 상이한 특성을 가지며, 이는 후속 균질화 열처리 거동에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 이러한 미세화 조직을 갖는 연속주조 빌렛에 대한 열처리 조건 최적화에 대한 연구는 상대적으로 미비하다. 이에 본 연구에서는 초음파 인가 유무에 따른 응고조직 차이에 따라 균질화 열처리 온도 및 시간에 따른 조직 변화를 비교하였다. 본 연구를 통해 초음파 인가 기술이 연속주조 빌렛 제조에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인함과 동시에, 그에 따라 변화된 조직 특성에 대응하는 후속 열처리 프로세스 최적화의 중요성을 제시하고자 하였다.

[P5-23]

비전 인식 기술을 활용한 알루미늄 스크랩 실시간 분류 시스템 개발: 강헌, 김참일(한국생산기술연구원)

Keywords: 알루미늄 스크랩, 인공지능, YOLO, 비전인식, 객체 탐지, 재활용 자동화

본 연구는 재활용 공정의 효율성을 극대화하기 위해 알루미늄 스크랩의 실시간 자동 분류 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 활용 시스템은 YOLO(You Only Look Once) 객체 탐지 알고리즘과 산업용 비전 인식 장치를 결합하여, 조성으로 분류된 스크랩 별 형상에 따른 신속하고 정확하게 분류하는 연구로 학습 데이터는 산업에서 유통되는 스크랩을 고해상도 영상을 통해 데이터베이스를 구축하였으며, 합금 종류별·표면 코팅 여부별 라벨링을 수행하였다. YOLO 모델을 기반으로 최적화한 결과, 95% 이상의 인식 정확도와 초당 50프레임 이상의 처리 속도를 달성하였다. 또한, 조명 변화·오염·스크래치 등 산업 현장의 변동 요인을 반영하였으며, 분류 결과를 분류설비와 연동하여 자동 이송 장치에 실시간 전달하는 프로토타입을 구현하였다. 본 기술은 알루미늄 재활용 공정에서 합금별 선별 정확도를 향상시켜 원재료 품질 확보, 탄소배출 저감 대응 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P5-24]

Al-Mg-Si계 합금의 시효거동에 미치는 Zr 미량첨가의 영향: 백성현, 남수민, 어광준, 손현우*(한국재료연구원)

Keywords: Al-Mg-Si alloy, microalloying, precipitation, thermal stability, Zr addition

Al-Mg-Si계 합금은 높은 비강도와 우수한 성형성을 바탕으로 전기자동차 배터리 외장재 등 열환경에 장시간 노출되는 부품에 널리 사용된다. 그러나 고온 노출 시 용질 확산이 촉진되어 석출물 조대화가 발생하고 기계적 특성이 저하되어 열안정성을 향상시킬 필요가 있다. 기존에는 Sc, Yb, Er 등의 첨가를 통해 Cu 확산을 억제하고 열안정성을 개선하였으나, 경제성이 낮아 상용화에 한계가 있었다. 본 연구에서는 Zr을 대체 원소로 활용하여 이러한 문제를 해결하고자 하였다. Zr은 Cu와의 결합력, 고용도 및 엔탈피 측면에서 희토류 원소와 유사하나, Al-Cu-Zr 3원계상을 형성하지 않고 낮은 확산속도로 인해 pairing 형성이 제한될 수 있다. 이에 고온 시효를 통해 Zr의 확산속도를 인위적으로 향상시켜 Cu와의 pairing 형성을 유도하고자 하였다. 합금은 850ºC에서 용해 후 200ºC로 예열된 금형에 주입하여 주조하였으며, 550ºC에서 24시간 균질화 처리 후 80% 냉간 압연하였다. 이후 550ºC에서 4시간 용체화 처리한 시편을 200ºC, 275ºC, 350ºC에서 최대 200시간 인공시효하였고, 시효 거동은 비커스 경도(0.1 kgf) 및 전기전도도 측정을 통해 평가하였다.

[P5-25]

Microstructural Evolution and Mechanical Anisotropy of Aluminum 8011 Alloy under Hot Rolling with Different Final Thicknesses : Kim Kyung Il*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: aluminium alloy, hot rolling, simulations, metallography, mechanical properties

Hot rolling is a critical process that determines both the quality and productivity of aluminium rolled products. In this study, the influence of final band thickness on the microstructure, texture, and mechanical properties of aluminum 8011 alloy was examined. Reducing the thickness from 6 mm to 3.25 mm produced a more uniform grain distribution but also reduced the fraction of random texture components (64% → 42%) and recrystallized grains (83% → 55%). Mechanical testing showed that significant differences in elongation between rolling and transverse directions occurred only in the 3.25 mm band, which also exhibited more than 1.5% higher earing compared to the 6 mm band. These results emphasize the trade-off between the productivity benefits of thinner hot-rolled bands and the accompanying changes in microstructure and anisotropy.

P6 : 수소재료
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P6-1]
극저온환경에서 CP-Ti(Pure Ti)의 인장 변형 및 파괴 거동 분석: 이정찬, 윤준원, 안찬울(한국생산기술연구원, 고려대학교), 손석수(고려대학교), 이민수*, 박창수*(한국생산기술연구원)
Keywords: Titanium, Cryogenic temperature, Deformation twinning, Fracture, Crystallographic texture

Ti는 높은 비강도와 우수한 내식성 덕분에 항공우주, 자동차, 바이오 및 방위산업 등의 다양한 산업 분야에서 널리 활용되고 있다. 특히, 불순물이 소량 첨가된 Ti 합금은 상온대비 극저온 환경에서 뛰어난 인성 특성을 보여 항공우주 및 극저온 액화 수소 저장/이송 등의 극한 환경용 소재로 주목받고 있다. 이러한 극한 환경에서는 재료의 신뢰성 확보를 위해 Ti의 변형 및 파괴 메커니즘에 대한 근본적인 이해가 필수적이다. 본 연구에서는 20~300 K까지의 온도 범위에서 CP-Ti(Grade 1)의 극저온 인장 실험(ASTM E8M, 변형률 속도 10^{-3} s^{-1})을 통한 Ti의 변형 특성과 파괴 메커니즘을 조사하였다. 온도에 따른 파괴 메커니즘을 규명하기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 활용한 파면 관찰과 EBSD를 이용한 변형 쌍정과 쌍정에 의한 집합조직 변화를 분석하였다. 인장 실험 결과 온도가 낮아질수록 강도와 연성이 함께 향상되는 뛰어난 극저온 특성이 나타났다. 특히 20K에서는 크고 작은 응력 변동이 반복되는 톱니 모양의 변형 곡선(serration)이 관찰되었고, 높은 가공경화와 더불어 파단면에는 균일하고 미세한 딤플이 형성되었다. EBSD 분석 결과, 극저온 변형은 다양한 쌍정 변형, 특히 $\{11\bar{2}2\}$–$\{10\bar{1}2\}$ 이중 쌍정의 영향을 크게 받았으며, 이는 결정립 미세화, 가공경화 향상에 큰 영향을 주었다. 이러한 결과는 α-Ti의 극저온 기계적 성능 향상에 있어 변형 쌍정이 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다.

[P6-2]
제조 공정에 따른 SUS 316L의 미세조직 차이와 수소취성 저항성: 이성광(한국생산기술연구원, 경북대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)
Keywords: 수소취성, 스테인리스강, in-situ 수소 장입, 저속 변형 시험

수소취성은 수소 환경에서 금속 재료의 연성을 급격히 저하시키는 현상으로, 수소 저장·운송 구조재료의 안정성 확보를 위해 반드시 극복해야 한다. 본 연구에서는 제조 방식에 따른 SUS 316L의 미세조직 차이가 수소취성 거동에 미치는 영향을 분석하였다. Powder Bed Fusion (PBF), Directed Energy Deposition (DED) 및 압연방식으로 제작된 시편에 대해 uncharged 조건과 in-situ 수소 장입 조건에서 slow strain rate test를 수행하였다. 연신율 저하와 단면적 감소율 정도를 정량화하기 위해 수소취성 지수(Hydrogen embrittlement index, HEI)를 산정하였다. SEM 및 EBSD 분석 결과, PBF 시편은 수소 환경에서도 안정적인 austenite 상을 유지하며 낮은 HEI와 높은 변형율을 나타냈다. DED 시편은 상변태 없이 표면 균열이 형성되었고, AR 시편은 α'-martensite 상변태와 뚜렷한 연성 저하가 관찰되었다. 본 연구는 제조 공정에 따른 미세조직이 수소취성 저항성에 미치는 차이를 규명하고, PBF와 같은 적층 제조 공정이 수소취성 저항성을 향상 시킬 수 있는 효과적인 방법임을 제시한다.

[P6-3]
Severe Hydrogen Embrittlement of CrCoNi Medium-Entropy Alloy Under In-Situ Conditions: Chung Yoonmoon, Seung Jae Lee, Jeongho Han*(Hanyang University)
Keywords: High Entropy Alloy, Medium Entropy Alloy, CrCoNi, Hydrogen Embrittlement

High-entropy alloys (HEAs) have recently emerged as promising structural materials because of their outstanding mechanical properties, particularly under demanding service environments. Among them, face-centered cubic (FCC)–based HEAs such as the Cantor alloy (FeMnCrCoNi) are often highlighted for their resistance to hydrogen embrittlement (HE), which arises from multiple slip systems, strong atomic-scale interactions, and solid-solution strengthening effects that hinder hydrogen transport to defects. On this basis, attention has shifted to the CrCoNi medium-entropy alloy (MEA), a derivative of the Cantor alloy with fewer principal elements, which has demonstrated enhanced mechanical performance across a variety of conditions. Most prior assessments of HE in advanced alloys have relied on ex-situ pre-charging, where hydrogen is introduced before testing. However, this method may fail to represent the degradation processes occurring during real-time exposure. To address this limitation, the present study employed both pre-charging and in-situ hydrogen charging to investigate fracture behavior. The commercial 316L stainless steel was included as a benchmark reference, enabling direct comparison of materials and charging conditions within a unified framework. The results revealed a striking outcome: rapid fracture occurred only in CrCoNi under in-situ charging, while all other combinations exhibited relatively stable behavior. Through various analytical techniques, the underlying causes of this unexpected HE were investigated in detail.

[P6-4]
AB_2 수소저장합금 A-site 불순물 치환에 따른 평탄압 예측식과 실제 실험 결과 비교 : 백민아, 석경찬, 홍성찬(한국생산기술연구원, 고려대학교), 최병철(한국생산기술연구원, 강릉원주대학교), 김동회*(고려대학교), 나태욱*(한국생산기술연구원)
Keywords: 수소저장합금, 평탄압, 불순물, Ferro 소재, PCT

수소저장합금은 특정 온도와 압력에서 수소를 가역적으로 흡수·방출할 수 있는 금속으로 다른 수소 저장 기술과 비교했을 때 부피 저장 밀도가 높고 저장 중 발생하는 에너지 손실이 적어 장기 저장이 가능한 차세대 수소 저장 방식으로 주목받고 있다. 수소저장

합금에서 수소는 기체 상태에서 합금 표면에서 해리되어 침입형 자리에 수소화물을 형성하며 저장되고 방출 시에는 수소화물이 분해되어 다시 수소 기체로 전환되며 합금으로부터 방출된다. 이러한 흡·방출 거동은 PCT(Pressure–Composition–Temperature) 장비를 통해 측정한 PCT 곡선으로 분석할 수 있으며 특히 PCT 곡선의 plateau 구간은 압력 변화 없이 수소 함량이 증가하는 구간으로 이때의 수소 압력을 평탄압이라 한다. AB_2계 수소저장합금의 주요 원소로는 Ti, Zr, Mn, Cr, Fe, V 등이 사용되며 이 중 Zr, Cr, V는 상대적으로 고가의 원소이므로 실제 산업적 활용을 위해서는 불순물이 포함된 Ferro 원소재를 사용한 소재 비용 절감이 필요하다. 그러나 Ferro 원소재에는 Fe 외에도 다양한 불순물이 포함되어 있어 합금의 수소 저장 성능에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 불순물이 AB_2계 수소저장합금의 수소 흡·방출 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 기본 조성을 설정하여 화학양론(Stoichiometry)을 유지한 상태에서 불순물 함량을 조정하고 PCT 곡선을 통해 수소 흡·방출 거동 변화를 분석하였다. 더 나아가 본 연구에서는 기존에 제안된 B-site 기반 평탄압 예측식을 활용하여 AB_2형 수소저장합금의 A-site 불순물 치환 효과를 검증하고자 하였다. AB_2 수소저장합금의 A-site는 주로 Ti와 Zr로 구성되며 본 연구에서는 Nb를 비롯한 불순물 원소를 A-site에 치환하여 합금을 제조하였다. 예측식을 이용해 A-site 조성 변화에 따른 평탄압을 계산하여 실제 실험에서 얻어진 PCT 곡선과 일치하는지 경향을 파악하고자 한다. 이를 통해 A-site 불순물 치환 시에도 기존 B-site 기반 예측식이 구조적으로 유효함을 검증하고 단일 조성 비교에 그치지 않고 A-site 원소 조성을 확장 적용함으로써 다른 불순물 치환계에서도 평탄압 예측이 가능함을 확인하고자 하였다. 이러한 결과는 기존 예측식이 단순히 B-site 원소 변화에 국한되지 않고 A-site 조성 변화에도 적용될 수 있음을 보여주며 향후 AB_2 수소저장합금의 조성 설계 및 소재 개발에서 평탄압 예측식의 활용 범위를 넓히는 기반 자료로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P6-5]

Ni 수전해 촉매의 산소 농도에 따른 알칼라인 수전해 성능 변화 연구: 박태윤, 박성민(한국생산기술연구원, 고려대학교), 권제영, 서보성(한국생산기술연구원), 차은빈(한국생산기술연구원, 고려대학교), 박광석*(한국생산기술연구원), 김동회*(고려대학교), 박형기*(한국생산기술연구원)

Keywords: Ni 촉매, 산소 농도, 산소 발생 반응

Ni 촉매는 높은 촉매 활성과 우수한 내구성으로 인해 알칼라인 수전해에서 널리 사용되고 있다. 그러나 Ni 촉매의 전기화학적 성능에 대한 산소 농도의 영향은 충분히 연구되지 않았다. 본 연구에서는 산소 농도의 변화가 Ni 촉매의 산소 발생 반응(Oxygen Evolution Reaction, OER) 성능에 미치는 영향을 규명하였다. 실험은 서로 다른 산소 농도 조건에서 진행 되었으며 선형 주사 전위법(LSV), 임피던스 분석(EIS)을 이용하여 OER 성능을 평가하였다. 산소 농도가 감소함에 따라 전류밀도, 과전압, 전하 전달 저항의 변동을 확인하였고 이는 OER 성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한 열역학 계산을 통해 Ni 촉매 내 산소 고용 거동과 산소 농도에 따른 산화물 석출량을 예측하였으며 환원 열처리 후 석출된 산화물이 제거됨에 따라 산소 농도가 감소하는 것을 확인하였다. 실제 TEM 분석을 통해 촉매 표면에서 산화물이 나노스케일에서 어떠한 형태로 존재하는지 관찰하고, 산화물의 크기, 분포, 구조적 특성을 분석하였다. 본 연구 결과는 Ni 기반 촉매의 OER 성능 최적화를 위한 산소 농도의 중요성을 강조하며 고효율 알칼라인 수전해 시스템 개발에 기여할 것으로 기대된다.

[P6-6]

Investigation of Hot Stamped 1.5 GPa High Performance Ultra High Strength Steels (UHSS) for Effects of (Nb + Mo) Alloying on Mechanical Properties and Hydrogen Embrittlement (HE).: SHIM EI-JOON, SEO JAE-WAN, LEE SEUNG-JOON, KIM HYE-JIN*(Tech University of Korea (TU Korea))

Keywords: Hot stamping, Ultra High Strength Steel (UHSS), Hydrogen embrittlement (HE), Crashworthiness, Strain rate

In order to respond to increasingly stringent regulations on Carbon dioxide (CO_2) emissions, mass reduction of the body-in-white of automotive vehicles is one of the challenging tasks in automotive industry. Moreover, In recent years, due to the diverse and stricter crashworthiness evaluation standards, it is necessary to apply high-strength and high-toughness steel to automotive along with mass reduction. Ultra high strength thin sheet steel (UHSS) enables a significant mass reduction of 10%-30% compared with other materials of the body-in-white, accompanied by an improved crashworthiness of automotive vehicles. However, conventional hot-stamped martensitic steels which classified as UHSS, exhibit limited ductility, poor bendability, and high susceptibility to delayed fracture caused by hydrogen embrittlement (HE). During steelmaking, hot samping and application of UHSS grades, hydrogen tends to penetrate into the microstructure, enhancing crack initiation and propagation, which finally can result in unexpected failure of automotive parts. The present study, (Nb+Mo) alloying were introduced by newly devloped advanced steel material with an ultimate tensile strength grade of 1.5 GPa after hot stamping. In this presentation, impact of hydrogen on mechanical properties will be discussed in relation to microstructural of (Nb + Mo) alloying through tensile tests at two significantly different strain rates. For this purpose, two UHSS grades (newly developed and conventional) with same ultimate tensile strength of 1.5 GPa are electrochemically hydrogen charged. Afterward, a comparison of the ductile and brittle fracture appearance of the two specimens through fractographic analyses are performed. As well as, grain refinement effect by (Nb + Mo) alloying and this grain refinement resulted in the more deviated crack propagation path and consequently in the more improved resistance to crack propagation will be presented.

[P6-7]

Hydrogen plasma reduction for direct upcycling of battery waste into high-performance alloys: RO IJUN, Kim Se-Ho*, Lee Won-Hyoung, Lee Chang-Gi(고려대학교)

Keywords: Battery waste upcycling, Hydrogen plasma reduction, Metal recovery, Single-step alloy design, Circular economy

The rapid growth of battery waste, driven by carbon neutrality targets and electric vehicle demand, requires efficient recycling methods. Traditional hydrometallurgical and pyrometallurgical recycling processes generate significant toxic waste and involve lengthy procedures. This study introduces a novel hydrogen plasma reduction method, capable of swiftly recovering valuable metals from spent battery cathodes within one minute, significantly reducing energy consumption. Demonstrating its versatility, alloys such as Invar, high entropy alloys, and TiAl were successfully designed in a streamlined process. This research highlights a simple, rapid, and environmentally friendly pathway for directly upcycling battery waste into high-performance alloys.

[P6-8]

SLM(Selective Laser Melting) 적층 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 열처리 조건에 따른 극저온 인장물성평가: 임승혁(한국생산기술연구원, 고려대학교), 이민수, 송영환, 김효규, 김성탁(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

Keywords: 적층 제조, Ti-6Al-4V 합금, 열처리, 극저온, 기계적 물성

타이타늄(Titanium) 합금은 높은 비강도 및 내부식성과 같은 우수한 기계적 물성과 주조성, 열처리성 및 용접성 등을 바탕으로 우주, 방산 및 의료 등의 광범위한 산업 분야에서 사용되고 있으며, 그 중에서도 Ti-6Al-4V(이하 Ti64) 합금이 상업적으로 가장 많이 이용되고 있다. 특히, 초고온/초저온 등 극한환경의 첨단산업이 발전함에 따라 Ti64 합금의 중요성이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 한편, Ti 합금은 Ti의 반응성과 높은 가공경화에 의한 낮은 가공성을 갖는 난삭재/난성형재로 알려져 있다. 금속 적층 제조(Addictive Manufacturing, 이하 AM) 기술은 금속 파우더/와이어 등을 복합한 3차원 형상을 쌓아 올리는 제조 방식으로 제품 형상에 높은 자유도를 갖기 때문에 난성형성의 Ti 합금 제조에 매우 효과적이다. 하지만, AM 공정과정에는 국부적으로 반복되는 급속 냉각 및 가열에 의한 열구배로 잔류응력이 발생한다. 나아가 AM 공정의 급속 냉각에 의한 α'-마르텐사이트 침상조직이 형성하게 된다. 이러한 잔류응력과 취성의 α'-마르텐사이트는 적층 제조품의 인성 저하와 부분 균열을 유발하여 파손 및 파괴를 야기한다. 따라서 AM 가공 후 열처리는 잔류응력 완화뿐만 아니라 적층제조된 미세조직 제어를 위해서도 필수적이다. 본 연구에서는 'Selective Laser Melting' (이하 SLM)으로 제조한 Ti64의 가공 후 열처리를 통해 잔류응력 완화와 α'-마르텐사이트 변태 상 제어를 수행하였다. 열처리 공정에 따른 미세조직 변화 확인을 위해 XRD, SEM, EBSD, TEM 분석을 진행하였으며, 상온 및 극저온(20K)에서의 인장 시험을 통해 기계적 물성평가를 실시하였다. 이를 바탕으로 가공 후 열처리에 따른 SLM 적층 제조된 Ti64의 기계적 특성과 잔류응력 및 미세조직의 연관성을 조사하였다.

[P6-9]

수소 혼소 배관 적용을 위한 API 5L x42 강의 In-situ 수소 장입 기반 초음파(20 kHz) 피로평가: 김동오, 이진영(서울과학기술대학교), 이창희, 이정훈, 강성(포항산업과학연구원), 권용남, 석무영(한국재료연구원), 이창우(포항금속소재산업진흥원), 김정환, 이화영(한국가스안전공사), 변재원*(서울과학기술대학교)

Keywords: API 5L x42강, 수소혼소배관, 수소취성, 초음파피로시험, In-situ 전기화학적 수소장입, 초고주기피로

수소 혼소 및 수소로의 전환을 위해서는 기존 천연가스 배관에서, 반복 하중 하 수소 취성 및 수소 피로 파괴 가능성은 핵심 안전 이슈이다. 본 연구는 천연가스 이송용으로 널리 사용되는 API 5L X42 강을 대상으로, 초음파 피로시험(20 kHz)과 전기화학적 in-situ 수소 장입을 결합하여 초고주기 피로(VHCF, 10^7–10^9 cycle) 영역에서의 피로 거동 변화를 정량 평가하고자 한다. 시험 설계는 두 조건을 비교한다: (i) 수소 무장입 기준, (ii) 정해진 전류밀도에서 수소가 장입되어지는 in-situ 조건. (iii) 사전 수소 장입 후 in-situ 조건. 주요 지표는 S–N 곡선 이동, 10^9 cycle 기준 피로강도(또는 피로한계) 저하, 수소 민감도 지수이다. 파면 분석(SEM)을 통해 균열 기시 위치의 전이(표면 ↔ 내부, fisheye/FGA 여부)와 수소 존재에 따른 전파 특성 변화를 식별한다. 특히, 피로 파면에서 보여지는 피로 줄무늬 간격에 대해 정량 비교를 진행하였다. 본 연구는 X42 강의 수소–피로 상호작용을 간결한 지표로 제시하여, 수소 혼소 전환 배관의 설계·운영 단계에서 허용 응력 설정과 수명 예측에 바로 활용 가능한 근거를 제공할 것이다.

[P6-10]

Al6061 합금의 마찰교반 용접조건에 따른 극저온 물성변화 분석: 안찬울(한국생산기술연구원, 고려대학교), 이민수, 천현필, 안중관(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

Keywords: Friction Stir Welding, Cryogenic, Aluminum alloy

친환경·저탄소 및 지속가능 에너지 산업이 주목받고 있는 가운데, 수소는 높은 에너지 효율성과 연료전지 등의 활용성으로 많은 관심을 받고 있다. 이러한 수소를 저장하는 방식 중 하나인 액화수소 저장 방식은 고압가스 대비 저장밀도가 높고 낮은 압력에서 저장이 가능하여 사용 안정성이 뛰어나다. 하지만 수소는 초저온(-253°C)에서 액화되기 때문에 저장용 소재는 극저온 환경에서도 우수한 기계적 물성을 유지해야 한다. 대부분의 금속 소재는 저온에서 취성을 나타내지만, FCC 결정구조를 갖는 오스테나이트계 스테인리스강과 알루미늄 합금은 연-취성 천이온도(Ductile Brittle Transition Temperature, DBTT)가 나타나지 않아 저온 소재로 활용되기에 적합하다. 이에 따라 현재 액화수소 저장 소재로는 오스테나이트계 스테인리스강과 알루미늄 합금이 주로 사용되고 있다.알루미늄 합금은 우수한 내식성과 무게 대비 높은 강도를 지닌 대표적인 경량 소재로, 항공, 자동차 등 다양한 산업 분야에서 널리 활용되고 있다. 이러한 모빌리티 산업에서는 특히 용접이 필수적으로 요구된다. 하지만 알루미늄 합금의 표면 산화와 높은 열전도도 및 큰 열팽창계수로 인해 용접이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 고체상 용접법인 마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW)을 적용하였다. 툴 회전 속도(1700, 2000, 2300 rpm)와 용접 속도(500, 1000 mm/min)를 변화시키며 용접을 실시하였다. 극저온 환경(-253°C)에서 변형률 속도 1 x $10^{-3}s^{-1}$ 조건으로 인장시험을 수행한 결과, 용접 속도가 낮을수록 강도와 연신율이 향상되었다. 이는 빠른 용접 속도에서 열 공급이 불충분하여 미세조직 발달이 제한되었기 때문으로 해석된다. 또한 다양한

용접 조건에서의 비커스 경도 측정과 주사전자현미경(SEM) 및 투과전자현미경(TEM)을 활용한 미세조직 분석을 통해 석출물의 형상과 분포를 확인하였다. 그 결과, 경도는 Base Metal(BM)에서 Stir Zone(SZ)보다 높았으며, 이는 SZ에서 석출물이 일부 용해된 데 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해 용접 조건에 따른 알루미늄 합금의 극저온 기계적 물성과 미세조직 변화를 규명하고자 하였다.

[P6-11]

음향 방출 기법을 활용한 316 스테인리스강의 수소취성 분석: 최수환, 신승혁, 이동규(서울과학기술대학교), 민기득, 최현선(주식회사 피레타), 황병철*(서울과학기술대학교)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Austenitic stainless steels, Electrochemical hydrogen charging, Acoustic emission

탄소 저감 정책의 일환으로 대기오염 및 지구온난화와 같은 환경문제를 해결하고자 친환경 에너지로서 수소에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 수소의 저장 및 운송 과정에서 금속 재료가 수소 환경에 노출되면 수소취성으로 인해 기계적 성질이 저하되는 문제가 발생한다. 이를 분석하기 위한 다양한 방법이 연구되고 있으나, 대부분은 파손 이후의 결과를 기반으로 변형 및 파괴 과정을 간접적으로 유추하는 방식이다. 이에 따라 변형 및 파괴 거동을 실시간으로 분석할 수 있는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 음향 방출 (AE, Acoustic emission) 기법은 재료 내부에서 발생하는 파괴 및 변형에 의해 방출되는 탄성파를 감지함으로써 실시간으로 분석할 수 있는 평가 방법이다. AE 신호는 전위의 이동에 의한 지속적인 탄성파와 균열의 핵 생성 및 성장과 같은 급격한 변형에 의해 발생하는 순간적인 탄성파로 구분된다. 최근에는 수소에 의한 소성 변형 및 균열 발생 메커니즘을 분석하기 위해 AE 기법을 적용하는 연구들이 시도되고 있다. 그러나 AE 결과의 신호 해석이 복잡하고 수소취성 분석에 활용하기 위한 실험 기준 및 참조 데이터가 부족하다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하고자 316 스테인리스강에 다양한 전류밀도 조건에서 수소를 주입한 후 인장시험 중 발생하는 AE 신호를 분석하였다. AE 거동을 비교하고 수소취화 메커니즘 간의 상관관계를 고찰하였으며, AE 기법이 수소취성 저항성 분석 방법으로써 적합한지 확인하고자 하였다.

[P6-12] Canceled

CeO_2 @$Ni(OH)_2$ Catalyst with Ultra-Low Pt Loading for Alkaline and Industrial Scale AEM Water Electrolyzers: Ahmed Shahbaz, Mallappa Mahanthappa, Samim Akhter(Kumoh National Institute of Technology), Soon Yong Kweon(GHS. Co. Ltd., Korean National University of Transportation), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology)

Keywords: HER, OER, Catalyst, Electrode, AEM Electrolyzer, Green Hydrogen

Abstract: While numerous catalysts exist for alkaline and AEM water splitting, long-term stability remains a challenge for industrial applications. This study introduces a cost-effective method for green hydrogen production using a low platinum loading (0.25 mg cm^{-2}) Pt-Ce-Ni catalyst. This catalyst demonstrated superior oxygen evolution reaction (OER) activity compared to RuO_2, achieving overpotentials of 270mV and 360mV at 50mA cm^{-2} and 100 mA cm^{-2}, respectively. When comparing nickel mesh (NM) and nickel foam (NF) as catalyst supports, both exhibited similar initial activity; However, NM provided significantly enhanced long-term stability. An AEM water electrolyzer utilizing the Pt-Ce-Ni/NM catalyst achieved a low cell voltage of 1.54V at 50mA cm^{-2} and maintained stable performance for over 48 hours at 100mA cm^{-2}. This exceptional performance is attributed to abundant active sites, the ordered structure of NM, favorable charge distribution, and synergistic effects between Pt, Ce, and Ni. This research highlights a promising approach for developing low-cost, highly stable electrocatalysts by leveraging structurally ordered electrode materials to improve durability and minimize catalyst degradation in water electrolyzers. Acknowledgments: This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under project number 202100390004. KIT Project This research is funded by Small and Medium Business Technology Information Promotion Agency (project number 202402570002). This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (RS-2025-25441326). Franhofer This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (KIAT) (RS-2025-25441188).

[P6-13]

고온 수소 노출에 따른 스테인리스강 및 Ni 합금의 수소열화현상 평가: 조준영, 염화성*(포항공과대학교)

Keywords: 스테인리스, 니켈합금, 고온수소열화, 수소취성, 수소투과

금속의 수소취화는 기체 상태의 수소가 재료 구조 내부로 쉽게 확산됨으로써 발생한다. 일반적으로 합금에서의 수소 투과는 표면 흡착, 해리, 흡수, 그리고 확산 단계를 거친다. 수소 분자는 금속 표면에서 원자 형태로 분리된 후 결정 내부로 확산되며, 이 과정에서 금속의 결정격자가 왜곡되어 국부적인 응력과 변형이 발생하고, 표면 및 내부에 미세 균열을 유발할 수 있다. 대표적인 수소환경용 구조재로는 AISI 316L과 같은 오스테나이트계 스테인리스강이 널리 사용되며, 고온 수전해(SOEC)와 같이 600–900 °C 범위의 고온 환원성·수증기 환경에서는 AISI 441 또는 Crofer 22 APU와 같은 페라이트계 스테인리스강이 채택되기도 한다. 그러나 금속 내에서의 수소 확산 계수는 온도에 따라 지수적으로 증가하며, 이에 따라 고온에서의 수소 침투 촉진은 탄화물 분해, 미세조직 변화, 그리고 크리프 강도 저하 등과 결합하여 구조용 철강의 허용 응력 범위를 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 다양한 금속 소재(AISI 304L, AISI 316L, AISI 310S, Incoloy 800H)를 대상으로 수소 환경에서의 열화 거동 분석 진행상황을 요약했다. 이를 위해 Ar 50% + H_2 50% 혼합 가스를 주입한 상태에서 600–900 °C 범위의 고온 환경에 시편을 노출하였으며, 이후 미세조직 분

석을 통해 결정구조 및 상변화를 관찰하였다. 또한 Vickers 경도 시험을 수행하여 수소 노출에 따른 기계적 성능 변화를 정량적으로 평가하였다.

[P6-14]

Engineering Nanoporous Mg via Redox Agent-Mediated Chemical Dealloying for Advanced Hydrogen Storage : 유병문, 조용준, 고진석(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Aqil Jamal(Saudi Aramco), 조은선*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Hydrogen storage, Magnesium, Nanoporous structure, Dealloying, Redox agent, Redox potential

Hydrogen has emerged as a keystone of future sustainable energy systems, owing to its abundance and exceptional gravimetric energy density. Magnesium hydride (MgH_2), a lightweight metal hydride, is regarded as a promising solid-state hydrogen storage medium due to its high storage capacity and great reversibility. However, its practical deployment remains limited by sluggish hydrogen uptake/release rates, high thermodynamic stability, and susceptibility to structural degradation caused by repetitive volume changes upon cycling. In this study, we propose nanoporous Mg as a strategy to overcome these limitations, exploiting its high surface area and interconnected structure to mitigate volumetric expansion, facilitate hydrogen diffusion, and thereby enhance sorption kinetics. Nanoporous Mg was fabricated via a solution-based chemical dealloying method using Mg-Li as a parent alloy, in which different redox-active aromatic hydrocarbons serve as selective lithium dissolution agents and structural modulators. By tuning the redox potentials of these organic agents, we controlled the ligament size, while the resulting samples inherently exhibit distinct surface chemistries; together, these features govern hydrogen sorption kinetics and influence structural coarsening behavior. The findings highlight the decisive role of strategic selection of redox agents in engineering the nanostructure and durability of nanoporous Mg for efficient hydrogen storage, suggesting broader potential for use in other energy-related systems that benefit from high surface area and tunable nanoporosity.

[P6-15]

고망간강 용접부의 수소 환경 하 고주기 피로 거동 평가: 정수진, 배동화, 이영광, 김학현, 이창희, 이정훈(포항산업과학연구원(RIST)), 이창우(포항소재산업진흥원(POMIA)), 강태훈*(포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: 고망간강, 고주기 피로, 수소취성, 용접부

최근 친환경 에너지 전환의 흐름 속에서 수소는 차세대 연료로 주목받고 있으며, 이에 따라 액화수소 저장용 소재 개발이 중요한 과제로 부각되고 있다. 기존 LNG 운송선에 적용된 고니켈강 및 스테인리스강은 영하 196ºC 극저온 환경에서의 안정적 사용 경험을 바탕으로 액화수소 저장재로 응용이 가능하다는 장점을 지닌다. 그러나 이러한 소재들은 높은 비용이 단점으로 지적된다. 이에 비해 고망간강은 경제성, 우수한 극저온 인성, 균일한 오스테나이트 조직으로 인한 용접성과 성형성에서 강점을 가져 대체 소재로서 주목받고 있다. 다만 액화수소 저장 탱크 제작 과정에서 불가피하게 형성되는 용접부는 모재 대비 미세조직 불균일성과 잔류응력으로 인해 취약부가 될 수 있으므로, 수소 환경에서의 신뢰성 검증이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 고망간강 용접부의 수소 분위기 하 고주기 피로(high cycle fatigue, HCF) 거동을 하중 조건에 따라 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 수소가 용접부 피로 수명에 미치는 영향을 정량적으로 규명하고, 실제 구조물 적용 시 안전 설계와 평가 기준 수립에 기초 자료를 제공하고자 한다.

[P6-16]

V-Cu-Ni-Al 합금에서 회복 및 재결정화에 따른 수소 확산 거동 분석: 한정훈, 송상윤(고려대학교), 백주현(고려대학교, 한국과학기술연구원), 남정훈, 이건직(고려대학교), 서진유(한국과학기술연구원), 손석수*(고려대학교)

Keywords: 바나듐 합금, 수소 투과도, 전위 회복, Cu 석출물

바나듐 (Vanadium) 기반 합금은 높은 수소 투과도와 경제성으로 인해 수소 분리막용 유망 소재로 주목받고 있다. 그러나 수소 취성과 낮은 가공성으로 인해 실질적인 적용에는 제약이 따른다. 이러한 문제를 극복하기 위한 다양한 전략 중, Cu가 포함된 이중상(dual-phase) 합금은 연성 향상 및 수소 취성 저항성 개선 측면에서 효과적인 후보군으로 떠오르고 있다. 하지만 조성 설계에 대한 많은 연구가 이루어진 것과 달리, 수소 거동을 지배하는 미세조직의 진화, 특히 전위 구조 및 석출물 형태의 역할에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 $V_{76}Cu_{15}Ni_2Al_7$ (at%) 합금을 대상으로, 소둔 (600–800 °C)에 의해 유도된 전위 밀도, 결정립 경계 특성, Cu 석출물 형태 변화와 같은 미세조직 변화가 수소 확산도, 고용도, 수소 취성에 미치는 영향을 규명하였다. 냉간 변형 이후 소둔 처리를 통해 전위가 점진적으로 회복되고, 부분적인 재결정화와 Cu 석출물의 재분포가 유도되었다. 이로 인해 수소 확산 계수는 0.23×10^{-9} m^2/s 에서 2.45×10^{-9} m^2/s (400 °C)까지 크게 증가하였고, 수소 투과도 및 수소 취성 저항성 역시 현저히 향상되었다. 이러한 결과는 소둔을 통한 미세조직 제어가 V-Cu 합금에서 수소 수송 특성을 최적화하는 강력한 전략임을 보여주며, 신뢰성 있고 고성능의 수소 분리막 개발을 위한 효과적인 방향성을 제시하고자 한다.

[P6-17] Canceled

Cobalt-Induced Structural Modulation of Electrodeposited CrOx for Enhanced Water Oxidation in AEM Water Electrolyzer: Sk Samim Akhter, Shahbaz Ahmed, Mallappa Mahanthapa(Kumoh National Institute of Technology, GHS Co. Ltd.), Soon Yong Kweon(GHS Co. Ltd., Republic of Korea, Korea National University of Transportation), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology, GHS Co. Ltd.)

Keywords: Oxygen Evolution Reaction, Water electrolysis, AEM electrolyzer, Green Hydrogen

The oxygen evolution reaction (OER) poses a significant challenge in water electrolysis because of its slow reaction kinetics and the need for high overpotentials. This challenge typically requires the use of expensive precious metal catalysts such as iridium and ruthenium oxides, which limits the commercial viability of large-scale hydrogen production. This study introduces a cost-effective electrodeposition synthesis of chromium-mediated cobalt-chromium oxide (CoCrOx) electrocatalysts specifically engineered for enhanced OER performance, where strategic chromium incorporation creates synergistic electronic effects that optimize adsorption energies of OER intermediates. Thin-film XRD confirms the amorphous nature of CoCrOx, which promotes efficient charge transfer by enhancing electronic interaction between Co and Cr sites during the OER process. The CoCrOx catalyst achieves exceptional OER performance with a remarkably low overpotential of 220 mV at 50 mA cm^{-2} in alkaline media, outperforming chromium-based oxide catalysts and benchmark RuO_2. At the same time, the integrated AEM water electrolyzer delivers an impressive current density of 750 mA cm^{-2} at 1.85 V cell voltage. This work establishes CoCrOx as a durable, cost-effective OER electrocatalyst offering a viable commercial pathway to reduce dependence on precious metals in industrial water electrolysis, successfully bridging the gap between laboratory innovation and commercial hydrogen production applications. Acknowledgments: This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under project number 202100390004. KIT Project This research is funded by Small and Medium Business Technology Information Promotion Agency (project number 202402570002). This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (RS-2025-25441326). Franhofer This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (KIAT) (RS-2025-25441188).

[P6-18]

알루미늄계 도금 종류에 따른 Hot Press Forming 강에서의 수소확산거동: 천세영, 문병록, 강남현*(부산대학교), 이석규, 엄상호(POSCO)

Keywords: Hot press forming, Hydrogen, Coating

Hot press forming 공정은 강재를 오스테나이트화 후 성형하고 급속 냉각을 통해 완성된 고강도 제품을 생산함으로써 생산성뿐만 아니라, 모빌리티의 경량화와 안전성 향상에 크게 기여하고 있다. 하지만 1Gpa 이상의 고강도를 같는 hot press forming 강 또한 수소 민감성이 매우 높으며, 0.5 wtppm 이하의 적은 수소량에 의해서도 수소취화가 발생한다. 수소는 hot press forming 공정 중 또는 공정 이후 사용 환경에 따라 강재 내부로 침투할 수 있으며, 이로 인한 수소취화 현상을 억제하기 위해 강재 표면 도금처리를 기존 Al-Si 도금재에서 Al-Si-Zn 개발 도금재로 대체하는 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 Al-Si 도금재 대비 Al-Si-Zn 개발 도금재를 사용하였을 때, hot press forming 공정 이후 수소환경에서 도금층이 강재 내부로의 수소확산에 미치는 영향에 대하여 분석을 수행하였다. SEM, EBSD, TEM을 통해 hot press forming 전 후 도금량과 도금 종류에 따른 도금층의 미세조직 변화를 분석하였다. 또한 TDS, permeation 실험을 통해 수소환경에 노출되었을 때, 도금층의 미세조직이 수소확산거동에 미치는 영향을 분석하였으며, silver decoration을 통하여 도금층에서의 수소 트랩사이트를 간접적으로 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 도금재 적용 시 hot press forming 과정 및 이후 수소 환경에서 각 도금재의 활용성을 평가하였다.

[P6-19]

탄소, 산소 첨가에 의한 TiFe계 수소저장합금의 초기수소화 성능 개선: 이재용*(한국과학기술연구원, 성균관대학교), 심재혁*(한국과학기술연구원)

Keywords: 수소저장소재, 초기수소화, PCT

안전하고 효율적인 수소 저장 기술은 수소경제 구현의 핵심 과제이다. 차세대 수소 저장 합금인 TiFe는 높은 부피 저장 밀도, 낮은 작동 압력, 그리고 경제성으로 유망하지만, 상용화를 위해 극복해야할 고온·고압의 초기수소화라는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 다양한 연구가 활발히 진행중이다. 본 연구는 TiFe 합금의 초기수소화 성능을 개선하고자 탄소(C)와 산소(O)를 첨가하여 타이타늄 탄화물, 산화물, 옥시카바이드를 형성시켰다. 수소화 실험을 통해 상온 부근에서의 초기수소화 거동을 측정하였으며, 압력-조성-온도 (Pressure-Composition-Temperature, PCT) 곡선 분석으로 수소 저장 특성을 평가하였다. 본 연구는 비금속 원소 첨가로 형성된 타이타늄 화합물이 TiFe 합금의 표면 활성화에 기여하여 초기수소화 속도와 온도를 개선하는데 핵심적인 역할을 함을 제시하고자 한다.

P7 : 소프트소재
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P7-1]
Investigating Electrochemical Doping Mechanism of Water-Soluble Green Polymer for Biosensing OECT : Kim Yeonjoo(Seoul National University), Park Sangshin(Kwangwoon University), Park Eunje, Kim Taehoon , Nam Youhyun(Seoul National University), Son Sungyun(Kwangwoon University), Kang Keehoon*(Seoul National University)
Keywords: Electrochemical Doping, Water-Soluble Polymer, OECT Biosensor

Organic electrochemical transistors (OECTs) have attracted considerable attention as biosensors owing to their ability to transduce ionic signals into amplified electronic responses under aqueous conditions. To advance their use in bioelectronic applications, it is essential to introduce water-soluble polymers that can ensure stable operation in physiological environments while maintaining biocompatibility and sustainable processability. In this work, we explore a thiophene-based green polymer designed with inherent water solubility and electrochemical doping capability. We examine its doping behaviour to assess redox activity and to elucidate the mechanism by which the polymer enables analyte detection when employed as the channel material in OECTs. This approach highlights the potential of water-soluble green polymers as key enablers for mediator-minimised, low-voltage, and water-compatible biosensing, ultimately contributing to the development of next-generation organic electronic and bioelectronic devices.

[P7-2]
Design and Development of Multifunctional Nanofiber-Based PAN/PVDF/SiO_2 Aerogel Composites for Enhancing the Performance and Durability of Triboelectric Nanogenerators TENGs: NHAT NAM HOANG, Jae Won Lee*(Kangwon National University, Republic of Korea)
Keywords: Triboelectric nanogenerator (TENG, Energy harvesting, Electrospinning, Nanofibril aerogel

Triboelectric nanogenerators (TENGs) have attracted considerable attention as sustainable energy harvesting devices due to their ability to convert mechanical energy from various environmental sources into electrical energy. To enhance their output performance, numerous strategies have been developed. Among them, aerogel-based materials have emerged as promising candidates owing to their lightweight structure, high porosity, and excellent mechanical properties. In this study, a TENG comprising an aerogel-based electrode fabricated from polyacrylonitrile (PAN), polyvinylidene fluoride (PVDF), silicon dioxide (SiO_2) nanofibers, and cellulose nanocrystals (CNC) was successfully prepared using electrospinning. The electrode demonstrated a homogeneous surface morphology characterized by uniform nanofiber diameters, high porosity, and enhanced surface area and structural stability as a result of SiO_2 incorporation. The contact-separation test results demonstrate superior triboelectric performance, with an open-circuit voltage (V_oc) of approximately 200 V, a charge density (Q_sc) of about 60 μC/m^2, and a short-circuit current (I_sc) of around 9 μA. In addition, The stability test demonstrated that the performance was maintained even after 16, 000 operating cycles. This work provides one of simple and effective stragegies for TENG electrode fabrication, significantly enhancing the output performance of TENGs and further promoting their widespread applications.

[P7-3]
Polymer Electrolyte Gated Tin-Based Perovskite Field-Effect Transistors: Jung Taemin, Kim Yongjin, Kim Dohyun, Kang Keehoon*(Seoul National University)
Keywords: Metal Halide Perovskite, Polymer Electrolyte, FETs

Tin-based perovskite is a promising next-generation semiconducting material for various application such as Field-Effect Transistors (FETs) and solar cells, owing to their unique properties of high carrier mobility, tunable bandgap, low toxicity, solution processability. In the case of a conventional perovskite FET using SiO_2 dielectric which has a low dielectric constant, the voltage operation window is relatively high, which leads to a high energy consumption. Here we demonstrate an electrolyte gated perovskite FET, employing a polymer electrolyte as a gate dielectric compatible with perovskite films. The developed polymer electrolyte with a high gate capacitance and an optimal ionic conductivity enables FET device performance operating in a low-voltage range, as well as a precise conductance control. Our work highlights the demonstration of utilizing polymer-electrolyte as a gate dielectric for perovskite FETs, providing a distinctive approach to high performance perovskite electronics.

[P7-4]
Dual-Functional Additive Strategy for Stable and Efficient Lead-based Halide Perovskite Electronics: Choi Jungyoon, Kim Yongjin, Kong Taehyun, Lee Junpyo, Choi Hyeonmin, Cho Jaeyoon , Kim Dohyun, Keehoon Kang*(Seoul National University)
Keywords: perovskite, additive, crystallization, passivation, optoelectronics, electronics

Metal halide perovskites offer exceptional potential for next-generation optoelectronics due to their excellent material properties and

solution processability. In particular, $FAPbI_3$ is a promising active layer material, but stabilizing its photoactive α-phase remains challenging. While MACl additive has been widely used to enhance crystallization, its volatility and residual ions affect film quality and thermal stability. Additionally, the prevalence of mobile ionic species in lead halide perovskites further requires defect mitigation strategies, particularly for halide vacancy states. Here, we propose a dual-functional additive that controls crystallization and passivates defects, stabilizing oriented α-FAPbI3 films with enhanced morphology and durability. Compared with MACl-treated films, our approach achieves a threefold increase in field effect mobility and improved ambient stability. These improvements result from transient coordination of the additive with Pb^{2+} ions during nucleation and growth, combined with persistent grain-boundary passivation that suppresses ionic migration. Our strategy provides a more robust pathway for fabricating stable, high-performance perovskite electronic devices.

[P7-5]

Tactile Sensory Light Emitting Synapse For Helthcare Monitoring: Kim Woojoong, Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Yeonji, Park Seungjun, Jung Jong Gun, Park Cheolmin*(Yonsei Univ.)

Keywords: Light-emitting synapse, Sensory synapse, Neuromorphic display, Organic electrochemical transistor, Healthcare

Here, we report a tactile sensory light-emitting synapse device capable of simultaneously detecting and visualizing mechanical touch stimuli through electrical and optical signals. The device is constructed using an electrochemiluminescent (ECL) tactile visual synapse based on a top-gated organic electrochemical transistor (OECT), in which the emission across the visible spectrum is tunable by gate voltage. Mechanical touch events induce synaptic current responses in the semiconducting channel, accompanied by luminescence from an ionic gel under pulsed gate stimulation. This integrated system enables power-efficient (~34 μW) sensing, learning, and visualization of tactile inputs. When fabricated in a wearable form, the device conforms to the palm and fingers, enabling continuous healthcare monitoring of hand motion and rehabilitation progress through dual electrical and optical feedback. This work presents a tactile-visual synaptic platform that bridges motion sensing and neuromorphic visual feedback, paving the way for future biomedical devices and the development of advanced light-emitting synaptic systems.

[P7-6]

Crystallinity-driven Enhancement of Charge Transport Properties in Mixed Lead-Tin Halide Perovskite via Co-Additive Strategy: Lee Junpyo, Choi Hyeonmin, Cho Jaeyoon, Choi Jungyoon, Kim Yongjin, Kang Keehoon*(Seoul National University)

Keywords: Lead-tin Mixed Perovskite, Co-additive, Crystal Structure, Charge Transport

Halide perovskites have attracted significant attention in next-generation charge transport and optoelectronic applications due to their excellent properties, including high carrier mobility and defect tolerance. However, the utilization of lead-based perovskites is restricted by their relatively low mobility and toxicity issues, while tin-based counterparts face stability challenges. Consequently, mixed lead-tin perovskites, which can combine the optimal features of both lead-based and tin-based perovskite, have emerged as a promising alternative. They simultaneously offer high carrier mobility and enhanced stability, with the additional advantage of a low bandgap. Nevertheless, the fabrication of high-quality, high-mobility films of lead-tin perovskite remains challenging, primarily due to the kinetic disparities between the two materials, as well as persistent oxidation, which together result in non-uniform crystallization, phase segregation, and trap-assisted recombination. Herein, we employ a co-additive strategy using organic halide additives, with the function of regulating crystallization dynamics and suppressing oxidation, into mixed lead-tin perovskite and demonstrate the resulting enhancement in charge transport and optoelectronic properties driven by the modified crystal structure. This approach highlights the potential of co-additive engineering to overcome intrinsic limitations of mixed lead-tin systems and provides a feasible pathway toward realizing stable and high-performance perovskite devices.

[P7-7]

Reconfigurable Photoluminescence–Structural Color Display Enabling Dual-Responsive Optical Encryption: Jung Jong Gun, Han Hyowon, Oh Jin Woo, Kim Taebin, Kim Gwanho, Kim Woojoong, Kim Yeonji, Park Seungjun(Yonsei Univ.), Park Cheolmin*(Yonsei Univ., KIST)

Keywords: Block Copolymer, Photoluminescent, Optical Encryption

Optical encryption based on coloration and photoluminescent (PL) materials offers highly secure data protection with direct and intuitive identification of encrypted content. However, encryption systems capable of independently controlling both wavelength-tunable structural coloration and variable-intensity PL emission remain largely unexplored. Here, we present a rewritable dual-mode display that combines PL and structural color (SC) for optical encryption. The system is constructed from a stimuli-responsive block copolymer (BCP) photonic crystal (PC) with alternating in-plane lamellae, within which a range of 2D and 3D perovskite nanocrystals self-assemble, providing distinct PL characteristics. The SC of a BCP PC is controlled in the visible range with different perovskite precursor doping times.The perovskite nanocrystals developed in the BCP PC are highly luminescent, with a PL quantum yield of ≈33.7%, yielding environmentally stable SC and PL dual-mode displays. This design enables environmentally stable and erasable/reconfigurable SC–PL dual-mode displays. Dual-responsive optical encryption is demonstrated in which Morse code information is

decipherable only when SC and PL signals are correctly combined. The numerous possible SC–PL combinations significantly enhance information security and anticounterfeiting capability. This strategy establishes a new platform for highly secure optical encryption technologies.

[P7-8]

Geometric Control of Metal-Ligand Coordination Bonds for Topological Modification of Polymer Networks: Kim Junhyeok, Lee Haeseung, Kang Jiheong*(Seoul National University)

Keywords: Elastomer, Metal-Ligand Coordination, Topological modification

Dynamic bonds, such as hydrogen bonds, metal-ligand coordination and host-guest interactions, are widely used to modify the mechanical properties of polymer networks. These bonds can dissipate energy through bond dissociation prior to fracture of the polymer backbone. While previous studies have primarily focused on coordination motifs as sacrificial bonds for energy dissipation, their topological effects on polymer chain interactions remain largely unexplored. Metal-ligand coordination offers a unique advantage due to its directionality and tunability, allowing control over the spatial arrangement of polymer chains. Here we present a supramolecular polymer network designed to investigate the topological influence of coordination motifs by varying ligand structure and geometry. Utilizing 2, 2′:6′, 2″-terpyridine (Tpy) ligands, we designed two distinct networks: one that selectively induces chain entanglement and a control network that does not. Despite both relying on coordination bonding, their mechanical properties, such as modulus and toughness, show significant differences after demetalation, indicating the influence of entanglement. This approach allows a systematic and quantitative study of entanglement effects in polymer networks, an aspect that has been largely qualitative in previous research.

[P7-9]

Ferroelectric artificial synapse for Tactile Perception: Park SeungJun, Kim Woojoong, Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Yeonji, Jung JongGun(Yonsei Univ.), Park Cheolmin*(Yonsei Univ., KIST)

Keywords: Ferroelectric, Artificial Synapses, Tactile Sensory

Lightweight and flexible tactile learning systems are capable of simultaneously sensing, storing, and adapting to external stimuli through skin-like interfaces. Such technologies are particularly attractive for future applications in wearable and human-interactive artificially intelligent neuromorphic electronics. In this study, an integrated artificially intelligent tactile learning electronic skin (e-skin) based on arrays of ferroelectric-gate field-effect transistors with dome-shape tactile top-gates, which can simultaneously sense and learn from a variety of tactile information, is introduced. This architecture enables the device to both detect and learn diverse tactile signals. When pressure is applied to the dome-shaped gate, the ferroelectric insulator records remnant polarization, leading to analog conductance modulation that depends on both the intensity and frequency of input pressure pulses. This behavior emulates a range of tactile and synaptic functions. The device demonstrates stable long-term potentiation and depression over 10, 000 consecutive stimuli, with minimal variability of 3.18%, ensuring reliable tactile learning. Furthermore, a 4 × 4 array successfully identifies various handwritten patterns through two-dimensional spatial learning, achieving a recognition accuracy of 99.66% even under 10% noise interference.

[P7-10]

Complementary Moisture and Triboelectric Energy Harvesting Enabled by Deformable MXene/Organo-ionic Hydrogel Foam: Kim Gwanho, Kim Taebin, Kim Woojoong, Kim Yeonji, Park Seungjun, Jung Jonggun, Park Cheolmin*(Yonsei University)

Keywords: MXene, Organo-ionic hydrogel, Moisture-induced electric generator, Triboelectric nanogenerator

Energy harvesting via moisture-induced generators (MEGs) is widely explored, yet their integration with other harvesters for enhanced power efficiency is rarely exhibited. This work introduces a complementary energy harvester, simultaneously generating moisture-induced and triboelectric power in a single device. Our harvester was comprised as mechanically robust melamine foam coated with 2-dimensional conductive MXene (Ti3C2Tx) nanosheets and partly covered with organo-ionic hydrogel. This gives rise to a MEG with the DC voltage and current density of 310 mV and 877 μA cm-2, respectively. The resilient foam tolerates repetitive triboelectric contacts, producing a triboelectric nanogenerator (TENG) with a high AC voltage of 80 V. When our MEG combines with triboelectrification, the device shows a high electric power of 83 μW cm-2. The unique DC and AC outputs enable a novel emergency guidance system where a MEG-powered light is amplified by a self-powered TENG in emergencies.

[P7-11]

Plasma Frequency-Tunable Transparent Conducting Polymer Electrodes for Pressure-Sensing Applications: Choi Jaehyeok, Wooyoung Shim*(Yonsei University)

Keywords: Conducting polymer, Transparent electrode, Plasma frequency-tunable, Pressure sensing

When an electromagnetic wave impinges on a conductor, most of the incident wave is reflected, which makes metals and transparent conducting oxides (TCOs), such as tin-doped indium oxide (ITO), opaque to visible light (429–750 THz) and far-infrared (FIR) (< 20 THz). This incompatibility between optical transparency and electrical conductivity is well-defined fundamental material properties, but

this is often not easy to enhance both simultaneously. Opacity due to electrical conductivity is more pronounced in the lower frequency range. This fundamental incompatibility creates a barrier for the realization of enhanced user-interface and device integration. We present a design strategy for preparing megahertz-range transparent conductor and a concept towards 'device-to-device integration' enabled by electromagnetic wave transmittance. The approach to the properties of conductors is verified using a conducting polymer, Poly(3, 4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS), whose microstructure is effectively controlled by solution process. The use of a transparent conducting polymer as an electrode enables the fabrication of a fully functional touch-controlled display device and magnetic resonance imaging (MRI)-compatible biomedical monitoring device, which would open up a new paradigm for transparent conductors.

[P7-12]

Photothermal Ionic Semiconducting Elastomer Enabled by MXene for Switchable Logic gate: Kim Yeonji, Kim Gwanho, Kim Taebin, Park Seungjun, Kim Woojoong, Jung Jong Gun, Park Cheolmin*(Yonsei Univ.)

Keywords: Ionoelastomer, Ionic device, NIR-responsive current rectification, positive and negatively charged MXene nanosheets, ionic junction diode, photothermal energy conversion, switchable logic gate

Ionic semiconducting elastomer, which are liquid-free, have attracted significant interest as various non-silicon-based materials are being explored recently to develop electric devices with new functions and application. Distinct from e-skins, these ionic elastomers offer the potential for direct skin interaction, making them viable candidates for use in interactive skin-like devices, or i-skin devices. However, it's worth noting that the nature of ionoelastomers as liquid-free ionic conductors imposes limitations on their ionic conductivity. In this study, we adjusted the functional groups of MXene, a 2D material rich in functional groups, to create both negatively charged and positively charged MXene, which were then incorporated into the ionoelastomer to induce ion-dipole interactions and improve ionic conductivity (1.39 x 10^{-3} mS/cm to 4.44 x 10^{-3} mS/cm). The developed ionic semiconducting elastomer facilitates the fabrication of various electrical devices. This approach has led to the creation of a diode with significantly enhanced performance. The ionoelastomer comes in of two types: p-type, which move only cation, and n-type, which move only anion. And we incorporated positively charged MXenes into the p-type and negatively charged MXenes into the n-type ionoelastomer. This strategic modification enhanced the diffusivity of mobile ions by increasing the number of effective mobile ions, consequently improving ionic conductivity, which ultimately allowed us to create a high-performance diode. Furthermore, we utilized the photothermal effect of MXene and this led to the development of a photothermal inorganic-organic diode. The diode, when exposed to light absorption, experiences a decrease in bulk resistance due to the generated heat, thereby resulting in an increase in the forward bias current. Utilizing this effect, an AND gate made from ionic semiconducting elastomer junction diodes can switch to an OR gate upon heating, enabling its use as a switchable logic gate.

[P7-13]

Photoresponsive Thermoplastic Elastomers Enabled by Sterically Hindered Stiff Stilbene: Kim doyun, Lee minwoo, Kang Jiheong*(서울대학교)

Keywords: photoswitch, molecular motor, thermoplastic elastomer, E/Z isomerization

Molecular photoswitches enable reversible modulation of polymer structure and properties through light-driven isomerization. However, conventional switches such as azobenzene suffer from limited motion or poor thermal stability, restricting their utility in robust materials. Here, we introduce sterically hindered stiff stilbene (HSS) as a molecular motor embedded in a thermoplastic elastomer (TPE) framework to achieve light-controlled mechanical responses. HSS combines large hinge-like E/Z isomerization motions, exceptional thermal bistability (Z half-life ~1000 years), and near-quantitative bidirectional photoisomerization. Incorporation of HSS into polyurethane-based TPEs, where PDMS soft domains are phase-separated from HSS-driven hard domains, enables dynamic modulation of nanophase morphology and hydrogen-bonding patterns upon irradiation. Specifically, E-isomers favor intermolecular hydrogen bonding, while Z-isomers promote intramolecular bonding, yielding distinct microphase separation behaviors and macroscopic changes in stiffness, elasticity, and processability. This molecular-to-macroscopic coupling represents a fundamental step toward light-driven, reprocessable, and biocompatible elastomers. Our approach establishes HSS-based TPEs as a promising platform for developing next-generation soft actuators, healable materials, and adaptive robotic systems.

[P7-14]

Polymer Toughening effect Induced by Small Amounts of Liquid Metal Particles: CHO Hyeonwoo, CHANG Gunho, KANG Jiheong*(Seoul National Univ.)

Keywords: Liquid Metal, Polymer Composite, Toughness, Soft Materials, Mechanical Properties

Polymer composites incorporating liquid metal particles (LMPs) are highly promising for applications like wearable devices, where softness and flexibility are paramount. Unlike traditional rigid fillers that inevitably cause stiffening, LMPs can impart electrical conductivity while preserving the host polymer's low modulus. However, research nowdays heavily focused on their electrical benefits. The few studies exploring mechanical enhancement have typically required high LMP loadings to achieve improvements, largely

overlooking the unique potential of LMPs at low concentrations. This work shifts this paradigm by revealing that LMPs can act as mechanical enhancers even at remarkably low concentration. We demonstrate that adding a small amount of LM particles leads to a significant enhancement of the polymer's toughness, without the typical trade-off of increased stiffness. A mechanism is proposed wherein the highly deformable LM droplets can absorb energy by deforming under tensile stress. This finding establishes a new design principle for engineering materials that are simultaneously soft and tough, paving the way for more durable and resilient flexible electronics, flexible batteries, and biomedical implants.

[P7-15]

Unidirectional Rotations of Polymer Chains Toughen the Polymer Network: 박찬범(카이스트), 강지형*(서울대학교), 강태원(카이스트)

Keywords: 고분자

Polymer networks often suffer from stress concentration around cracks, making them prone to fracture. To develop materials that can withstand fractures, it is crucial to both dissipate energy and distribute stress effectively. To address this, we introduced a covalently bonded chiral supramolecular building block at the center of low glass transition temperature (T_g) back bone. This chiral motif self-assembles into helical supramolecular fibers within the soft matrix, physically crosslinking the flexible chains. As a result, the chirally entangled elastomer effectively dissipates energy through the breaking of hydrogen bonds within the supramolecular fibers. Additionally, the handedness of the helical fibers dictates the molecular chirality of the polymer chains, maximizing entanglements and enhancing stress distribution between chains. This, in turn, significantly improves the material's toughness, demonstrating a novel toughening mechanism. Furthermore, optical, thermomechanical, and rheological analyses will be provided to elucidate the detailed molecular assembly and disassembly processes responsible for the enhanced fracture toughness.

[P7-16] Canceled

Thiourea polymer blend for enhancing mechanical elasticity: 정주은, 강지형*(서울대학교)

Keywords: 고분자, 수소결합, 탄성체

Thiourea polymer blend for enhancing mechanical elasticity Jooyeun Chong[1] and Jiheong Kang[1] Dept. of Chemistry. Seoul National University (SNU). Thermoplastic elastomers (TPEs) are formed by physically crosslinking soft polymers, such as polydimethylsiloxane (PDMS), through interactions like hydrogen bonding. Upon deformation, these physical crosslinks temporarily break, allowing the network to dissipate mechanical energy effectively. However, the disruption of the physical network leads to a breakage of its original structure, resulting in residual strain and incomplete recovery after deformation. TPEs are commonly employed in applications requiring high deformability, such as stretchable devices and soft robotics. In such cases, minimizing residual strain and achieving rapid recovery are essential for maintaining elastic performance. In this study, I demonstrate that blending a soft polymer with high chain mobility (m-thiourea) and a tough polymer with strong hydrogen bonding (p-thiourea) results in enhanced elasticity through complementary network behavior. The tough p-thiourea network restricts excessive flow, while the soft m-thiourea network facilitates deformation, enabling a synergistic response under large strain. Upon release of external force, the blended polymer exhibits rapid restoration due to the enhanced chain mobility provided by m-thiourea, whereas p-thiourea alone shows incomplete restoration. The elastic behavior of the thiourea blend system is attributed to both the 'blending strategy' and 'the amorphous nature of thiourea'. For p-thiourea to provide rigid crosslinking and m-thiourea to facilitate deformation to enhance elasticity synergistically, each network should be blended in a way that allows them to function independently. In copolymer systems where all components are covalently connected within a single chain, independent network dynamics are restricted, which limits their ability to enhance elasticity. In addition, to achieve a mechanically robust polymer blend, the physical bonding segments of the two different polymers must be highly miscible to avoid phase separation. Unlike typical crystalline hydrogen bond donors, thiourea exhibits amorphous characteristics, which promote good miscibility between different thiourea motifs. Consequently, blends of p-thiourea and m-thiourea form robust, phase-separation-free networks that exhibit excellent elasticity even under high strain and maintain stable toughness through repeated mechanical cycling.

[P7-17]

Cellulose-based Hydrovoltaic Energy Generator: Shin EunAe, Shim JinKie*(한국생산기술연구원)

Keywords: Cellulose, Hydrovoltaic energy generator, Energy harvesting

Hydrovoltaic energy generators (HEGs) have garnered significant attention for their capacity to harness ubiquitous water sources and generate electricity output. Cellulose is gaining attention as a bio-based material. Among the various materials for HEG, cellulose advantages such as cost-effectiveness, biodegradability, and biocompatibility. In this study, environmentally friendly hydrovoltaic energy generator was developed using two layers of cellulose. The water supply layer is a super absorbent polymer (SAP) using cellulose. The evaporation layer is an aerogel using cellulose and includes conductive nanofillers to improve short-circuit current. This research highlights the potential for enhancing the performance of bio-based material-driven HEGs.

[P7-18] Canceled

Modulus Patternable Stretchable Substrate for Stretchable Electronics : Jaehoon Jung, Jiheong Kang*(Seoul National University)

Keywords: Stretchable electronics

Stretchable electronics are gaining increasing attention for applications in wearable technology, healthcare devices, and soft robotics. A key challenge in this field is developing systems that can maintain stable functionality under continuous mechanical deformation. One major limitation is the large modulus mismatch under soft substrates and rigid electronic components, which often leads to interface delamination and device failure. One effective strategy to address this issue is to minimize the strain applied to the electronic components during stretching. However, most previous approaches rely on adding multiple layers to the substrate, rather than designing the substrate itself to manage strain. In this oral presentation, I will present a modulus-patternable stretchable substrate using our modulus-tunable polymer system. By adjusting the UV exposure time, we achieve a wide tunable modulus range (0.05 to 60 MPa). This allows the direct formation of high-modulus patterned regions within a soft matrix, without requiring additional materials or processing steps. Modulus-patternable stretchable substrate offers several advantages over conventional design. It inherently minimizes the strain energy applied to electronic components without requiring additional structural layers. Despite comprising both high-modulus regions and a soft matrix, it maintains excellent mechanical stability under deformation Its modulus and geometry can be precisely patterned to meet diverse requirements. I will discuss more details for the molecular design of the modulus-tunable polymer, the fabrication strategy of modulus patternable stretchable substrate, and its implications for next-generation stretchable electronics in my presentation.

P8 : 철강-제선, 제강, 환경, 에너지
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P8-1]
철광석 펠렛의 가스 환원 속도상수 측정: 이지언, 유홍재, 강영조*(동아대학교)
Keywords: 철광석 펠렛, 직접환원, CO+H2 혼합가스, 열중량분석(TG), 배가스 분석
2050년 탄소중립 달성이라는 목표가 전세계적으로 대두됨에 따라 제철 및 제강산업에도 큰 변화가 요구되고 있으며 그 중에서도 CO2 배출 저감을 위한 철광석의 직접환원 공정의 필요성이 주목받고 있다. 펠렛 형태의 철광석과 샤프트 형태의 반응기를 사용하는 환원 공정은 이미 상용화 단계에 있지만 철광석의 환원속도에 대한 이론에 대해서는 알려진 바가 많지 않다. 특히, CO2 배출량 저감을 위해서 환원성 가스에 수소 함유 가스를 활용하게 될 경우 환원반응 기구와 환원속도에 다양한 변화가 예상된다. 본 연구에서는 환원성 가스의 변화에 따른 철광석 펠렛의 환원 거동을 조사하고 속도상수를 도출하기 위하여 CO+H2 혼합가스에 의한 철광석 환원실험을 실시하였다. 환원율은 열중량 분석(TG)을 이용하여 결정하였으며 환원반응 기구 검토를 위하여 배가스 분석 및 환원 후 시편 단면 관찰을 실시하였다. 시간에 따른 환원율 측정 결과를 이용하여 환원반응의 율속단계를 결정하고 해당하는 단계의 환원반응의 속도상수를 결정하였다. 또 환원온도와 속도상수 간의 관계로부터 해당 환원 반응의 활성화에너지가 도출되었다.

[P8-2]
H2-CH4 혼합가스에 의한 철광석 환원에서의 sticking 현상 고찰: 김은주, 명다빈, 서인국, 이준호*(고려대학교)
Keywords: 수소환원, 철광석, sticking
기후변화 대응을 위한 국제적인 흐름 가운데, 철강 산업의 탄소중립을 향한 수소 기반 직접 환원 공정이 주목받고 있다. 본 연구에서는 세 종류의 철광석 시료를 대상으로 H2-CH4 혼합가스를 이용한 유동층 조건에서의 환원 실험을 수행하고 iron whisker와 sticking 발생 양상을 고찰하였다. 열중량 분석기를 이용한 정밀 환원 실험과 환원 후 SEM-EDX 분석을 통해 미세구조와 표면 화학 조성을 관찰하였다. CO가스 환원 분위기에 비해 H2-CH4 혼합가스 환원 시 iron whisker 형성이 억제되었으며, H2가스 비율이 높을수록 iron whisker 생성이 감소되었다. H2가스 100% 환원 분위기에서는 조밀하고 응집된 metallic shell이 형성되어 sticking 발생 가능성이 높다. CH4가 포함된 혼합가스에서는 침탄 반응에 의한 carbon shell 형성이 관찰되었으며, 이를 통해 표면 점착성을 감소시켜 sticking 완화를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

[P8-3]
Effect of Mineralogy of Iron Ores on Assimilation by Low-Melting Compound: Kim Haeun, Lee Joonho*(Korea University)
Keywords: iron ore sinter, low-melting compound, assimilation
To achieve carbon neutrality in ironmaking, low-temperature sintering has emerged as a promising low-carbon alternative to conventional sintering. This study investigates the use of low-melting compounds (e.g., calcium ferrite) to form liquid and bonding phases at reduced temperatures through the fabrication of quasi-particles. Three types of nuclei—Hematite, Marra Mamba, and Goethite ores—were combined with adhering particles containing varying ratios of low-melting compounds. Quasi-particles were prepared with nuclei sized 2.0–2.8 mm at a nucleus-to-adhering particle weight ratio of 1:1.5. Their fluidity was assessed by measuring changes in projection area on an Al_2O_3 plate at different temperatures, revealing increased fluidity with temperature rise. In a simulated sinter bed, the distribution and influence of liquid and bonding phases around the quasi-particles were also examined. The results provide valuable insights into the design of quasi-particles for low-temperature sintering, contributing to the development of carbon-neutral ironmaking technologies.

[P8-4]
Influence of Sulfur Content on Nitrogen Absorption in DRI Production from High-Sulfur, Low-Grade Iron Ore: Heeju Kim, Il Sohn*(Yonsei University)
Keywords: Direct Reduced Iron (DRI), Sulfur Effect, Nitrogen Absorption, Low-grade Iron Ore
In recent years, the production of direct reduced iron (DRI) has been steadily increasing in the steel industry. This growth has led to a shortage of high-grade iron ore and heightened interest in utilizing low-grade ore with elevated sulfur content. During DRI production, sulfur can originate from both the reducing gas and the iron ore itself, with concentrations influenced by pre-gas treatment (desulfurization) facilities and the quality of the raw ore. Sulfur readily combines with iron to form low-melting-point iron sulfide (FeS), which precipitates at grain boundaries and causes hot shortness. As a surface-active element, sulfur can also influence nitrogen absorption on steel surfaces. The DRI used in the electric arc furnace (EAF) is typically exposed to nitrogen during purging processes associated with transportation and storage. Nitrogen contamination has become an increasing concern, particularly as direct ammonia reduction is being considered as an alternative to pure hydrogen in the reduction process. Although previous studies have shown that sulfur reduces nitrogen absorption in liquid steel, its effect in solid-state steel remains poorly understood. This study tests the hypothesis that sulfur inhibits nitrogen absorption in solid-state iron. ONH, CS, XRD, and XPS analyses were performed to investigate nitrogen

penetration depth, sulfur distribution, and the chemical state of sulfur. Sulfur was introduced in a chemically bound form, and ammonia gas was used to simulate reduction conditions with extreme nitrogen exposure. The findings confirm that nitrogen absorption is closely dependent on sulfur distribution. These results provide fundamental insights into the interplay between sulfur and nitrogen during the production of DRI from high-sulfur, low-grade iron ore.

[P8-5]

Effects of Na_2O and MgO on Heat Flux and Crystallinity in CaO–SiO_2 Based Mold Flux: Ji-In Chung, Hanxing Ren, Seungyeon Lee, Il Shon, Gibeom Kim*(Yonsei Univ.)

Keywords: Na_2O, MgO, Mold flux, Heat transfer, Copper-disc mold simulator

This study examines the influence of Na_2O and MgO variations in CaO–SiO_2–based mold fluxes on heat flux and crystallinity during continuous casting. Experiments were performed using a copper-disc mold simulator (CDMS), which reproduces the crystallization behavior of mold flux under industrially relevant thermal conditions. Molten flux was poured onto a water-cooled copper mold and solidified under halogen spot heating. During solidification, mold temperatures were monitored using two T-type thermocouples embedded in the mold, and the steady-state heat flux was determined by inverse heat conduction modeling (IHCP-1D). Crystalline area fraction was quantified from the solidified samples. Na_2O acts as a network modifier, depolymerizing the silicate network, reducing viscosity, and shifting both the onset temperature and the critical cooling rate for crystallization. Changes in crystallinity alter interfacial thermal resistance between the mold and flux, thereby modulating heat transfer. MgO has a dual effect: minor additions further reduce viscosity, while excessive MgO raises both the liquidus temperature and viscosity, promotes the formation of Mg-rich crystalline phases, and deteriorates heat transfer performance. This work establishes a quantitative correlation between crystallinity and heat flux, providing a predictive framework for controlling heat transfer in the mold. These insights support improved mold-flux design and process control strategies for minimizing surface cracks during continuous casting.

[P8-6]

MgO-C 내화물 내산화성 향상을 위한 온도별 B_4C의 효과: 이지혁, 박찬근, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: MgO-C 내화물, 산화방지제, B_4C, 고온

MgO-C 내화물은 MgO의 우수한 내열성과 Carbon의 높은 열전도도와 낮은 열팽창 계수로 인한 뛰어난 열충격 저항성 및 슬래그 저항성으로 철강 제조공정에서 내벽 소재로 널리 사용된다. 그러나 고온에서 Carbon이 산소와 반응하여 산화되고 그 자리에 기공이 형성된다. 이로 인한 내화물의 수명단축 문제가 대두되었고 이에 따른 산화방지제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Boron 계열 산화방지제는 이전 연구에서 액상 산화물을 형성하여 기공을 효과적으로 막는 메커니즘을 제시하고 있다. 이러한 연구들에서 액상화로 인한 기계적 물성 저하가 우려된다. 고온에서 액상화로 인한 내화물의 기계적 물성 저하에 대한 연구와 Al, B_4C의 복합 산화방지제에 대한 연구가 미비하다. 본 연구에서는 B_4C의 유무에 따른 효과를 확인하기 위해 Al은 2 wt% 고정하고 B_4C는 0, 3 wt% 첨가하였다. 또한 고온에서 액상화 된 산화물이 물성을 저하시키는지 확인하기 위해 대기 분위기에서 1500, 1600°C로 실험하였다. B_4C 유무 및 온도에 따른 중량감소비, 기공률, 산화면적비 측정을 통해 MgO-C 내화물의 내산화성과 물성에 대한 평가를 제시하고자 한다.

[P8-7]

친환경 가탄재 적용에 따른 슬래그 포밍 내 반응 메커니즘 고찰: 안효주, 김윤서, 신재은, 박노근*(영남대학교)

Keywords: 친환경, 폐플라스틱, 가탄재, 슬래그, 전기로

전 세계적으로 지구온난화가 심화됨에 따라, 2050년까지 탄소 중립을 달성하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 철강 산업의 경우, 전체 산업 부문에서 높은 수준의 CO2 배출을 차지하고 있는 만큼 철강 생산 공정에서의 탄소 배출 저감이 필수적이다. 본 연구는 2050 이전 탄소 중립 목표 달성을 위한 실질적 방안으로 폐플라스틱을 활용한 친환경 가탄재을 개발하고, 실험을 통해 기존 가탄재 대체 가능성을 확인하였다. 전기로 조업에서 이용되는 가탄재는, 고온에서 연소 시 다량의 CO2를 배출하게 된다. 이를 해결하지 위한 방법으로 가탄재의 일부분을 폐플라스틱으로 대체함으로써 배출되는 CO2의 양을 감소시키고, 무분별하게 버려지는 플라스틱을 재활용하고자 하였다. 이를 위해 3원계 슬래그에 가탄재와 폐플라스틱을 일정 비율 첨가하여 슬래그 포밍 효율을 관찰하고자 하였으며, 이때 정면에서 슬래그 포밍을 관찰함으로써 시간에 따라 변화하는 면적값을 데이터로 도출하여 폐플라스틱 첨가 여부에 따른 슬래그 포밍 변화를 비교하였다. 폐플라스틱이 첨가하였을 때 슬래그 포밍 효율이 기존 코크스와 유사하게 나타나는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이와 더불어, 본 연구에서는 가스분석기 장비를 활용하여 슬래그 포밍 데이터와 비교하였다. 가스분석기 분석을 통해 실험 중 생성된 CH4, CO2, CO, H2 등의 가스를 실시간으로 분석함으로써 반응이 진행됨에 따라 내부에서 발생하는 메커니즘을 유추할 수 있었다. 폐플라스틱을 첨가한 경우, C와 H의 결합이 깨지면서 생성된 H2와 CO, CO2 가스량을 정량화하였으며 CO와 CO2의 농도가 슬래그 포밍에 미치는 영향을 분석하였다. 이후 EPMA를 활용하여 포밍 최대 반응 지점 이후의 시편 단면을 성분 분석하였으며, H2와 CO, CO2 가스가 FeO 환원에 미친 영향을 폐플라스틱 첨가 여부에 따라 비교하였다. 실험을 통해 폐플라스틱을 첨가한 가탄재의 경우 탈산이 더 효과적으로 이루어짐을 확인하였다. 위 분석 결과를 통해 슬래그 포밍 과정에서 일어나는 화학적 변화를 관찰하였으며, 폐플라스틱을 첨가한 친환경 가탄재가 슬래그 포밍에 미치는 긍정적인 영향을 확인하였다.

[P8-8]

Multi-stage reduction of iron ore by hydrogen: Seong-Jin Kim, Dohyeon Kim(포항공과대학교), Seongkyu Cho(포스코기술연구원), Leonardo Rocha, Sung-Mo Jung*(포항공과대학교)

Keywords: Iron ore, fluidized bed, hydrogen, reduction, kinetics

Fluidized bed reactor (FBR) is recognised as one of the most adaptable technologies within chemical engineering application. Especially in ironmaking field, it has been extensively studied for iron ore reduction. Fine iron ore can be reduced into direct reduced iron (DRI) in FBR ensuring homogeneous mixing with abundant reducing gas flow, theoretically. For this point of view, existing fluidized bed reduction process such as FINMET, CIRCORED, or FINEX require significant change to achieve Net Zero Carbon by 2050. Each steelmaking companies selected two main strategies: One is utilizing new environment-friendly materials (biomass or biochar) or recycling by-product like mill-scale, and the other is hydrogen-based ironmaking process. HyREX in POSCO is the extension of FINEX, upgrading CO-based fluidized bed reduction process into H_2-based process. Transition in these ironmaking process with different reductant requires thorough academic investigation and technical optimization considering the main characteristics of hydrogen gas: light and endothermic. To minimize the heat loss during reducing gas passes through reactors and pipelines, multi-stage reduction with counter-current flow is necessary in terms of industrial operation. Also, reduction mechanism after each reduction stage should be clarified by applying proper kinetics models. The aim of this research is to simulate the multi-stage hydrogen reduction of fine iron ore through Thermogravimetric Analysis (TGA), thus optimising the HyREX condition. In this study, 0.4 grams of Australian limonite ore were subjected to TGA, dividing the experimental conditions into four stages (R4-R3-R2-R1) using N_2, H_2, and H_2O gases. Each reduction stage was determined based on the Baur-Glassner diagram, which maps the stability regions of Fe oxides according to reduction temperature and gas oxidation degree (GOD). As the reduction proceeded, the temperature was stepwisely increased, and GOD was decreased to simulate the stepwise reduction of iron oxide until reaching metallic Fe. After the R4 stage, an 11% reduction degree was achieved, corresponding to the theoretical oxygen removal from transformation of hematite to magnetite. After the R3 and R2 stages, the absolute values varied, but the reduction degree consistently aligned around 33%, representing the transformation of magnetite to wustite. Most oxygen removal took place in the R2 and R1 stages, highlighting the reduction of wustite to metallic Fe. This step required the longest duration, as changes in reduction degree relative to temperature and GOD were substantial. In stages R2 and R1, a simultaneous reduction in GOD led to an accelerated weight loss, while independent reductions in R2 GOD showed negligible change in final reduction degree, whereas R1 GOD remained influential. When kinetics models, including the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) equation, were applied to assess the trend, the rate-controlling step consistently transitioned from internal diffusion to chemical reaction. At elevated temperatures, hydrogen atoms can penetrate the dense iron layer rapidly, such that changes in GOD within the Fe stability region on the Baur-Glassner diagram do not change the rate-controlling step itself. Nonetheless, GOD remains a significant parameter in the hydrogen reduction of iron ore, affecting the timing of rate-controlling transitions. Low GOD in R2 stage led rate-controlling shift faster than high GOD condition. Furthermore, the kinetic exponent from the reduction degree curve increased, indicating a rapid nucleation growth rate under low GOD conditions. These results suggest that GOD can be optimised to balance operational costs, including hydrogen supply, against productivity which is gained from a higher reduction degree.

[P8-9]

부산물 재활용을 통한 송유용 강관 탈황 Flux 개발: 차은환, 김기원, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: CA Flux, Al_2O_3 내화물, RCP, 탈황

CA 플럭스는 제강공정 중 탈황능과 저융점을 위해 래들 플럭스로 활용된다. 제작 시 CaO 및 Al_2O_3 원료가 필요하다. 여러 원료 중 특히 RCP (재활용 콘크리트 페이스트, CaO)와 폐 Al_2O_3계 내화물(SiO_2 0.7~23.6 wt%)과 같은 부산물이 적용 가능하다. 본 연구에서는 2050 탄소중립의 실현을 목표로 두 산업부산물을 재활용하여 래들 탈황 플럭스를 개발하고, 활용가능성을 융점평가와 탈황 실험으로 확인하였다. 융점과 탈황능을 Factsage로 배합비를 달리하여 조성을 설계하였고, RCP:내화물= 2:1일 때 가장 최적임을 계산하였다. 융점평가는 수평로를 사용하였다. 분당 5도/분의 속도로 최대 1600도까지 승온하였다. 탈황실험은 유도로를 사용하였다. 1550도 H_2 3%-Ar 분위기에서 API강을 용융하고 래들 슬래그와 3종의 플럭스를 첨가하여 실험하였다. 플럭스의 융점은 1541도, 1522도, 1483도로, 고순도 알루미나가 사용된 플럭스가 가장 저융점으로 평가되었다. 래들 슬래그에 순도 별 플럭스 10 wt% 첨가 시 탈황이 증가하였다. 저순도 알루미나 플럭스의 효과가 가장 컸다. 해당 플럭스를 30 wt%까지 첨가할수록 탈황이 감소하였다. 탈황 매커니즘을 기반으로 결과를 해석하고 원인을 규명하고자 한다.

[P8-10]

슬래그 조성 및 내화물 탄소 함량 변화에 따른 MgO-C 내화물 침식 거동 연구 : 하주영, 김동희, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: 전기로 슬래그, MgO-C 내화물, 포화 용해도, 반응깁스에너지

MgO-C 내화물은 우수한 슬래그 부식 저항성으로 전기로 조업 중 벽체 내화물로 사용되고 있다. 하지만, MgO-C 내화물은 고온 슬래그에 노출 시 슬래그 조성(특히, 염기도, FeO 등)에 따라 열화 될 수 있고, 이는 내화물 수명에 영향을 끼친다. 본 연구에서는 조업 중 유동 환경을 모사한 Finger Rotation Test(FRT)를 활용하여 1550°C, 30분 동안 슬래그 내 침지 된 MgO-C 내화물의 침식 거동을 연구하였다. 슬래그 내 염기도(1.2~1.8), FeO 함량(5~25%) 변화 및 내화물내 탄소 함량(10~14%) 변화에 따른 MgO-C 침식 정도를 분석하였다. 슬래그의 염기도가 증가할수록 침식율은 감소하였고, 이는 슬래그의 MgO 포화 용해도 감소에 의한 것으로

사료된다. 또한 FeO 함량이 증가할수록 침식율이 증가하였고, 이는 △G가 감소하여 탄소와 더 쉽게 반응해 침식율이 증가하는 것으로 사료된다.

[P8-11]

Cost-Effective and Eco-Friendly EAF Processing Optimization through Life Cycle Assessment: Ryu Jieun, Cho Yeongrae, Kim Minho, Sohn Il*(Yonsei Univ.)

Keywords: Electric arc furnace, Carbon Net-Zero, Life cycle assessment, HBI, Processing costs

To achieve carbon net-zero in the steel industry, electric arc furnace (EAF) processing using hot briquetted iron (HBI) with scrap is being actively explored. Compared to the conventional BF-BOF route, which relies on iron ore and coke, EAF operation can reduce emission of carbon dioxide, nitrogen- and sulfur-oxides by approximately 75% when utilizing recycled resources such as scrap. Consequently, demand for scrap is gradually increasing; however, its supply chain is highly sensitive to economic conditions and industry trend. In contrast, HBI can be produced and imported more consistently, and its compact-derived from hydrogen-based direct reduced iron-offers advantages in handling and transportation. In this study, optimal conditions of input ratio of scrap to HBI and its metallization degree in EAF processing are analyzed by conducting life cycle assessment (LCA). EAF processing is modeled based on energy and mass conservation. With higher input ratio of scrap, CO_2 emissions per ton of crude steel decrease. However, the amount of CO_2 generated varies depending on the type of hydrogen (e.g. blue hydrogen, yellow hydrogen etc) utilized as the reducing agent for HBI. Moreover, metallization degree of HBI determines the iron yield and the amount of additives such as lime and dolomite, which directly affect overall processing costs. The LCA also accounts for various environmental impacts based on hazardous gas emissions. By integrating these parameters, the study identifies optimal operating conditions for achieving cost-effective and environmentally sustainable EAF processing.

[P8-12]

저품위광을 사용한 고로 슬래그의 점성 측정 및 예측 모델 도출: 정택용, 신현우, 강영조*(동아대학교)

Keywords: 고로, 슬래그, 점성

현재 제선 공정에서는 고품질 철광석의 고갈로 더 많은 Al2O3와 TiO2를 함유한 저품질 철광석의 사용량이 증가하는 추세이다. 저품질 철광석을 사용할 경우, 높은 Al2O3 함량으로 인해 슬래그의 점성이 증가함에 따라 슬래그의 유동성 저하, 통기성 저하로 인한 조업 온도 하락 및 고로 Bosh 부에서의 용철 적하 등의 문제가 발생하여 조업의 안정성을 떨어뜨린다. 또한 TiO2 역시 슬래그 점성에 영향을 주기에 안정적인 조업을 위해서는 이러한 최근 고로 원료의 변화를 적절하게 반영한 슬래그의 점성 예측 모델이 필요하다. 이를 위해 다양한 예측 모델이 제안되어 왔으나, 대부분의 경우 실제 조업 조건에 활용하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 4원계 고로 슬래그(CaO-SiO2-Al2O3-MgO)에 FeO(wt%), TiO2(wt%)를 추가한 6원계 슬래그에 대하여 회전 점도계를 이용해 1600ºC부터 1450ºC까지 25ºC 간격으로 점성을 측정하였다. 측정 결과를 이용하여 고로 출재 슬래그의 점성을 예측하기 위한 모델을 도출하였다.

[P8-13]

전기로 공정에서의 폐자원 연료 기반 친환경 가탄재 물성 및 적용성 평가: 유희덕, 하류, 강영조*(동아대학교)

Keywords: SRF(Solid Refused Fuel), BIO-SRF, TDF(Tire Derived Fuel), 가탄재, 탄소중립

탄소중립 달성을 위한 국제적 요구에 따라, 전기로(EAF) 공정 중 발열, 슬래그 포밍 등 다양한 목적을 위해 사용하는 괴탄을 대체할 친환경 가탄재 연구가 필요하다. 본 연구는 SRF, BIO-SRF, 난연 플라스틱, 폐타이어(TDF), 반탄화 바이오매스 등 다양한 폐자원 기반 고형연료를 후보군으로 도출하여 친환경 가탄재로서의 가능성을 검토하였다. 「고형연료 품질 기준 및 시험방법」에 따라 가탄재의 물성 및 배출가스 특성을 분석하였으며, 전기로 내 적용 가능성을 평가하기 위해 고주파 유도용해로를 통해 각 시료의 침탄 효율을 비교하였다. 특히 각 대체재의 특성을 고려한 배합 실험을 통해 요구물성과 환경성을 동시에 만족하는 최적 배합비를 도출하여 전기로 내 적용 가능성을 평가하였다.

[P8-14]

Carbothermal Reduction of DRI with Steelmaking By-Products via a Hybrid Conventional–Microwave Heating Approach: Han Dahye, Seojin Lee, Sohn Il*(Yonsei Univ.)

Keywords: Steelmaking by-products, Direct reduced iron, Microwave, Recycling, Zero waste

In modern ironmaking and steelmaking, tens of millions of tonnes of Fe-bearing by-products-such as dusts and sludges-are generated annually. Recycling these secondary resources into direct reduced iron (DRI) maximizes metal recovery, reduces production costs, and advances circular economy objectives under a zero-waste framework. Microwave heating presents distinct advantages for the carbothermal reduction of carbon-bearing DRI, owing to the high microwave absorptivity of carbon and iron oxides (e.g., magnetite). This enables rapid and energy-efficient reduction of magnetite and complex oxides such as fayalite, which are challenging to reduce using conventional thermal methods. This study investigates carbothermal reduction of iron-bearing pellets via conventional vertical furnace and microwave heating to establish optimal parameters for an integrated hybrid process. Metallization degree, compressive strength, and Zn removal efficiency were quantified using titration, universal testing machine (UTM), and inductively coupled plasma

optical emission spectrometry (ICP-OES), respectively. Conventional vertical furnace reduction achieved high mechanical strength and Zn removal but promoted fayalite formation under prolonged heating. Microwave-assisted reduction achieved superior metallization at lower temperatures with reduced carbon consumption and no fayalite formation, albeit with lower mechanical strength. The hybrid process synergistically enhanced metallization, mechanical strength, and Zn removal, overcoming the limitations of each individual method. These results underscore the viability of microwave-assisted reduction in valorizing steelmaking by-products into high-quality iron feedstock, delivering improved resource efficiency, reduced environmental impact, and a pathway toward economically sustainable metallurgical operations.

[P8-15]

전기로 전력 효율 개선을 위한 가탄제 가이던스 기술 개발: 김주호*(현대제철연구소)

Keywords: 전기로, 가탄제, 아크안정도

전기로(EAF) 공정에서 가탄제(괴탄, 분탄)를 사용하는 목적 중의 하나는 충분한 슬래그 포밍을 통해 아크 안정도를 향상시켜 전력 효율을 높이는 것에 있다. 적절한 가탄제 투입은 안정적인 슬래그 포밍 상태를 유지하여 아크 안정도를 확보할 수 있지만 과도하게 투입하는 경우 슬래그의 점도를 필요 이상으로 높이고 슬래그의 포밍 인덱스를 저하시켜 결과적으로 슬래그의 아크 보호 기능이 약화되어 전기로의 전력 효율이 저하된다. 현재 전기로 공정은 공정 특성상 조업 표준화가 어려워 일반적으로 조업자의 경험과 노하우에 의존하여 조업하는 경우가 많다. 가탄제 투입의 경우에도 슬래그 상태에 대한 조업자의 경험에 의존하여 투입하므로 조업자별 투입량 편차가 발생하고, 이러한 편차는 전력 효율의 저하로도 이어질 수 있으므로 이러한 문제 해결을 위해 명확한 가탄제 투입 가이던스가 필요하다. 따라서 당사에서는 빅데이터 분석을 통해 가탄제 투입량과 전력 효율의 상관관계를 분석하고 가탄제 투입량에 따른 전력 효율 및 아크 안정도 상관관계를 분석하여 전기로 전력 효율 향상과 최적 아크 안정도를 유지하기 위한 최적의 가탄제 투입 범위를 제시하는 방법에 대해 연구하였다.

[P8-16]

용강 내 마그카본 퍼징 플러그를 통한 산소 주입 시 열화 거동: 명재우, 김기원, 박찬근, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: 상저취전로, 순산소 저취, 마그카본 열화, 마그네시오 휘스타이트 반응층, 용강 탈탄

최근, 탄소 기반 철강 생산 중 탄소 배출 저감을 위해 전로 조업 시 용선 대비 스크랩 장입비를 증가시키는 것이 고려되고 있다. 스크랩 장입비의 증가는 전로 조업 중 추가적인 열원 공급을 요구하여 그 일환으로 상저취 기술 적용이 검토되고 있다. 본 연구에서는 전로 저취 공정을 모사한 고주파 유도로 장비를 활용하여 1550°C, 20분 동안 용강(초기 탄소 함량 0.5, 1, 2, 4%)에 침지된 마그카본(19%) 내화물을 통해 용강에 순 산소 주입 시 내화물의 열화 거동을 연구하였다. 실험 후 내화물의 X-ray CT 이미지를 통해 산소/내화물 계면과 용강/내화물 계면에서 내화물의 열화 경향이 다름이 관찰되었다. 산소/내화물 계면의 경우, 내화물의 열화는 모든 용강 조성에서 물질적 손상과 함께 계면에서의 반응층 형성이 동반되었다. 이러한 열화는 용강 내 초기 탄소 함량이 감소할수록 증가하였다. 용강/내화물 계면의 경우, 내화물의 열화는 모든 용강 조성에서 물질적 손상 없이 초기 탄소 함량이 0.5%인 용강에서만 계면에서 반응층이 형성되었다. 그 외 용강 조성에서는 내화물 표면에 환원된 고체 철이 일부 관찰되었다. 두 계면에서 형성된 반응층은 FE-SEM/EDS 분석을 통해 마그네시오 휘스타이트($(Mg_x, Fe_{1-x})O$)로 밝혀졌다. 해당 반응층은 용강 산화 및 마그네시아와의 반응에 따른 마그네슘, 철 이온들의 상호 확산으로 형성될 수 있다. 이는 초기 탄소 함량이 0.5% 용강인 조건에서 용강/내화물 계면에서만 용강이 산화되었다고 생각할 수 있다. 한편, 초기 탄소 함량이 1, 2, 4%인 용강에서, 산소에 의한 탈탄 속도는 시간에 따라 선형적 거동을 보였다. 하지만, 초기 탄소 함량이 0.5%인 용강에서, 산소 주입 초기 10분 동안 탈탄 속도는 선형적 거동을 보이나, 그 이후 비선형적으로 점차 감소하며, 용강 내 산소 농도를 증가시켰다. 용강 내 탄소와 산소 농도는 산소 가스 주입 전 평형에 도달하였으나, 산소 주입 시 평형에서 벗어나는 거동을 보였다. 국부적 산소 과포화로 인한 용강 산화는 마그카본 내 마그네시아와 반응하여 반응층을 형성한 것으로 판단된다.

[P8-17]

정련제 수입대체를 위한 폐자원 고부가가치화 및 정련성능 평가: 김인아, 정은진*(포항산업과학연구원)

Keywords: 폐내화물 재활용, 정련제 조성, Resource Circulation, 탄소 저감, 개재물 제거, Al_2O_3 정련, 고상산화물계 플럭스, 정련능, 산업 부산물 활용, 슬래그 개질제

최근 철강산업에서는 자원 순환과 탄소 저감 기술의 도입이 전 세계적으로 중요한 과제로 부상하고 있다. 특히 폐내화물의 재활용은 환경적·경제적 측면 모두에서 주목받는 분야로, 유럽의 경우 약 60% 수준의 재자원화를 달성하며 지반 충진재, 슬래그 개질제 및 일부 내화물 원료로의 활용이 이루어지고 있다. 이에 반해 국내의 폐내화물 재활용률은 23% 수준에 머무르고 있으며, 연간 약 11만 톤 이상의 폐내화물이 매립되고 있는 실정이다. 이러한 현실은 철강 산업 내에서의 폐자원 고부가가치화와 관련 기술의 국산화 필요성을 강하게 시사한다. 한편, 국내 철강업계는 정련용 첨가제 및 Flux 원료를 대부분 수입에 의존하고 있으며, 이에 따른 원가 부담 및 공급 불안정성이 지속적으로 제기되고 있다. 따라서 본 연구는 국산 폐내화물 및 금속 부산물 등 산업 부산자원을 활용하여 수입 첨가제를 대체할 수 있는 정련제 조성체를 개발하고, 이의 정련 성능을 학술적으로 평가하고자 하였다. 본 연구의 주요 목적은 복합 고상산화물계 Flux의 설계를 통해 철강 내 비금속 개재물, 특히 Al_2O_3 성분의 정련 가능성을 향상시키는 것이다. 이를 위해 복수의 폐자원 조합을 기반으로 실리케이트 및 알루미네이트 중심 조성을 설정하고, 주요 산화물 간 상호작용에 따른 개재물 포집 능력을 정량적으로 분석하였다. 또한, 개재물 제거 메커니즘에 대한 이론적 근거 확보를 위해 상평형 다이어그램 기반의 조성 최적화 및 고온 반응 거동 분석을 병행하였다. 본 연구는 폐자원의 고기능성 소재로의 전환 가능성을 제시함과 동시에, 정련 공정의

친환경적 전환 및 소재 국산화라는 산업적 요구에 대한 해결 방안을 탐색한다는 점에서 의의가 있다. 특히, 철강 내 개재물 정제 기술을 향한 학술적 접근으로서, 정련제 구성 성분의 조성과 물리화학적 특성이 실제 불순물 제거 효율에 미치는 영향을 계량적으로 해석하고자 하였다. 향후 본 연구의 결과는 실증 공정에서의 적용 가능성을 바탕으로 기술적 확장성과 산업적 파급력을 동시에 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

[P8-18]

Development of MgO-containing low-melting temperature agent as a flux material for the sintering process of iron ores: Leonardo Rocha*, Seong-Jin Kim(포항공과대학교), Seongkyu Cho, Byung-Jun Chung(포스코기술연구원), Sung-Mo Jung*(포항공과대학교)

Keywords: MgO, low-melting temperature, sinter

The sintering process of iron ores contributes to a significant portion of CO_2 emissions from steel plants. A previous research conducted by Tomas da Rocha et al. prepared a calcium ferrite from iron ores and by-products as iron oxide sources. In this study, this calcium ferrite was added to the sinter mix at different levels, at a much lower fuel ratio, to understand its effect on sinter properties such as reducibility and strength. The final results showed a positive effect of calcium ferrite, which came as a promising technology to reduce the CO_2 emissions from the sintering process, without deteriorating the sinter quality. Furthermore, as the depletion of high-grade iron ores keeps increasing, the use of low-grade ores in the sintering process will be enhanced, such as high-Al_2O_3 ores. As a countermeasure method to the drastic increase of Al_2O_3 in the sinter mix, a redesign of the calcium ferrite should be considered. The addition of MgO before the preparation of calcium ferrite emerges as a possible route to be further investigated. MgO is a well-known material to compensate for the negative behavior of Al_2O_3. Therefore, this study aims to understand the mechanism of MgO present in the low-melting temperature agent (calcium ferrite) on the sinter quality when the sinter is prepared by high-Al_2O_3 iron ores.

[P8-19]

폐타이어의 전기로 슬래그 포밍제 적용 연구: 김기현*, 임동혁, 차홍주(고등기술연구원)

Keywords: 전기로, 슬래그 포밍, 폐타이어, 염기도

전기로 제강 공정에서 슬래그 포밍은 전극 보호, 내화물 마모 감소, 열효율 향상에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 슬래그 포밍을 유도하는 가탄재로써 분탄과 폐타이어의 혼합비 변화 및 슬래그 염기도(CaO/SiO_2)가 슬래그 포밍 거동에 미치는 영향을 조사하였다. 상용 EAF 슬래그를 대상으로 포밍 높이, 유지 시간, 기포 특성을 동영상 분석으로 평가하였다. 폐타이어 혼합비 증가 시 초기 포밍 높이 상승과 기포의 빠른 소멸로 포밍 유지 시간은 감소하였다. 또한 염기도 변화로 인한 포밍 높이 변화 및 유지 시간에 대한 평가를 진행하였다. 본 연구는 분탄-폐타이어 혼합비와 염기도 제어를 통해 포밍 성능 최적화와 지속가능한 탄소원 활용을 위한 실공정 적용 가능성을 제시한다.

P9 : 고온재료
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P9-1]

L-PBF 공정으로 제조된 IN718 합금의 재결정 구동력에 미치는 Layer thickness의 영향: 심영래(한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 이상원, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원)

Keywords: Inconel718, L-PBF, layer thickness, microstrcuture, GND density

본 연구에서는 laser powder bed fusion (L-PBF) 공정을 통해 제조된 IN718 합금의 분말 층 두께가 재결정 구동력 및 미세조직 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 직경 13 mm, 길이 70 mm의 봉상 시편의 최상층에서 용융 풀 크기를 측정한 결과, 25 μm와 50 μm 층 두께 조건에서 유사한 크기의 용융 풀이 관찰되었다. 그러나 dislocation-cell structure의 크기는 25 μm 조건에서 594 ± 131 nm, 50 μm 조건에서 798 ± 114 nm로 25 μm 조건에서 다소 작게 나타났고, transmission Kikuchi diffraction (TKD)를 통해 수행한 전위밀도 정성분석에서 cell 내부 및 경계에 분포하는 전위밀도 또한 25 μm 조건에서 더 높은 것으로 확인되었다. 이는 L-PBF 공정 중 얇은 층 두께 조건에서 온도구배가 더 높다는 것을 의미하며, 반복 열응력에 따른 기지금속의 변형량도 높은 것을 의미한다. 이러한 초기 미세조직 특성을 바탕으로 동일한 용체화 열처리를 수행할 경우, 재결정 구동력이 높은 25 μm 조건의 재결정 정도가 높을 것으로 기대할 수 있다. 실제 1095°C에서 1.5시간 동안 용체화 열처리 후, 25 μm 조건의 재결정 분율은 38.5%로 50 μm 조건의 23.5% 보다 높게 나타났다. L-PBF 적층재는 초기부터 약 35 μm 내외의 미세한 결정립도를 가지므로 재결정 정도의 차이는 열처리 후 결정립 크기, 전위밀도, 그리고 기계적 특성 등 소재 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 목표 특성에 부합하는 적층재 제작을 위해서는 재결정 거동을 고려한 공정 변수 설계가 필수적이며 본 연구 결과, 실험 범위 내에서는 분말 층 두께가 얇을수록 재결정 구동력이 뚜렷하게 증가하는 것으로 확인되었다.

[P9-2]

열처리 조건에 따른 미세조직 변화가 L-PBF 공정으로 제조된 IN718 합금의 크리프 특성에 미치는 영향: 심영래(한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 이상원, 최백규, 김인수(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교), 정중은*(한국재료연구원)

Keywords: Inconel718, L-PBF, heat treatment, microstructure, creep ductility

본 연구에서는 laser powder bed fusion (L-PBF) 공정으로 제조된 Inconel 718 합금의 크리프 특성 (creep properties)에 미치는 열처리 조건의 영향을 체계적으로 분석하였다. 두 가지 용체화 열처리 조건 (1065°C, 1095°C)을 적용하고 동일한 시효 열처리를 거친 후, 650°C - 689 MPa의 조건에서 크리프 시험을 수행하였다. 용체화 열처리 이후 재결정 분율은 1065°C, 1095°C 조건에서 각각 약 20%, 88%로 측정되었으며, 균질화 및 재결정 거동에 따라 미세조직과 석출물 분포 경향 또한 차이가 나타났다. EBSD 분석 결과, 재결정 진행 정도가 높은 1095°C 조건에서는 결정립 등축화 및 조대화가 발생하였고, 이에 따라 고경각 결정립계 (HAGB) 분율이 증가하였다. 반면, 재결정 분율이 낮은 1065°C 조건에서는 열처리 전의 columnar grain 구조와 높은 전위 밀도가 유지되었다. 시효 열처리를 완료한 시편의 크리프 수명은 1065°C, 1095°C 열처리 시편에서 각각 384 ± 80 hr, 199 ± 18 hr, 크리프 파단 연신율은 16 ± 4.3%, 5.75 ± 1.1%로 측정되어 재결정 분율이 낮은 조건에서 상대적으로 우수한 크리프 특성이 확인되었다. 1065°C 조건과 1095°C 조건에서 정상 크리프 속도 (steady-state creep rate)는 각각 $4.91\pm1.3 \times 10^{-9}$ s^{-1}, $10.37\pm2.2 \times 10^{-9}$ s^{-1}로 나타났는데, 이는 1065°C 조건에서 상대적으로 높은 γ″ 상 분율로 크리프 강도가 높은 것에 기인하는 것으로 판단하였다. 재결정이 80% 이상 진행된 1095°C 조건에서는 재결정 과정에서 발생하는 recovery에 의해 γ″의 핵생성 사이트 중 하나인 전위밀도가 감소하여 크리프 강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 파단 시편의 미세조직 관찰 결과, 1095°C 시편은 조대한 등축정 형성에 따라 하중 방향에 수직하게 배열된 결정립계 분율이 상대적으로 높으며, 이러한 HAGB에서 crack이 쉽게 발생하고 빠르게 연결됨에 따라 파단 연신율이 낮게 나타났다. 반면, 1065°C 시편은 열처리 이후에도 columnar grain 구조를 유지하고 있어, 하중 방향에 수직하게 배열된 결정립계 일부에 균열이 발생하더라도 연결성이 낮아 상대적으로 높은 크리프 파단 연신율을 보였다. 본 연구에서는 열처리 조건에 따른 미세조직 변화가 크리프 특성에 직접적인 영향을 미침을 실험적으로 확인하였으며, 특히 γ″ 분율 및 결정립 형상이 L-PBF로 제조된 적층재 크리프 특성의 중요 인자로 작용함을 확인하였다.

[P9-3]

IN718 합금의 균질화 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 평가: 장수민, 한수빈, 송혜진, 김동혁*(한국생산기술연구원)

Keywords: IN718, Laves, 균질화, 기계적 특성

IN718 합금은 고온·고압 환경에서 우수한 강도, 내식성, 내열성 및 내구성이 우수하여 항공엔진과 가스터빈의 핵심 소재로 널리 사용된다. 그러나 석출 경화형 합금인 IN718은 주조 과정에서 Nb 편석으로 인해 취성이 강한 Laves상이 형성되는 문제가 있으며, 이는 균질화 처리에서도 완전히 제거되지 않는 경우가 많다. 잔존 Laves상은 후속 열처리에서 주변에 δ상을 형성시켜 기계적 특성을 저하시키는 주요 원인이 된다. 기존에 알려진 균질화 온도인 1093 °C에서 장시간 처리 시 Laves상이 점차 제거되는 현상이 관찰되었으나, 결정립 조대화와 생산성 저하가 동반되는 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는 고온에서 균질화 조건을 달리하여 Laves상 제거를 극대화할 수 있는 최적 조건을 탐구하였다. 이를 위해 미세조직 변화를 관찰하고, Laves상 제거 정도에 따른 기계적 성능을 평가하기 위해 기계적 특성평가를 진행하였다.

[P9-4]

강도-연신 특성이 우수한 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo DED 성형체의 미세조직 및 결정학적 변형기구 해석: 한재연, 김준혁(국립창원대학교), 권영삼(㈜쎄타텍), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo, Direct energy deposition (DED), α+β lamellar, Tensile properties, Slip transfer

Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금은 기존 Ti–6Al–4V 합금의 고온 기계적 특성을 향상시키기 위해 개발된 near-α 합금으로 항공우주 분야 등에 활용되고 있다. Ti–6Al–4V 합금과 마찬가지로 Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금 또한 복잡한 형상 제조 및 Ti 합금의 비싼 공정 비용 절감을 위해 선택적 레이저 용융(Selective laser melting. SLM), 직접 용착 방식(Directed energy deposition. DED)등과 같은 적층제조 공정이 접목되고 있다. 그러나 적층제조 공정의 빠른 냉각 속도로 인해 α' 마르텐사이트의 생성이 유도되어 강도는 높지만 연신율이 약 5 % 정도로, 실제 제품 적용에 있어 걸림돌이 되는 낮은 연성을 초래한다. 따라서, 적층제조된 Ti합금은 산업에 활용될 수 있을 수준의 연성 확보가 필수적이며 주로 성형 이후 열처리 과정이 수행된다. 그러나, 현재까지 후열처리 설계에 대한 연구 및 변형 기구 등에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 DED 공정에 의해 제조된 Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금에 대해 후열처리 전후에 따른 인장 특성 및 미세조직 기반 변형 기구에 대해 분석하고자 하였다. As-DEDed 샘플의 미세조직은 일부 α' 마르텐사이트와 다량의 basket-weave 및 Widmanstäten 형태의 α+β 라멜라 조직이 혼재하였으며, 후열처리 이후 α+β 라멜라 lath 폭이 소폭 증가하였다. 타 문헌에서 나타난 입자(particle) 형태의 β상은 나타나지 않아, 후열처리 전후 미세조직은 서로 유사한 것으로 확인되었다. 인장 시험 결과, As-DEDed 샘플의 강도와 연신율의 조합이 매우 우수하게 나타났으며 후열처리를 겪은 샘플보다도 우수한 인장 특성이 확인되었다. 인장 파면 분석 결과, 모든 시편에서 dimple이 지배적으로 관찰되었으며, lack of fusion 및 un-melted powder 등과 같은 적층제조 결함은 관찰되지 않았다. 인장 변형 기구 고찰을 위한 TEM 분석 결과, 모든 샘플에서 α lath 내에 높은 전위 밀도가 관찰되었고, β상 내에 다수의 slip line이 관찰되었다. 이는 인장 변형 중 slip transfer의 발생에 의한 결과로, 인장 특성이 우수하였던 As-DEDed 샘플에서 β상 변형 정도가 더 많은 것을 확인하였다. 상기 연구 결과를 통해 인장 시험 시, 연질의 β상이 인장 변형을 수용하여 DED 성형체의 우수한 강도-연성 특성의 구현이 나타난 것으로 판단된다.

[P9-5]

인코넬 939 계열 니켈계 내열합금의 석출상 구성 원소 분율 제어를 통한 기계적 특성 최적화 전략: 김동환, 김민석, 박은수*(서울대학교)

Keywords: 니켈계 초합금, 석출 강화, 미세구조, 기계적 물성, 연신율

인코넬 939는 크리프 수명과 산화 저항성이 우수한 니켈계 내열합금 소재이지만, 연신율이 비교적 떨어지며 용접 및 적층 제조 과정에서 발생하는 균열에 취약하다는 한계 또한 가지고 있다. 본 연구에서는 인코넬 939 계열 니켈계 내열합금의 γ'-석출상 구성 원소 분율 제어를 통해 미세구조 및 기계적 특성의 최적화를 수행하고자 하였다. Al, Ti, Ta 및 Nb와 같은 석출상 구성 원소의 분율이 제어된 다수의 인코넬 939 기반 내열합금 시편이 제조되었으며, 4-step 균질화 및 열처리 과정을 거친 뒤 그 미세구조 및 기계적 특성을 평가하였다. 실험 결과 특정 원소 분율이 높은 조성의 미세구조에서 독특한 바늘 모양의 석출 거동이 관찰되었으며, EDS mapping을 통해 이것이 취성이 높은 η-석출상임을 확인할 수 있었다. 이러한 취성 석출상의 생성을 억제하기 위해 석출상 구성 원소의 분율을 정밀하게 재조정함으로써, 강도의 하락을 최소화하면서도 연신율은 대폭 향상시킬 수 있는 합금 설계 전략을 수립할 수 있었다. 해당 전략을 통해 설계한 신규 개발 합금 조성은 기존 인코넬 939 합금 대비 상온 강도, 상온 연신 및 고온 연신이 모두 10% 이상 개선되는 등 우수한 기계적 특성을 나타냄을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구는 인코넬 939뿐 아니라 다른 니켈계 내열합금의 취성 문제를 해결하고 기계적 특성을 최적화하는 새로운 합금 설계 방향성을 제시할 수 있을 것으로 기대한다. 이 논문은 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(No. KRIT-CT-23-042-03)

[P9-6]

Designing High-γ′ Ni-Based Superalloys with Superior High-Temperature Properties via Higher Lattice Misfit and Atomistic Characterization: Tae Gyeong Kim, A Reum Lee, Hyun Uk Hong*(Changwon National University), Chan Hee Lee(KAIST), Byoong Soo Lee(KITECH)

Keywords: Additive manufacturing, Ni based superalloy, Alloy design, APT, Lattice misfit

Ni-based superalloys are widely employed in turbine blade applications owing to their exceptional high-temperature strength, corrosion resistance, and oxidation resistance. To further improve temperature capability, additive manufacturing (AM) is increasingly explored, as it enables the fabrication of complex geometries such as internal cooling channels. However, the high γ′ volume fraction essential for superior high-temperature performance often induces severe cracking during AM. In this study, the composition of the reference alloy Ren´e 80 was systematically modified to enhance its processability in electron beam powder bed fusion (EB-PBF), also known as selective electron beam melting (SEBM). Specifically, Ti content was reduced from 5 wt% to 3 wt%, while Ta (2.5 wt%) and Hf (1.0 wt%) were introduced. These modifications improved powder morphology and successfully suppressed cracking in SEBM-fabricated parts. The as-built microstructure exhibited columnar grains aligned with the build direction and contained a primary γ′ phase fraction of 40%, with an average γ′ particle size of 382 nm. Atom probe tomography revealed enhanced partitioning of Ti, Al, and Ta into the γ′ phase, which increased the lattice misfit at the γ/γ′ interface. This higher misfit was further validated by first-principles calculations and shown to impede dislocation motion, thereby strengthening the alloy. As a result, the modified composition demonstrated superior tensile properties at 870 °C compared to conventionally cast Ren´e 80. Overall, this work highlights that subtle yet strategic alloy design, coupled with atomistic insights into lattice misfit, can effectively balance additive manufacturability and high-temperature strength in Ni-based superalloys.

[P9-7]

방전 플라즈마 소결을 통한 스퍼터링 타겟용 Mo-Ti 합금 소결체 제조 및 특성평가 : 오병헌, 김 건, 윤지오, 이동주*(충북대학교)

Keywords: 몰리브덴 합금, 방전 플라즈마 소결, 스퍼터링 타겟

몰리브덴(Mo)은 우수한 내식성을 가지며, 열·전기적 전도성이 우수하고 낮은 임피던스를 가지고 있어 디스플레이, 태양전지 및 반도체 소자의 전극 및 배리어 층 등 다양한 전자부품에 활용되고 있다. 특히 Mo 합금은 스퍼터링을 통해 박막 형태로 응용되며, 티타늄(Ti)과 같은 합금원소가 첨가될 경우 박막의 열적 안정성 및 내식성을 향상시켜 확산 방지막으로의 활용성이 높아진다. 그러나 기존 용융법 기반의 Mo 합금 타겟은 불균일한 미세조직으로 인해 타겟 품질을 높이기 위한 후공정이 필수적으로 요구된다. 이에 최근 분말야금공정을 통한 스퍼터링 타겟 제조에 대한 연구가 이루어지고 있다. 분말야금공정은 결정립 제어가 용이하며 후공정이 필요없다는 장점이 있으나 소결 공정에서 발생할 수 있는 낮은 상대밀도 및 조성 불균일성은 해결해야 할 과제로 남아있다. 본 연구에서는 소결 거동 향상을 위해 Mo와 Ti 나노분말을 활용하여, 방전 플라즈마 소결 (SPS; Spark plasma sintering) 공정을 통해 높은 상대밀도 및 미세 결정립 크기를 갖는 스퍼터링 타겟용 Mo-Ti 합금 소결체를 제조하였다. 소결공정 변수에 따른 Mo-Ti 합금 소결체의 미세구조적 변화와 소결 거동을 분석하여 스퍼터링 타겟으로서의 응용 가능성을 평가하였다. 본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20217510100020, 저품위 공정 폐액으로부터 희소금속 회수 공통 핵심(농축, 분리회수)공정 플랫폼 구축 및 소재화 기술 개발)

[P9-8]

Cr 및 그 희박 합금의 저온 소성 변형에 대한 활성화 인자 비교 및 고용 연화 현상에 대한 고찰: 박준서, 박예준, 강태혁, 최벽파*(한국과학기술원(KAIST))

Keywords: Activation volume, Activation enthalpy, Body-centered cubic, Chromium, Refractory metal, Solid solution softening

체심 입방 결정 구조를 가지는 6족 전이금속 원소인 Cr은 기존 니켈계 초내열합금이나 다른 내화금속 대비 밀도가 낮고 경제성이 우수하며, 약 1200 K까지 우수한 내산화 및 내부식 특성이 유지되어 차세대 초내열합금 후보로 주목받은 원소이다. 그러나 매우 높은 연성-취성 천이 온도로 인하여 구조 재료로서의 활용이 제한될 뿐만 아니라 변형 거동에 대한 기초 연구도 부족하였다. 이에 대한 가장 경제적인 해결책 중 하나로 고용 연화 현상이 알려져 있으나, 그 원인에 대하여 논란이 남아있다. 본 연구에서는 다결정 Cr 및 그 희박 합금의 시편에 대한 압축 가변 변형률속도 시험 및 가변 온도 시험을 진행하여 해당 합금은 극도의 인장 취성에도 불구하고 전위의 이동이 존재할 뿐만 아니라 전형적인 체심 입방 결정 금속의 소성 변형 거동을 따름을 보였다. 또한 이를 통해 계산한 활성화 부피 및 활성화 엔탈피 값과 미세구조 분석 결과를 비교하여 희박 합금에서 고용 연화 현상이 나타나는 이유를 고찰하였다.

[P9-9]

DSA 760과 Nimonic 80A의 원소 조성과 미세구조 차이에 따른 2형 고온부식 거동의 시간별 비교 분석: 정이, 강창민, 장희진*(조선대학교)

Keywords: Ni-Cr-Al계 합금, DSA 760, Nimonic 80A, 고온부식, V_2O_5-Na_2SO_4, 미세구조, Cr·Al 확산

본 연구에서는 Ni-Cr-Al계 초내열합금인 DSA 760과 Nimonic 80A의 2형 고온부식 거동을 원소 조성·미세구조 차이와 Cr·Al 확산 거동 관점에서 시간별로 비교·분석하였다. 두 합금 시편에 대해 700 °C에서 85 wt% V_2O_5 + 15 wt% Na_2SO_4 혼합염(20 mg/cm^2)을 도포한 후 5 분, 15 분, 6 시간, 72 시간, 192 시간 동안 부식 시험을 수행하였다. 부식 전후 질량 변화를 측정하고, 표면 및단면을 주사전자현미경(SEM), 에너지 분산형 X선 분광법(EDS), X선 회절분석(XRD)으로 분석하여 부식층의 형태, 두께, 생성물을 관찰하였다. 초기(5–15 분) 단계에서는 표면 근처의 Cr과 Al이 확산하여 불연속적인 Cr_2O_3와 Al_2O_3 층이 형성되었고, 일부 영역에서는 (Al, Cr) 혼합 산화층이 관찰되었다. 중간(6–72 시간) 단계에서는 DSA 760에서 비교적 균일한 Al_2O_3 2중층이 관찰되는 경향을 보였으며, 외층은 (Al, Cr) 복합 산화물, 내층은 치밀한 Al_2O_3로 구성되어 부식 억제에 기여했을 것으로 추정된다. Nimonic 80A는 높은 Cr 함량에도 불구하고 일부 영역에서 Al 산화층 연속성이 저하되는 양상이 나타났으며, 이는 $V_{22}O_5$에 의한 Cr_2O_3 용해와 Ti이 산화물에 복합적으로 작용했을 가능성이 있다. 장시간(192 시간) 노출 시, DSA 760은 산화층 구조가 비교적 안정적으로 유지되는 경향을 보였으나, Nimonic 80A에서는 Cr 고갈층 확장과 Al 확산 제한으로 인해 산화막 손상이 진행되는 양상이 관찰되었다. 이러한 결과는 합금의 원소 조성과 미세구조 차이가 Cr·Al 확산 경로, 산화막 구조 및 장기 안정성에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. (이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00449360))

[P9-10]

700 °C V_2O_5 + Na_2SO_4 혼합 용융염 환경에서 Inconel690 합금의 시간에 따른 고온 부식 거동 연구: 강창민, 정이, 장희진*(조선대학교)

Keywords: 고온 부식, 부식 거동, 용융염, 내열합금, Inconel690

본 연구는 700 °C V_2O_5 + Na_2SO_4 혼합 용융염 조건에서 Inconel690 합금의 고온 부식 거동을 시간에 따라 체계적으로 평가하였다. Inconel690 합금은 Ni-Cr 기반 합금으로, 우수한 내식성과 고온 안정성을 가지고있으며 보일러 튜브 및 열교환기 부품 등에 널리 사용된다. 그러나 이러한 환경에서는 연료에 황(S), 바나듐(V)과 같은 불순물들이 포함되어 있다. 해당 불순물들은 연소 과정에서 각각 황산화물(SO_2, SO_3), 바나듐 산화물(V_2O_5)로 산화된다. 황산화물, 바나듐 산화물 등은 개별적으로는 높은 융점을 가지지만 소재 표면에 침전 및 흡착되면서 고온에서 혼합 용융염 상태로 존재하게 되고 공융점이 낮아져서 약 700 °C(고온부식 2유형)의 온도에서는 액체상태로 존재하게 된다. 액체상태로 존재하는 혼합 용융염은 금속 표면의 Cr_2O_3기반 산화피막을 파괴하고 부식을 가속화 시키게 된다. 고온의 혼합 용융염 환경에서는 피막 파괴, 염 침투, 내부 산화 등 부식 진행과정이 복학접으로 이루어지기 때문에 원인 분석을 진행하기 쉽지않다. 따라서 본 연구에서는 고온 부식 시간을 5분, 15분, 6시간, 72시간, 192시간으로 세분화하여

시간에 따른 고온 부식 메커니즘을 분석하였다. 고온 부식 실험을 진행한 후 SEM-EDS를 통해 시간 경과에 따른 주요 원소의 확산 경향을 비교·분석하였으며 무게 변화량 측정을 통해 부식 속도 변화를 평가하였다. 본 연구 결과는 V_2O_5 + Na_2SO_4 혼합 용융염 환경에서 Inconel690 합금의 장·단기 부식 거동 규명에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. (이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00449360))

[P9-11]

다목적 최적화 기반 니켈기 초내열합금 조성 탐색: 김수정, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수, 윤대원*(한국재료연구원)

Keywords: 니켈기 초내열합금, Multi Objective Optimization, ANN, Pareto 최적화

니켈기 초내열합금에서 고온 강도, 상안정성, 그리고 산화 저항은 상충하는 설계 목표여서 제한된 실험 예산 및 시간 하에 조성 공간을 체계적으로 탐색하기 어렵다. 고온 강도와 크리프 저항성은 γ′ 강화상의 분율, 크기, 분포와 γ/γ′ 격자 불일치 및 미세조직의 열적 안정성에 좌우되며, 강화상의 분율을 높이는 조성 변화는 장시간 노출 시 TCP상 형성의 열역학적 구동력을 증가시킬 수 있다. 산화 저항성은 Cr_2O_3 또는 Al_2O_3 보호 산화막의 형성과 연속성에 크게 의존하나, 이를 위한 Cr 또는 Al 증가는 석출거동과 용질 분배에 영향을 미쳐 미세조직 안정성에 제약을 줄 수 있다. 이러한 상충을 정량적으로 다루기 위해 본 연구는 실험으로 확보한 62개 조성을 기반으로 베이지안 인공신경망을 학습하고, 조성 축을 보간한 78, 125개 조성의 물성을 예측하였다. 예측 대상은 900 °C 및 1000 °C에서의 고온 압축강도와 반복 산화에 따른 질량 변화이며, 상안정성은 new PHACOMP로 계산한 Md와 상태도 기반 유해 TCP상의 최대 분율 합(TCP_max)으로 정량화하였다. 이들 지표를 목적함수로 설정한 다목적 최적화와 파레토 선단 분석을 통해 조성 변화에 따른 Trade-off를 시각화하고, 최적 물성을 만족하는 조성 범위를 도출하는 절차를 제시하고자 한다.

[P9-12]

Effect of SiC addition on grain refinement, mechanical strength, and oxidation behavior of NbSi2-based composites: 이정한*(한국생산기술연구원)

Keywords: Nb-Si, Nb-SiC, spark plasma sintering, oxidation resistance, mechanical properties

Nb-Si and NbC-Si composites were synthesized from powders via ball milling and spark plasma sintering at 1, 300°C and 1, 200°C, respectively. NbC-Si exhibited a finer grain size (0.18 μm) and higher relative density (98.7%) than Nb-Si (0.28μm, 96%). Mechanical properties showed that the $NbSi_2$-SiC composite demonstrated improved hardness (1, 353.6 kg/mm^2) and fracture toughness (3.0MPa·m^{1,2}) compared to the $NbSi_2$ composite (HV: 1, 178.1 kg/mm2, K_{IC}: 1.2MPa·m^{1,2}), attributed to the refinement, dispersion strengthening, and densification due to the addition of SiC. Oxidation resistance, evaluated by TGA-DTA and quantitative analysis of oxidized cross-sections at 1, 000°C, was superior in NbC-Si, owing to the formation of a stable, protective SiO_2 layer instead of Nb oxides. These results demonstrate the simultaneous enhancement of mechanical properties and oxidation resistance in $NbSi_2$-SiC composites.

[P9-13]

용융염 원자로용 Ni기 모델합금의 고온 기계적 특성: 윤지현*, 이현근(한국원자력연구원)

Keywords: 용융염 원자로, Ni기, 기계적 특성, 고온, 인장

국내외에서는 용융염을 냉각재 및 연료로 사용하는 소형 용융염 원자로 (Molten Salt Reactor, MSR) 의 개발이 활발히 진행되고 있다. MSR은 기존 대형 경수로 대비 안전성 및 경제성 측면에서 패러다임 전환을 가능하게 하는 혁신적 원자로 개념으로 주목받고 있다. 고온의 부식성 용융염을 운전 매질로 사용하기 때문에, 원자로 냉각계통의 구조재는 열적, 화학적 열화에 대한 저항성을 확보함과 동시에 장주기 원전 조건에서도 우수한 기계적 신뢰성을 유지해야 한다. 그러나, 현재까지 고온 원자로 설계에 필수적인 ASME (American Society of Mechanical Engineers) 고온 원자로 코드에 등재되어 있는 후보재료는 매우 제한적일 뿐 아니라 고온염 환경에서는 사용 성능이 현저히 떨어져 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 중장기적 관점에서 MSR 가동 환경에서 우수한 성능을 유지하는 새로운 재료의 개발이 반드시 필요한 실정이다. 본 연구에서는 열역학적 상평형 계산을 토대로 합금 조성을 설계한 Ni기 MSR 구조용 모델 합금을 대상으로, 상이한 두 가지 냉각 공정을 적용하여 제조한 시편을 제조하였다. 이후, 700ºC에서 인장 시험을 실시하여 기계적 특성을 평가하였다.

[P9-14]

리튬 이차전지 양극재 소성용기 내식성 향상을 위한 CaAl12O19소재에 대한 연구 : 이진구*(한국생산기술연구원)

Keywords: 세라믹, 소성용기, 리튬 이차전지, 내식성

리튬 이차전지는 다양한 mobility 산업뿐만 아니라 신재생에너지로부터 에너지 저장 측면에서 많은 관심을 받고 있다. 이러한 이차전지의 성능은 양극재의 품질에 상당히 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 양극재 합성 시 소성과정에서 대부분 결정이 된다고 할 수 있다. 일반적으로 소성용기는 mullite와 cordierite등을 혼합하여 사용되고 있으며, 소성 후 심각한 리튬 침식현상으로 양극재 품질저하에 더해 소성용기의 수명을 크게 단축시키게 된다. 따라서, 본 연구에서는 양극재의 리튬 이온과 반응성을 억제하여 소성용기의 내식성을 향상시키기 위해서 CaAl12O19 소재를 합성하고 적용하였다. 소재의 합성은 고상법으로 합성되었으며, XRD를 통한 결정구조 해석, dilatometer를 활용한 열팽창률, SEM을 통한 소재 및 소성용기의 미세구조, 그리고 실제 개발소재를 적용한 소성용기의 내식성 평가를 진행하였다.

[P9-15]

50톤급 대형 가스터빈 압축기 소재의 미세조직과 열역학 해석: 이형수, 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문*(한국재료연구원)

Keywords: 가스터빈, 압축기, 대형주단조

가스터빈 압축기 회전 부품은 터빈에 비해 상대적으로 저온 환경에서 운전되지만, 약 400°C에서 고속으로 회전하기 때문에 FOD(Foreign Object Damage)에 취약하다. 따라서 소재의 고청정화 및 템퍼 취성 제어를 통한 고인성 특성 확보가 중요한 이슈이다. 본 연구에서는 3.5NiCrMoV 강 주·단조 소재에 대한 미세조직 분석과 CALPHAD 기반 열역학 해석을 수행하였다. 이를 위해 실험실 규모(10 kg) 주조 잉고트를 제작하여 응고 편석 및 미세조직 특성을 관찰하였으며, 단조 시편과 비교하여 공정에 따른 조직 변화와 비금속 개재물 거동을 분석하였다. 주조 잉고트의 경우 응고 속도에 따라 수지상 조직의 크기와 분포가 크게 달라졌으며, 수지상 간 영역에서는 합금 원소의 미세 편석과 Al_2O_3, MnS 등의 개재물이 집중적으로 관찰되었다. 반면, 단조 시편에서는 고온 변형 및 재결정에 의해 등축정(Equiaxed) 결정립 구조가 형성되었고, 주조 상태에서 확인되던 수지상 조직과 개재물은 현저히 감소하였다. 또한 Thermo-Calc를 활용하여 평형 상태도, Scheil 및 Back-diffusion 응고 모델을 적용하고, 열물리적 특성을 예측하였다. 계산 결과, 주요 합금 원소(Ni, Cr, Mo, V 등)는 응고 과정에서 액상으로 편석하는 경향을 보였으며, 특히 V와 Mo의 편석이 가장 뚜렷하게 나타났다. 아울러 계산을 통해 액상 점도, 밀도, 열전도도, 엔탈피 등 고온 물성을 확보하였으며, 주조 해석에 활용 가능한 응고 잠열 및 고상 분율 변화를 확인하였다. 본 연구 결과는 대형 잉고트 제조 및 공정 최적화를 위한 기초 데이터를 제공하며, 향후 발전용 구조재의 안정적 제조와 성능 확보에 있어 중요한 지침이 될 것으로 기대된다.

[P9-16] Canceled

ODS계 Ni 합금의 고온 특성 : 김송이*(한국생산기술연구원)

Keywords: 초고온 복합소재, 금속재료, 분말재료, 항공재료

본 연구에서는 초고온 환경에 적용되는 Ni계 초내열 합금을 기반으로 설계된 신조성 합금의 고온 특성을 평가 하고자 하였다. ODS를 기반으로 하여 Ni계 합금의 미세조직 및 고온 기계적 특성을 조사하였다.

P10 : 타이타늄
Room 1층 다목적홀2, 10월 29일

[P10-1] Canceled

Effects of cryogenic quenching on microstructural evolution and tribological behaviour of Ti-6Al-4V: Hyun-hak Kang*(Incheon National University), Min-su Lee(Korea Institute of Industrial Technology), Tea-Sung Jun(Incheon National University)

Keywords: Ti-6Al-4V, Cryogenic quenching, Wear, Surface hardness, Martensite

The effects of cryo-quenching on the microstructural and tribological behaviour of Ti-6Al-4V alloy were investigated. heat treatment of Ti-6Al-4V alloy was conducted under different cooling condition (air, water and liquid nitrogen). As the cooling rate increases, the α′-martensite fraction became more increased. The surface hardness was increased by the formation of α′-martensite network and suppressed α-grain coarsening. The wear morphology reflects a hardened surface resulting from α′-martensite formation. Consequently, the wear mechanism shifted from severe adhesive and abrasive wear with deep grooves to predominantly mild abrasive wear with minimizing surface damage and material loss. The cryo-quenched sample exhibited the improved wear resistance, with a wear rate reduction of 17.8% compared to the water-quenched sample and 38% compared to the air-cooled sample. These findings highlight the potential of cryo-quenching as an effective method for enhancing the wear resistance of Ti-6Al-4V alloy. ACKNOWLEDGMENTS This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea program (No. RS-2025-02603127, Innovation Research Center for Zero-carbon Fuel Gas Turbine Design, Manufacture, and Safety).

[P10-2]

Bi-modal 조직을 가지는 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직 인자와 기계적 특성의 상관성 고찰: 김종훈, 한재연(국립창원대학교), 김치원(한국재료연구원 극한재료연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, Primary α, α+β lamellar, Stabilization treatment, Tensile property

Ti-6Al-4V 합금은 우수한 비강도와 인성 그리고 내식 특성 때문에 터빈 블레이드에 적합한 소재로 널리 사용되고 있다. Ti-6Al-4V는 α-stabilizer Al과 β-stabilizer V 첨가에 의해 후열처리 조건에 따라 Equiaxed α, α+β lamellar, Bi-modal 구조가 형성될 수 있으며, 그중 primary α와 α+β lamellar 조직이 혼재된 Bi-modal 구조는 우수한 강도와 연성을 가져 고성능의 제품을 생산하는 데에 적합한 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 AMS(Aerospace Material Specification)규정에서, Ti-6Al-4V 단조재의 후열처리 공정은 용체화 이후 시효 처리를 통해 Bi-modal 조직을 확보하는 방향으로 권장되고 있다. 산업적인 측면에서, 대형 부품 소재의 경우 용체화 열처리와 시효 열처리 사이 안정화 열처리가 필수적으로 여겨지지만, 현재 Ti-6Al-4V 합금에서 안정화 열처리의 영향에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 단조재의 안정화 열처리 유무에 대한 미세조직 변화 거동과 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 이를 위해 동일한 용체화 처리 이후 안정화 열처리를 수행한 시편과 수행하지 않은 시편에 대해 시효 처리를 진행하고 해당 미세조직을 비교하였다. 첫째로, 용체화 열처리를 수행한 경우 α+β lamellar가 생성됨에 따라 Bi-modal 구조가 형성되었다. 이 과정에서 용체화 온도가 높아질수록 primary α 상의 분율이 감소하는 결과가 나타났으며, 냉각속도가 증가함에 따라 lamellar colony의 미세화 및 일부의 α' 마르텐사이트가 생성된 것으로 확인되었다. 둘째로, 안정화 및 시효 열처리를 진행한 결과, 용체화 처리 대비 lamellar 폭이 증가하였으며 lamellar colony 내부 lath 조직의 segmentation이 다수 확인되었다(α lath=576 nm, β film=95.2 nm). 이후 안정화 열처리가 미세조직 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해, 안정화 열처리를 생략한 시편을 동일한 방법으로 시효 처리하였다. 그 결과 안정화 열처리를 수행하지 않은 시편에서는 시효 처리를 진행하였음에도 상대적으로 α+β lamellar 폭이 좁고 lamellar colony 내부 segmentation의 경향이 다소 감소한 것으로 확인되었다(α lath=493 nm, β film=64.1 nm). 위 연구 결과들을 통해 Ti-6Al-4V 단조재의 안정화 열처리는 lamellar 폭의 증가 및 시효 열처리 과정에서 lamellar의 segmentation 발달에 영향을 주는 것으로 판단되었다. 추가적으로 후열처리 조건에 따른 기계적 특성의 변화를 확인하기 위해, 상온과 압축 블레이드의 운행 온도인 260 ºC에서 인장 시험을 진행하였다. 그 결과 용체화 처리의 조건을 달리하였을 때에는 인장 강도의 변화가 다소 확인되었으나, 안정화 열처리의 경우 진행 유무에 관계없이 상온과 260 ºC 모두 유사한 특성이 확인되었다. 상기 연구 결과를 통해 Ti-6Al-4V 단조재의 안정화 열처리는 Bi-modal 미세조직에 일부 영향을 미치지만, 인장 특성을 비롯한 기계적 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

[P10-3]

항공기용 Ti-6Al-4V의 상분율에 따른 저온 진동 피로 특성과 기계적 특성 분석: 송민준, 박정연, 이동근*(국립순천대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, low temperature vibration fatigue, phase fraction

Ti-6Al-4V 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성으로 인해 항공기 부품 소재로 널리 사용되고 있다. 그러나 항공 운항 중 순항고도의 저온(-50 ℃) 환경에서 엔진 블레이드 및 터빈 회전에 따른 진동(~수백 Hz)이 구조물의 수명에 영향을 미쳐, 기존 수명 예측에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 수명 예측 오차는 부품 교체 및 점검 주기의 불확실성을 증가시키고, 이에 따른 유지보수 비용 상승과 항공기 안전성 저하를 초래한다. 따라서 저온 환경에서의 진동 피로 특성에 대한 연구가 필수적이나, 이에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직과 상분율이 저온 진동 피로 거동에 미치는 영향을 규명하고자 다양한

열처리 조건을 적용하였으며, -60 °C~0 °C 범위에서 ~수백 Hz 조건의 진동 피로 시험을 수행하였다. 이후 EBSD 및 XRD 분석을 통해 잔류응력과 전위밀도를 산출하였으며, 이를 토대로 미세조직 변화가 진동 피로 수명에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

[P10-4]

중간재를 활용한 초고내식 다중금속판재 금속간화합물 억제 기초 연구: 박상원*, 권홍기((재)포항소재산업진흥원), 유경훈((주)우양에이치씨)

Keywords: 다중금속판재(Ti/Steel), 압력용기, 중간재, 금속간화합물, 미세조직, 기계적 특성

다중금속판재(Clad or Multi-layer Steel Plate)는 이종 금속을 2종 이상의 층으로 아크용접, 폭발용접 또는 열간압연으로 고상접합하는 기술 등을 이용하여 제조한다. 보통 탄소강(Carbon Steel = Base Metal)에 내식합금(Corrosion Resistance Alloy) 혹은 내마모강(Wear Resistance Steel)과 같은 기능성을 가진 탄소강보다 고가의 소재를 적정 수명을 고려해 최소 두께로 조합 설계한 방식으로 각 소재들의 강점을 효과적으로 융합해 제조한 소재이다. 고내식성 소재 필요 분야인 국내외 오일가스, 해수/담수설비, 화공플랜트, 발전플랜트 등에서 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, Ti, Zr 과 같이 초고내식성을 가진 금속은 이러한 분야에서 활용이 가능하고, 고온 및 극한 환경에서 안정적으로 성능을 발휘할 수 있는 소재요구에 부합하여 성능향상 및 생산성 개선을 위한 개발이 필요한 상황이다. 특히, 압력용기 중 가장 중요한 용접조인트는 Shell의 Longitudinal weld seam(L-seam)과 Head의 Circumferential weld seam(C-seam)이고, 그 외 노즐과 조립되는 부분에 용접 조인트가 다수 존재한다. 한편, 다중금속판재 용접시 이종용접에 따른 금속간화합물 발생으로 용접품질에 큰 영향을 주므로 금속간화합물 층 억제를 위한 관련 중간재 적층기술 기초 연구가 필요하다. 본 연구에서는 Ti/Carbon Steel(CS) 이종소재 용접시 발생하는 금속간화합물 억제를 위해 중간재로 모넬합금(Ni-Cu alloy) 분말과 DED 공정을 활용하여 적층 공정조건 별로 적층하였다. 또한, 적층 공정조건 별로 용접 건전성 평가, 계면부 미세조직, 기계적 특성 분석 등을 통한 최적 적층공정 조건 선정 기초 연구를 수행하였다.

[P10-5]

Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어 공정에 따른 인장 변형 거동 및 고주기 피로 거동 분석: 신수홍, 박정연, 이동근*(국립순천대학교 신소재공학과)

Keywords: High cycle fatigue, metastable β titanium alloy, heat treatment, isothermal ω, secondary α

타이타늄 합금은 우수한 기계적 특성과 열처리를 통한 미세조직 제어가 가능하다는 장점으로 인해 자동차, 항공우주, 해양 분야에서 이상적인 구조용 소재로 널리 활용되고 있다. Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금은 저렴한 β 안정화 원소(Mo, Fe)와 소량의 Al을 첨가하여 비용 효율성과 기계적 성능의 균형을 동시에 달성한 저비용 β 타이타늄 합금이다. 구조용 소재 설계에서 고주기 피로 특성은 중요한 고려 요소로 부각되고 있으며, 본 연구에서는 2A2F 합금의 석출상 제어와 그에 따른 고주기 피로 파단 거동을 체계적으로 분석하였다. 석출상 제어를 위해 790°C에서 1시간 용체화 처리를 수행한 후, 450°C, 500°C, 550°C에서 각각 4시간의 시효처리를 실시하여 α상과 ω상의 석출을 유도하였다. 기계적 특성 평가를 위해 비커스 경도 측정과 상온 인장 시험을 진행하였으며, 이후 다양한 하중 조건에서 고주기 피로 시험을 수행하였다. 이를 바탕으로 각 시효 온도 조건별로 피로 균열의 발생 및 전파 메커니즘과 파손 양상을 상세히 규명하였다.

[P10-6]

V-Fe 합금원소에 의한 α+β계 타이타늄 합금 특성 변화: 이수정, 이성호, 윤재원, 임진수랑, 이제인(부산대학교), 김상훈(국방과학연구소), 이태경*(부산대학교)

Keywords: Titanium, Iron, Vacuum arc remelting

타이타늄은 우수한 비강도와 내식성으로 항공우주 및 방위산업 분야에서 핵심 구조 소재로 사용되고 있다. 그러나, 상용 α+β계 합금은 고가의 β-안정화 원소인 바나듐(V)에 수입 의존도가 높아 소재의 국산화와 경제성 확보에 어려움이 있다. 본 연구에서는 V 함량을 최소화하고 가격이 낮으면서 공급이 용이한 철(Fe)의 첨가량을 단계적으로 조절하여 경제적이고 우수한 기계적 성능을 확보할 수 있는 방산용 타이타늄 합금의 최적 조성을 설계하고자 한다. Fe는 βs 분율 조절을 통해 강도와 가공성을 향상시키는 역할을 하지만, 과도한 Fe 첨가는 βs의 과도한 안정화 및 β-fleck 형성을 유발하여 연성 저하의 원인이 될 수 있다. 본 연구에서는 진공 아크 용해, 열처리 및 열간 압연을 통해 시편을 제조하고 optical microscope (OM) 및 electron backscatter diffraction (EBSD) 분석을 통해 Fe 함량에 따른 상 분포, 결정립 미세구조 특성을 비교 분석한다. 또한, 비커스 미세 경도 시험과 상온 인장 시험을 수행하여 미세조직과 기계적 특성의 상관관계를 평가하고, Fe 첨가량 변화에 따른 최적의 합금 설계 조건을 도출하고자 한다. 본 연구 결과는 타이타늄 합금의 소재 국산화와 제조 비용 절감을 위한 설계 지침 마련 및 국내 독자적 공급망 구축에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

P11 : Wiley ▪ Advanced Materials 특별 포스터 세션

Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P11-1]

Unveiling the critical role of pre-alloyed Pr on shell formation and coercivity of heavy rare-earth free Pr-diffusion processed Nd-Fe-B sintered magnets: Sujin Lee(Korea Institute of Materials Science), Ganghwi Kim, Ki-Suk Lee(Ulsan National Institute of Science and Technology), Sumin Kim, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science), Kyoung-Hoon Bae, Dong-Hwan Kim(Star Group Ind. CO., Ltd.), Jung-Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Nd-Fe-B sintered magnets, grain boundary diffusion, heavy rare-earth free, coercivity

The eco-friendly automobile industry requires the permanent magnets with superior hard magnetic properties to miniaturize the traction motors of EV/HEV and increase their efficiency. Therefore, the Nd-Fe-B based permanent magnets have been intensively used in the traction motors of EV/HEV due to their excellent anisotropy field and saturation magnetization that determine the coercivity and remanence of the magnets. However, the coercivity of the Nd-Fe-B magnets is significantly reduced at the operating temperature (~473 K) of the traction motors. The grain boundary diffusion process (GBDP) using heavy rare earth element (HRE = Dy and Tb) is a powerful method allowing the increase in coercivity by formation of the HRE-rich shell with high anisotropy field surrounding the $Nd_2Fe_{14}B$ grains. However, the GBDP magnets have critical problems including the limit on the diffusion depth and the undesired consumption of expensive HRE due to the formation of too thick HRE-rich shell. To solve this problem, alternative diffusion sources containing light rare earth (LRE), such as Pr, have been attracted from many researchers. The origins of coercivity enhancement of the Pr-GBDP are the formation of high-anisotropy Pr-rich shells surrounding the $Nd_2Fe_{14}B$ grains, which can suppress reverse domain nucleation at the grain boundary region, and the dissolution of Pr into the Nd-rich grain boundary phases, which can weaken the exchange coupling between $Nd_2Fe_{14}B$. Furthermore, the coercivity improvement of Pr-GBDP magnets is strongly influenced by the microstructure of Pr-rich shell, including its concentration, thickness, and distribution. Thin or low-Pr concentration shells show less contribution to the coercivity improvement than thick or high-Pr concentration shells, but they allow deeper GBD-depth by reducing the consumption of diffusion source of Pr. Although commercial Nd-Fe-B magnets typically contain 5~8 wt.% Pr, the impact of pre-alloyed Pr on the microstructure of Pr-rich shell remains unclear. Thus, this work examines magnetic and microstructural changes of Pr-free and Pr-alloyed Nd-Fe-B magnets during the GBDP using low-melting Pr-Cu-Al-Ga (PCAG) alloy as the diffusion source. Remarkably, the PCAG-GBDP Pr-free magnets exhibited a larger coercivity increase of 0.43 T compared with 0.21 T for the PCAG-GBDP Pr-alloyed magnets, despite a comparable reduction in remanence. These results demonstrate that the PCAG-GBDP enhances the coercivity of Pr-free magnets more effectively than that of Pr-alloyed one. Compared to the Pr-alloyed magnets, shallower Pr-rich shell is formed in the Pr-free magnets. Thereby, the GBD-depth of Pr also increases in the PCAG-GBDP Pr-free magnets because the Pr-consumption for the shell formation (thickness of shell) is reduced. In this presentation, the effect of pre-alloyed Pr on the thickness, concentration, and distribution of Pr-rich shell will be discussed in detail in terms of chemically induced liquid film migration (CILFM) as the shell formation mechanism consuming the diffusion source. Our findings indicate that the GBD-depth of Pr is the most critical factor for achieving high coercivity of Pr-GBDP magnets, which is in a good agreement with the micromagnetic simulation results. This work will provide a meaningful guide to develop highly efficient Pr-based GBDP without HRE usage.

[P11-2]

Simultaneous improvement in coercivity and remanence of Nd-ultra-saving Ce-substituted Nd-Fe-B sintered magnets by grain boundary diffusion process using low-melting Nd-Cu-Al-Ga alloy: Sujin Lee, Sumin Kim, Tae-Hoon Kim*(Korea Institute of Materials Science), Kyoung-Hoon Bae, Dong-Hwan Kim(Star Group Ind. CO., Ltd.), Jung-Goo Lee(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Nd-Ce-Fe-B sintered magnet, grain boundary diffusion process, coercivity, remanence

The Nd-Fe-B-based magnets are extensively used in the various industries, including wind power generation, intelligent robotics, and electric/hybrid vehicles, owing to their superior hard magnetic properties derived from high anisotropy field and saturation magnetization of $Nd_2Fe_{14}B$ (2-14-1) grains. However, the increasing demand for high-performance Nd-Fe-B magnets has led to a substantial depletion of critical rare earth elements (RE), particularly Nd and Pr, resulting in concerns on their cost and supply stability. Therefore, significant research efforts have been directed toward developing high-performance permanent magnets with reduced Nd. Among potential substitutes, Ce has emerged as a promising candidate for partially replacing Nd in the magnets due to its high natural abundance and cost-effectiveness. However, the inferior intrinsic properties of $Ce_2Fe_{14}B$ compared to $Nd_2Fe_{14}B$ present a significant challenge in achieving high-performance Nd-saving magnets. In particular, excessive Ce substitution (>40 % of the total RE) substantially deteriorates the hard magnetic properties, limiting the Nd-saving potential of the magnets. To develop high-performance Nd-ultra-saving magnets, the grain boundary diffusion process (GBDP) using heavy rare earth element (HRE = Dy and Tb) is an effective method to increase the coercivity by forming the HRE-rich shell with high anisotropy field surrounding the $Nd_2Fe_{14}B$ grains, while minimizing the decrease in remanence. However, the HRE is also critical element with long-term availability and cost issue, and

its usage as diffusion source undermines the advantages of Nd-saving magnets. To resolve the deterioration of magnetic properties induced by Ce in 2-14-1 grains without HRE usage, the Nd-based alloy was selected as the diffusion source satisfying two criteria: (1) RE in the GBD source should have a negative substitution energy for Ce in the 2-14-1 lattice to extract the Ce from 2-14-1 to Nd-rich GBP, and (2) the RE in the GBD source should be able to increase both the anisotropy field and saturation magnetization of 2-14-1 in Ce-substituted magnets. Therefore, in this work, we successfully demonstrate a simultaneous enhancement of coercivity and remanence in ~57 % Nd-saving magnets via GBDP using a low-melting Nd-Cu-Al-Ga (NCAG) alloy as the diffusion source. Specifically, the coercivity of the as-sintered Nd-saving magnets substantially increased from 0.90 T to 1.52 T by the NCAG-GBDP, and it further increased to 1.62 T after the post diffusion annealing. Additionally, the remanence of the as-sintered magnets also improved to 1.07 T after NCAG-GBDP, exhibiting the gain of 0.03 T. In this presentation, we will discuss the microstructural changes induced by NCAG-GBDP to elucidate the mechanism behind the simultaneous enhancement of coercivity and remanence of Nd-saving magnets. In particular, the origin of significant coercivity improvement through NCAG-GBDP was clarified by compositional changes in the shell and GB and by crystallographic features of the triple junction phases. Based on our findings, we will suggest the key factors of the GBDP for improving the hard magnetic properties of high-Ce-content magnets to a level of commercial Nd-Fe-B sintered magnets.

[P11-3]

Bioorthogonal Assembly of Protein–Nucleic Acid Hybrids for Next-Generation Therapeutic Materials: Hyesung Jo(POSTECH), Munsu Kyung, Seonmin Ju, Jong-Seo Kim, Sang Taek Jung(Seoul National Univ.), Seung Soo Oh*(POSTECH)

Keywords: Biomaterials, proteins, nucleic acids, bioconjugates, therapeutics

Precise site-specific modification of native proteins remains a central challenge in protein engineering and bioconjugation. We developed an aptamer-guided strategy that integrates the “slow-reactive and hydrolysis-resistant” deoxyoxanosine (dOxa) into epitope-selective aptamers, enabling dominant single-lysine conjugation at recognition sites. This catalyst-free, one-pot chemistry proceeds under near-physiological conditions with high yields and minimal off-target reactions, producing stoichiometrically controlled protein–DNA conjugates that preserve structural integrity and activity. Beyond labeling and heterofunctionalization of diverse proteins, this platform allows semipermanent regulation of enzymatic functions and bioorthogonal labeling of live-cell surface receptors, such as nucleolin and PTK7, in amine-rich media. Extending this strategy to antibodies, we achieved covalent conjugation without the need for protein engineering and while preserving antibody functions. By exploiting the programmability of nucleic acids, we readily prepared drug–antibody conjugates (ADCs) with defined stoichiometry and tunable payload configurations. In proof-of-concept studies, these ADCs showed selective target engagement, strong antitumor activity, and favorable safety profiles in both in vitro and in vivo models. Overall, aptamer-guided conjugation provides a versatile and selective platform that bridges nucleic acids and proteins. Its ability to generate well-defined, functional ADCs highlights its potential for next-generation targeted therapeutics in oncology and beyond.

[P11-4]

Superhydrophobic Conical-Structured Membrane with Ion-conductive Nanocoating for Flooding Mitigation and Operational Durability in Proton Exchange Membrane Fuel Cell: Sang Jin Park(Korea Institute of Science and Technology, Korea University), Jun Hyuk Ko, Tae-Jun Ko, Min-Seok Kim(Korea Institute of Science and Technology), Sahn Nahm(Korea University), Myoung-Woon Moon*(Korea Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University, KIST-SKKU Carbon-Neutral Research Center)

Keywords: Proton exchange membrane fuel cells, anti-water flooding, durability, superhydrophobic membrane, nanocrack-induced ion channels

Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) are a promising alternative to conventional fossil fuel systems, but their long-term durability is limited by challenges in water management, especially under high-load conditions. The accumulation of excess water, known as flooding, in the membrane electrode assembly (MEA) significantly impedes mass transport and catalyst utilization. While many studies have focused on the catalyst or gas diffusion layers, the interface between the membrane and the cathode catalyst layer is critically important for liquid water removal. In this study, we developed superhydrophobic conical-structured membrane decorated by ion-regulating nanocoating for mitigating flooding at the membrane catalyst layer (CL) as well as for enhancing long-term operational durability in PEMFC. The membrane surface was engineered with superhydrophobic conical microstructures created via plasma etching and coated with an ultra-thin (<20 nm) layer of plasma-polymerized hexamethyldisiloxane (pp-HMDSO). This design effectively enhances water removal from the surface. More importantly, as the membrane swelling creates nano-crack networks over the conical structures, forming well-distributed nanochannels that facilitate proton transport. The superhydrophobic conical structures effectively reduce the interfacial adhesion of produced water on the membrane, to suppressing the accumulation of water, while the nanochannel regulates the sufficient ion transport between the hydrophobic coated membrane and the cathodic CL. The superhydrophobic conical membrane demonstrated superior water expulsion capability and sustained high performance under extreme humidification conditions, maintaining up to 1.704 A/cm^2 at 150% RH, corresponding to a 47% improvement over pristine membrane. Under constant voltage condition, the energy capacity with the superhydrophobic conical membrane was maintained for 20 hours with 42.3% greater than the pristine membrane case, effectively mitigating degradation due to flooding. Overall, this approach offers a significant contribution to extending the operational lifespan and reliability of PEMFCs for commercial automotive and energy applications.

[P11-5]

Entropy-Engineered Catalyst for Direct Ammonia Protonic Ceramic Fuel Cells: Dongyeon Kim(KAIST), Dong Jae Park(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Incheol Jeong(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), Seeun Oh, Hyeonggeun Kim, Mincheol Lee(KAIST), Sang Won Lee(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Kangyong Lee(KAIST), Ki-Min Roh(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), Joongmyeon Bae(KAIST), Tae Ho Shin(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology), Kang Taek Lee*(KAIST)

Keywords: Ammonia, Catalyst, Protonic Ceramic Fuel Cells

Protonic ceramic fuel cells using ammonia are promising for carbon-neutral energy, but conventional Ni-based anodes often degrade due to poor catalytic stability in ammonia-rich environments. In this study, a high-entropy oxide is applied as an anode catalyst layer to address these challenges. Upon reduction, nanoscale metal particles exsolve in situ from the oxide framework, forming stable and active interfaces. These structures promote efficient ammonia decomposition through synergistic effects between acidic oxide surfaces and embedded metallic sites. Microscopy and spectroscopic analyses confirm the uniform dispersion and durability of the exsolved phase. The entropy-driven architecture resists particle coarsening and structural collapse under fuel exposure. This approach offers a pathway to combine catalytic reactivity with long-term stability, essential for scalable direct ammonia-fed fuel cell applications. The study highlights the potential of entropy-based catalyst design as a practical solution for harsh electrochemical environments.

[P11-6]

Enhancing Energy Density and Structural Stability of Nickel Manganese Oxide Cathode through Compositionally Complex Multi-Cation Doping Strategy: Jaejung Park(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Jinyoung Jeong(Soongsil University), Bumsoo Park(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kyoungmin Min*(Yonsei University), Seungchul Lee*(Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

Keywords: High-entropy Cathode, Machine Learning Interatomic Potential, Compositionally Complex Doping, Density Functional Theory Calculation

Recently, a compositionally complex doping strategy was employed to develop a high entropy (HE) nickel manganese oxide cathode (HE-LNMO), which experimentally demonstrated high capacity with minimal volume change. While previous studies have not sufficiently considered wide variety of doping elements and diverse combinations that can arise from them, this study aims to explore a broader range of dopants and identify HE cathodes that exhibit enhanced structural stability and superior electrochemical performance, primarily through density functional theory (DFT) calculations aided by machine learning interatomic potentials (MLIP). A total of 1, 365 doped HE-LNMO structures are generated by selecting four dopants from fifteen doping elements and DFT calculations are performed for each candidate, covering both discharged and charged states. To conduct these calculations efficiently, MLIP, specifically CHGNet pretrained on Materials Project, is used in two main aspects: 1) To determine the energetically most favorable doping sites in HE-LNMO. 2) To identify the most energetically-stable delithiated configuration for the charged states. By combining DFT calculations with the fast and accurate predictions of MLIP, electrochemical properties and volume changes during charging for all candidates are calculated. Ultimately, cathodes meeting criteria of gravimetric energy density (> 875 mWh/g), average voltage (> 3.5V), and volume change ($\leq$ 8%) are identified. Furthermore, by analyzing the dopant compositions of these candidates, not only the individual roles of each dopant to structural stability and electrochemical performance, but also the synergistic interactions between dopants that underpin the enhanced properties of HE cathodes are discussed within this study. By systematically evaluating an extensive set of dopant combinations beyond those previously explored, this study proposes HE cathodes with enhanced properties as candidates for future experimental validation, and offers a database of HE cathodes and insights derived from the analysis of dopant compositions that serve as valuable guidance for the design of HE cathodes.

[P11-7]

Room-Temperature Synthesized α-phase $CsPbI_3$ Perovskite Nanocrystals for High-Performance Red Light-Emitting Diodes: Jihoon Kim(성균관대학교), Dongwoon Lee, Jaeyoung Jang*(한양대학교), Bo Ram Lee*(성균관대학교)

Keywords: Room-temperature synthesis, Red perovskite, Light-emitting diodes

Metal halide perovskite nanocrystals (PNCs) have emerged as next-generation luminescent materials due to their excellent optoelectronic properties such as band gap tunability, high photoluminescence quantum yield (PLQY) and high color purity. However, current challenges in achieving high PLQY and high synthesis yield still remain in $CsPbI_3$ PNCs due to their instability in ambient condition. In particular, non-radiative δ-phase of $CsPbI_3$ is thermodynamically favorable than radiative α-phase in ambient condition. Furthermore, phase transition from α to δ-phase readily occurs due to the low energy barrier of the transition which hinders efficiency of the PNCs. Here, we present an effective and facile method to synthesize α-phase $CsPbI_3$ PNCs under ambient condition. Through the exclusion of polar solvent during synthesis, degradation of the PNCs was minimized, while addition of trace amount of anti-solvent increased the synthesis yield retaining the optical properties. The synthesized α-phase PNCs based light-emitting diodes (LEDs) exhibited a peak external quantum efficiency of 17.29 % with high reproducibility, high color stability under bias and operational stability (T_{50}) of 25.3 minutes. Our work provides a straightforward way of α-phase $CsPbI_3$ synthesis for high-performance LEDs, paving ways to effective large-scale synthesis and commercialization of the PNCs.

[P11-8]

Water-free in-situ HI mediated pure-red perovskite quantum dot light-emitting diodes: Jihun Kim(Sungkyunkwan Univ.), Seyeong Lim, Ho Seong Jang*(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Bo Ram Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

Keywords: Perovskite quantum dots, Light-emitting diodes, Water-free HI, Shor-chain ligand engineering,

Perovskite quantum dots (PQDs) are promising candidates for next-generation display technologies due to their high color purity, tunable bandgap, and facile solution processability. However, the intrinsically low bandgap of iodine-based PQDs remains a key obstacle to achieving pure-red electroluminescence (620–640 nm). Recent studies have shown that hydroiodic acid (HI) can protonate oleylamine into oleylammonium, thereby suppressing crystal growth and inducing a blue-shift toward pure-red emission. Nevertheless, the water-rich composition (≈57 wt%) of commercial HI solution promotes undesirable [PbI_6] octahedral etching, which undermines colloidal stability. Here, we report a water-free in-situ HI source–mediated synthesis strategy combined with short-chain ligand passivation to improve both charge transport efficiency and stability in $CsPbI_3$ QDs. This approach enables blue-shifted emission alongside enhanced colloidal stability and improved electroluminescence durability under electric fields. As a result, we realize perovskite light-emitting diodes (PeLEDs) exhibiting a 637 nm emission peak with enhanced external quantum efficiency (EQE) and operational stability.

[P11-9]

Ion-Beam Structuring of Fe-Coordinated Cellulose Nanowires toward Multifunctional Properties : Young A Lee*(한국과학기술연구원), Chan Young Oh(한국과학기술연구원, 서울대학교), Sang Jin Park, Myoung Woon Moon*(한국과학기술연구원)

Keywords: Cellulose nanocrystals (CNCs), Ion-beam structuring, Multifunctionality

We present a new approach that uses cellulose nanocrystals (CNCs) as a functional framework. CNCs are sustainable biopolymers with high order and strength. However, their rigid structure has limited their use in multifunctional materials. In this study, we report a one-step, dry process to make Fe-coordinated cellulose nanowires (ICNWs). The method uses low-energy Ar^+ ion-beam irradiation with Fe^{3+} ions. The natural cholesteric order and unusual thermal expansion of CNC films facilitate the growth of nanowires and the in situ coordination of Fe. Our nanowires show a core–shell structure with an amorphous cellulose center surrounded by Fe-Carbon-rich shells. This structure increases strength, conductivity, and optical response. Essential steps in the transformation include ripple-to-wire surface change, Fe domain growth, and partial graphitization. Our results show that ion-beam structuring with metal coordination is a simple and effective way to make multifunctional nanostructures. This work demonstrates that CNCs can act as a proper framework for sustainable functional materials.

[P11-10]

DNA-Based quasi-Solid Electrolyte for High-Performance Zinc Ion Batteries: JINKYU LEE, Jaeyoung Jeong, Tae Gwang Yun*(Ajou Univ.)

Keywords: Battery, Zinc ion battery, DNA, Electrolyte, Quasi-solid

The escalating climate crisis, driven by fossil fuel dependence, has underscored the urgent need to transition toward renewable energy systems and carbon-neutral technologies. Governments and industries worldwide are committing to net-zero emissions targets, accelerating the deployment of solar, wind, and other renewable sources. However, the intermittent nature of these energy supplies necessitates reliable, high-performance energy storage systems (ESS) to ensure grid stability and energy accessibility. While lithium-ion batteries (LIBs) remain the dominant technology, their reliance on scarce lithium/cobalt resources, coupled with the environmental toll of mining and toxic electrolyte disposal, poses significant sustainability challenges. These issues highlight the critical demand for eco-friendly, resource-abundant alternatives that align with circular economy principles. Aqueous zinc-ion batteries (ZIBs) have attracted growing interest as a sustainable solution, leveraging zinc's high theoretical capacity (820 mAh g^{-1}), natural abundance, and compatibility with aqueous electrolytes. Nevertheless, conventional aqueous electrolytes still face intrinsic limitations, including zinc dendrite growth, hydrogen evolution reactions (HER), and cathode dissolution, which compromise long-term cycling stability. To address these challenges, polymer hydrogel electrolytes have emerged as a promising class of materials. Their three-dimensional crosslinked polymer networks, which retain high water content, provide several advantages: (1) mechanical flexibility to accommodate volume changes during cycling, (2) regulation of ion transport to suppress dendrite formation, and (3) reduced water activity to mitigate parasitic side reactions. Among various biopolymer-based hydrogels, DNA stands out as a unique natural macromolecule offering both sustainability and multifunctionality. Unlike conventional bio-based hydrogels, DNA possesses a highly ordered molecular architecture with abundant functional groups such as phosphate backbones, nucleobases, and amine/carbonyl moieties. These groups can strongly coordinate with Zn^{2+} ions, regulate nucleation kinetics, and provide an electrostatic shielding effect that homogenizes ion flux at the electrode surface. In addition, its amphiphilic nature—arising from hydrophilic phosphate groups and hydrophobic nucleobases—enables DNA to act as a molecular surfactant, homogenizing local current distribution and thereby facilitating uniform zinc deposition. Moreover, DNA's intrinsic biocompatibility, biodegradability, and molecular programmability offer additional advantages for green energy storage applications. In particular, the DNA hydrogel exhibits significantly higher ionic conductivity compared to conventional bio-based hydrogels, further underscoring its superiority as

an electrolyte material. In this study, we present a novel DNA hydrogel electrolyte that harnesses the intrinsic functional diversity of DNA to achieve environmentally friendly design and enhanced electrochemical performance. The DNA functional groups enable well-controlled zinc ion deposition, resulting in stable Zn plating/stripping for over 2200 hours without dendrite formation and maintaining a high cycling efficiency of 99.1% over 2000 cycles at a current density of 10 mA cm^{-2}. Furthermore, unlike conventional gel electrolytes, the proposed DNA hydrogel exhibits superior mechanical robustness and delivers approximately 1.7 times higher ionic conductivity compared to liquid electrolytes. These findings highlight DNA hydrogels not only as sustainable materials but also as high-performance candidates for flexible batteries, paving the way toward next-generation hydrogel-based aqueous zinc-ion batteries (AZIBs).

[P11-11]

Ultra-High-Performance Nanocrystalline Soft Magnetic Materials with an Expanded Processing Window via Multi-Cluster Strategy: Subin Ahn, Hyun Gi Min, Eun Soo Park*(Seoul National University)

Keywords: Soft Magnetic Materials, Multi-cluster, Nanocrystal, SAXS

Soft magnetic materials are indispensable for inductors, with rapidly increasing demand driven by applications in AI, robotics, and electric vehicles. Nanocrystalline alloys offer superior properties compared to amorphous counterparts, but conventional approaches that rely on Cu and Nb additions inevitably lower the magnetic saturation (Bs), a critical parameter. Many studies have reported the development of ultra-high performance nanocrystalline soft magnetic materials without Nb through ultra-fast annealing (UFA). However, the complexity and cost of UFA make it impractical for mass production. In this study, Nb was excluded to maximize Fe and Co content, and additional elements were introduced to enhance the density of Cu clusters, thereby enabling the formation of fine nanocrystalline grains. Transmission electron microscopy (TEM) confirmed that even under conventional heat treatment conditions, a uniform nanocrystalline structure was successfully achieved. Moreover, consistent grain sizes were observed across a broad range of annealing temperatures, demonstrating a significantly expanded processing window. Unlike previous systems that require UFA to reach ultra-high performance, the proposed composition achieves comparable properties through simple, scalable heat treatment. This approach not only simplifies processing but also holds strong potential to advance the large-scale production of high-performance soft magnetic materials.

[P11-12]

Temperature-Responsive Optical Encryption Using Eco-Friendly Lead-Free Halide Double Perovskites for Secure Information Protection: Jae Ho Kim(Changwon National University), Myungkwan Song*(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: lead-free double perovskite, information security, dynamic encryption

In recent years, the development of dynamic encryption and information security systems has attracted considerable attention due to the growing demand for versatile, low-power, and easily controllable data protection technologies. Conventional encryption approaches often rely on complex electronic circuits or expensive fabrication processes, which hinder their practical deployment and large-scale integration. In this regard, stimuli-responsive materials that can reversibly alter their optical properties in response to external stimuli offer a promising strategy for next-generation physical encryption and anticounterfeiting applications. Among various stimuli, temperature is particularly attractive because it can be easily and precisely controlled without the need for additional chemicals or intricate external equipment. Halide double perovskites, such as Cs2CuSbBr6, have emerged as eco-friendly, lead-free alternatives exhibiting tunable optical characteristics and good thermal stability. However, their application for practical thermal encryption devices remains largely unexplored. In this work, we present a simple yet highly effective temperature-responsive encryption method based on Cs2CuSbBr6, films. By utilizing straightforward solution processing and controlled thermal treatments, we demonstrate that information written with Cs2CuSbBr6, ink can be visually encrypted and decrypted by modulating the surrounding temperature. As illustrated in Figure 1, the perovskite pattern exhibits a clear optical contrast at elevated temperatures (120 °C), while becoming nearly invisible at sub-zero temperatures (-18°C). This reversible and repeatable thermal switching behavior enables robust, on-demand physical encryption and secure information concealment. Our findings not only showcase the potential of lead-free double perovskites for smart thermal encryption devices but also open a new pathway for designing low-cost, eco-friendly, and energy-efficient anticounterfeiting and confidential data protection technologies.

[P11-13]

Phase Evolution and Texture Development in High-Ce-Substituted Nd-Fe-B Hot-Deformed Magnets Prepared from HDDR Precursors: Jae Gyeong Yoo, Tae Hoon Kim, Hee Ryoung Cha, Sumin Kim, Jung Goo Lee*(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: (Nd, Ce)-Fe-B permanent magnet, $REFe_2$ phase, HDDR process

The deterioration of magnetic performance in Ce-substituted Nd-Fe-B hot-deformed magnets is primarily associated with the formation of the paramagnetic $REFe_2$ phase, which impedes the development of [001] texture during hot deformation. To address this issue, $(Nd_{1-x}Ce_x)$-Fe-B alloys (x = 0–0.7) were processed via the hydrogenation–disproportionation–desorption–recombination (HDDR)

route, and the relationship between precursor microstructure and magnetic properties was systematically investigated. X-ray diffraction and electron microscopy revealed that the $REFe_2$ phase in Ce-containing alloys decomposes into REH_x and α-Fe during the hydrogenation–disproportionation stage and does not re-form after recombination, enabling its effective elimination for Ce substitution levels up to 50 at.%. At higher substitution (70 at.% Ce), residual $REFe_2$ remained in the HDDR precursors, resulting in poor c-axis alignment, reduced remanence, and lower I(006)/I(105) and M_r/M_s ratios. Importantly, optimization of the initial alloy composition, specifically by reducing the total rare-earth (TRE) content from 12.5 at.% to 12.0 at.% in the CE70 alloy, effectively suppressed the formation of secondary phases and yielded $REFe_2$-free HDDR powders. The corresponding hot-deformed magnets exhibited a markedly enhanced remanence (+8.0 kG) compared with the non-optimized counterpart (+3.2 kG). These results demonstrate that precise control of alloy composition combined with HDDR processing suppresses detrimental $REFe_2$ phase formation, enhances texture development, and enables the cost-effective production of high-performance, high-Ce-content Nd-Fe-B hot-deformed magnets for advanced technological applications.

[P11-14]

Development of TRIP-maraging steel with exceptional J-based fracture toughness through the segregation engineering and metastable phase separation: JeongWon Yeh, Min Seok Kim(Seoul National University), Punit Kumar(Lawrence Berkeley National Laboratory, UC Berkeley), David Cook(UC Berkeley), Robert Ritchie*(Lawrence Berkeley National Laboratory, UC Berkeley), Eun Soo Park*(Seoul National University)

Keywords: Maraging steels, Grain boundary segregation engineering, Metastable phase separation, Austenite reversion, α-Mn, J-based fracture toughness test

Maraging steels are critical materials for high-strength applications such as rocket engine cases, submarines, and missiles. However, they are often limited by a strength-ductility trade-off, leading to brittle fracture due to intergranular crack propagation. This study aims to overcome this issue by developing a novel TRIP-maraging steel that exhibits both excellent yield strength and superior crack propagation resistance, utilizing segregation engineering and metastable phase separation. To achieve this, we first identified Manganese (Mn) as a grain boundary segregation element by calculating the segregation enthalpy (ΔH_{seg}) of solute atoms relative to the solvent. This was done to encourage the localized formation of ductile γ-austenite phase at the grain boundaries. We then proposed a relative phase stability graph ($\Delta G^{hcp-fcc} - \Delta G^{bcc-fcc}$) to determine the conditions under which the alloy could maintain a fully BCC martensite matrix. Furthermore, we optimized an austenite reversion heat treatment to simultaneously precipitate the γ-austenite phase at the grain boundaries and the α-Mn precipitate via BCC decomposition through a miscibility gap in the pseudo-ternary system. Formation of both the γ-austenite and α-Mn precipitates was confirmed through TEM-EDS analysis. A TRIP (Transformation-induced plasticity) deformation mechanism was incorporated to overcome the strength-ductility trade-off associated with the precipitation of γ-austenite. The alloy was designed via thermodynamic calculations to have a low stability γ-austenite phase, enabling its transformation to martensite under plastic deformation. The developed TRIP-maraging steel successfully overcame the problem of brittle fracture that limits conventional maraging steels. Through a sophisticated microstructure control strategy, our steel achieved yield strength of approximately 1 GPa while significantly enhancing ductility. We also analyzed the contributions of elastic and plastic deformation to crack propagation using J-based crack resistance curves, a method within Elastic-Plastic Fracture Mechanism (EPFM). In conclusion, this research not only provides an effective solution to the problem of brittleness in high-strength materials but also offers a valuable alloy design guideline for future high-performance alloys

[P11-15]

Thermoelectric performance analysis of BiTe-based reference module using finite element method: Seunghyun Oh(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Kyungpook National University), Sudong Park, Byungki Ryu*(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI))

Keywords: Thermoelectric module, Performance analysis, Multiphysics simulation, FEM, 2D equivalent Model

Thermoelectric phenomena enables direct thermal-electrical energy conversion. And thermoelectric devices can be applied for harvesting waste heat or controlling heat flow under applied electrical current. Previously, KERI investigated reference compositions based on Bi_2Te_3 materials, $Bi_2Te_{2.45}Se_{0.55}$ for n-type and $Bi_{0.36}Sb_{1.64}Te_3$ for p-type, which show thermoelectric representativeness for compositions and material properties. While the thermoelectric dimensionless figure of merit ZT can be measured as a material-level metric, evaluating the module-level efficiency is crucial for practical applications. In this work, we investigate power generation and cooling performance of reference module composed of reference compositions within finite element analysis. P-N leg-pair modules containing functional layers are simulated in both 2D and 3D domains, and their performances are compared. Our results demonstrate the feasibility of simplifying a full 3D model into an equivalent 2D representation, enabling reduced computational cost with practical accuracy. The performance of a 200-pair module is estimated by numerical scaling. The efficiency of the reference module may reach approximately 3.6% when temperature difference is 120 K.

[P11-16]

Dual Control of Size Uniformity and Surface Chemistry in $CsPbBr_3$ Nanocrystals via an S_N2-based Heat-Up Synthesis for Efficient Perovskite LEDs: Gyeongeun Seok(Sungkyunkwan Univ.), Yubin Lee, Jigeon Kim, Younghoon Kim*(Kookmin Univ.), Bo Ram Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

Keywords: Perovskite Nanocrystals, Perovskite Light-Emitting Diodes, Heat-Up synthesis method, Size Uniformity, Nanocrystals surface chemistry

In this study, highly size-uniform $CsPbBr_3$ perovskite nanocrystals (PNCs) were successfully synthesized using an S_N2-based heat-up method, and the impact of size uniformity on optical properties and light-emitting diodes (LEDs) device performance was evaluated. Unlike the conventional hot-injection method, the proposed synthesis approach enables precise control over precursor reactivity and the nucleation and crystal growth stages, thereby allowing the formation of monodisperse PNCs with highly uniform sizes. As a result, the synthesized $CsPbBr_3$ PNCs exhibited a low Urbach energy of 28.1 meV and a narrow photoluminescence (PL) full width at half maximum (FWHM) of 18 nm, indicating suppressed energetic disorder due to their high size uniformity. Furthermore, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis confirmed that the PNCs synthesized via the heat-up method possessed a relatively Br-rich surface. This surface condition allows bromide ions to passivate X-site vacancies in place of oleic acid (OA) ligands, ensuring high stability even with a reduced number of ligands. Consequently, this mitigates the insulating effect from the ligand shell, facilitating efficient charge injection into the LED device without requiring a separate ligand exchange process. These improvements in structural and optical properties led to enhanced perovskite LED (PeLED) performance, achieving an external quantum efficiency (EQE) of 7.3% and a luminance of 367 cd m^{-2}, even with conventional oleic acid (OA) and oleylamine (OLA) present as surface ligands. This work quantitatively demonstrates the critical role that both PNC size uniformity and the PNC surface environment play in determining device performance, highlighting the importance of precise synthetic control for the development of high-efficiency perovskite-based optoelectronic devices.

[P11-17]

Enabling Electrochemical Simulations with Electronically Grand Canonical Machine Learning Interatomic Potential: Dongmin Kim(Korea University), Seung Jae Kwak(Seoul University), YongJoo Kim*(Korea University)

Keywords: Electrochemical Interface, Atomistic Simulation, Machine Learning Interatomic Potential

Understanding electrochemical interfaces is essential for advancing energy conversion and storage technologies, including hydrogen evolution, CO_2 reduction, and water splitting. A key challenge in simulating such systems lies in accurately modeling the effect of electrode potential—a distinct thermodynamic variable that governs charge transfer and interfacial structure. While electronically grand canonical DFT methods have been developed to address this, their high computational cost severely limits time and length scales. Machine learning interatomic potentials(MLIPs) have emerged as a powerful alternative, achieving near-DFT accuracy at greatly reduced cost. However, most MLIPs assume fixed total charge and lack a consistent treatment of electrode potential, limiting their applicability to electrochemical systems. To address this, we develop a constant-potential MLIP framework based on the electronically grand canonical ensemble. Our model incorporates a physically differentiable charge equilibration scheme, where the electrochemical potential (i.e., the electrode potential) is consistently defined as the derivative of the total energy with respect to system charge, providing a physically grounded formulation. During simulation, the model receives atomic positions and total system charge as input and returns energy, forces, and electrochemical potential, enabling closed-loop charge adjustment to maintain constant potential conditions. We demonstrate this framework by simulating a Pt(111)–water interface across a range of electrode potentials. First, by independently varying hydrogen coverage and potential and comparing the corresponding grand canonical energies, we directly determine the stable surface coverages at each potential, providing a consistent picture of potential-dependent adsorption equilibria. Second, at these coverages, we simulate the onset of the hydrogen evolution reaction (HER), in particular observing the Heyrovsky step under varying hydrogen coverage and electrode potential, thereby confirming that the model can faithfully reproduce electrochemical reaction mechanisms. Beyond these demonstrations, our method opens the door to scalable, atomistic investigations of electrochemical surface reconstructions, adsorption–desorption events, and potential-driven reactivity, offering new insights into the fundamental behavior of electrochemical interfaces.

[P11-18]

Soft and implantable hydrovoltaic electricity generator by micropatterned conductive polymer hydrogels: Sangmin Song, Yejin Lee(Korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), Hyeok Kim(Korea Institute of Science and Technology), Daeyeon Won, Seung Hwan Ko*(Seoul National University), Hyung-Seop Han*, Ji-Soo Jang*, Hojeong Jeon*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Implantable electronics, Hydrovoltaic electricity generators, Hydrogel electronics, Laser microfabrication

Hydrovoltaic electricity generators (HEGs), which harvest electricity from water, are emerging as a promising energy-harvesting platform for bioelectronic applications, as human body provides abundant liquid sources such as biofluid, sweat, and blood. In HEGs, asymmetric wetting between wet and dry regions induces surface charge gradients that drive current flow, enabling stable DC power

generation. To achieve wetting-based electrical double layers, HEGs typically combine semi-conductive materials with water-permeable supporting layers. However, the intrinsic rigidity and bulkiness of these configurations cause modulus mismatch and hinder conformal contact with curved tissues, which are essential requirements for sustained power generation without immune responses. In this work, we developed a soft and implantable HEG based on micropatterned pure PEDOT:PSS hydrogels. By exploiting laser-induced phase separation of PEDOT:PSS, we fabricated micropatterned hydrogels with loosely bound PSS domains that can enhance ion permselectivity. Also, micrometer-scale auxetic HEGs were realized through laser-assisted microfabrication, providing both conformal contact and mechanical stretchability without compromising energy generation performance. In phosphate-buffered saline, the micropatterned HEG produced a stable DC output of 0.35 V for up to 7 days. To demonstrate practical applicability, we integrated the micropatterned HEG with a stimulation electrode to construct a neuromodulation system. Powered by small volumes of body fluid, this system showed sustained ability to generate electricity and stimulate neuromuscular tissue for 7 days without severe immune responses.

[P11-19]

Development of ultra-high strength aluminum thin foils with severe asymmetric cold rolling of high Mg Aluminum alloy, Almag6: ALI NAVEED(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Kwang Min Choi(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Bong-Hwan Kim*(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Hyo Yun Jeong, Ram Song(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Shae K Kim(University of Science and Technology (UST), Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: Al-Mg alloy, asymmetric rolling, cold rollability, thin foil, dislocation density, ultra high strength, fractography, Taylor Factor

In this study, high-strength and high-elastic-modulus aluminum thin foil is developed using a severe deformation method, asymmetric rolling (ASR), with a high-magnesium-content Al alloy, Almag6. The Almag6 alloy sheet achieved greater deformation owing to its enhanced ductility, stable β-fiber, and suppressed recrystallization following the ASR process, in comparison to conventional Al alloys such as AA5083. The lower stacking fault energy (SFE), induced by the magnesium concentration, enables Almag6 to maintain low-angle grain boundary (LAGBs) networks and β-fiber textures without undergoing dynamic recrystallization during rolling. The level of deformation was assessed by the rolling capability, indicating that the Al alloy sheet can be reduced to thinner gauges without edge cracking. This is expressed as a Taylor Factor, which reflects softer texture orientations. This work demonstrates that ASR-processed Almag6 provides a scalable approach for producing ultrathin high-strength foils ($t<0.3$ mm) with high ultimate tensile strength (~985 MPa) and microhardness (230 HV) at a 90% reduction.

[P11-20]

A Compositional Engineering Approach to Bimetal-Doped $BaCoO_{3-\delta}$ for Enhanced Bifunctionality and Phase Stability in Reversible PCECs: Seeun Oh, Jiwon Kim, Dongyeon Kim, Hyeonggeun Kim, Kang Taek Lee*(KAIST)

Keywordss : Bimetal-doping, Triple-ionic-electronic conductors, Perovskite, Protonic Ceramic Electrochemical Cells, Hydrogen

Protonic ceramic electrochemical cells (PCECs) are gaining increasing attention as high-efficiency, reversible energy conversion and storage systems operable at intermediate temperatures (400–650 °C). Nevertheless, their practical deployment is often hindered by sluggish oxygen electrode kinetics, which severely affect both performance and durability. In this study, we report the rational design of B-site bimetal-doped $BaCoO_{3-\delta}$ (BCO)-based oxygen electrodes, wherein the dopant ratios are systematically tuned to modulate phase stability and optimize electrochemical activity. Strategic compositional tuning enables the suppression of thermodynamically unfavorable hexagonal phases and stabilizes a single-phase cubic perovskite structure with enhanced protonic defect formation and water uptake characteristics under operating conditions. The electrochemical performance of the optimized electrodes was evaluated in both fuel cell and electrolysis modes, demonstrating excellent bifunctional activity with markedly reduced area-specific resistance (ASR) and improved rate capability. Furthermore, long-term durability tests revealed significantly enhanced structural stability and resistance to degradation over extended operation, confirming the robust nature of the doped perovskite framework. These results underscore the critical role of dopant engineering in governing phase evolution, hydration behavior, and defect chemistry, ultimately offering a practical pathway for the development of high-performance and durable oxygen electrodes for next-generation reversible PCECs.

[P11-21]

Deciphering the Relationship between Spatial Microstructural Heterogeneity and Anode Degradation in Lithium-Ion Batteries : YEJIN KANG, SEUNGSOO JANG, JUNGHYUN MOON, EUN AE CHO, KANG TAEK LEE*(KAIST)

Keywords: Lithium-ion battery, Digital twin, Electrochemo-mechnical modeling, Anode degradation, Microstructural heterogeneity

Lithium-ion batteries (LIBs) face severe anode degradation during fast charging, driven by inhomogeneous solid electrolyte interphase (SEI) formation, lithium plating, and localized stress. Conventional design strategies based on averaged metrics such as porosity or thickness fail to capture the local heterogeneity that governs these degradation pathways. Here, we present a digital twin framework to resolve microstructural effects in graphite anodes under high-rate charging. A reference electrode microstructure, reconstructed from experimental data, was systematically modified to generate phase-resolved 3D structures with varied porosity, thickness, and through-

thickness gradients. Coupled electrochemical–mechanical simulations reveal that localized features—particularly the spatial distribution and connectivity of active material, binder, and electrolyte—critically regulate current uniformity, SEI evolution, lithium plating, and stress accumulation. This work underscores the limitations of bulk descriptors and highlights the need for microstructural-informed design, providing guidelines for developing mechanically resilient graphite anodes optimized for fast-charging operation.

[P11-22]

Defect Engineering in Ceria Thin Film Interlayers for High-Performing Solid Oxide Electrochemical Cells: Hyeongmin Yu(Department of Mechanical Engineering, KAIST), Incheol Jeong(KIGAM), Sang Won Lee, Tae Ho Shin(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, KICET), Kang Taek Lee*(Department of Mechanical Engineering, KAIST)

Keywords: Fuel cells, Electrolysis cells, green hydrogen, defect engineering

Solid oxide electrochemical cells (SOCs) offer a versatile platform for sustainable energy conversion, enabling both high-efficiency power generation and green hydrogen production. However, their practical application remains limited by the need for high operating temperatures, as reduced temperatures lead to severe performance losses driven by polarization and ohmic resistances at the oxygen electrode/electrolyte interface. To overcome these challenges, we develop a defect-enriched thin-film ceria interlayer that accelerates interfacial oxygen exchange and minimizes ion transport pathways, thereby alleviating both polarization and bulk ohmic losses. Density functional theory calculations indicate that heavy Gd doping weakens cation–oxygen bonds and induces tensile lattice strain, synergistically lowering oxygen vacancy formation energies and promoting surface vacancy clustering. These effects enhance oxygen storage/release capability as well as the kinetics of oxygen incorporation and evolution. Integrated into SOCs, the engineered ceria interlayer delivers outstanding electrochemical performance surpassing conventional ceria-based interlayers. Furthermore, the cells demonstrate remarkable stability over 700 h under diverse current loads. This work establishes a new framework for interlayer design in SOCs and points toward practical pathways for next-generation energy conversion technologies.

[P11-23]

Wearable Ring Sensor for Enhanced Accuracy and Comfort in Blood Pressure Monitoring: Seongu Kim, Jeonghyun Kim*, Lurong Yang, Hyejun Kim, Junghoon Lee, Yeonjae Yang(Kwangwoon Univ.)

Keywords: Wearable, Flexible, Pressure, Supercapacitive

Implantable and biointegrated materials enable real-time, personalized health management, addressing the need for continuous blood pressure monitoring. Conventional cuff-based systems are often bulky and unsuitable for long-term use. This study presents a biointegrated, non-invasive blood pressure monitoring system utilizing a flexible pressure sensor and a photoplethysmogram (PPG) sensor for accurate measurements. The proposed system features a soft, flexible circuit, a responsive pressure sensor, and an infrared (IR)-based PPG module. Its architecture ensures stable signal acquisition while minimizing motion artifacts, a common issue in continuous monitoring. The pressure sensor is calibrated to convert raw data into precise pressure values, while machine learning algorithms further enhance measurement accuracy. Scanning electron microscopy (SEM) images validate the microstructural properties of the electrospun PVA film, contributing to sensor sensitivity and rapid response. Experimental validation confirms a strong correlation between PPG signal disappearance and reappearance intervals due to vascular occlusion and key blood pressure metrics. GridSearch optimization was used to fine-tune model parameters, improving predictive accuracy. Performance assessments based on Mean Absolute Error (MAE) and R-squared (R^2) scores validate the system's effectiveness in achieving high accuracy blood pressure estimations. This study presents a biointegrated, non-invasive blood pressure monitoring platform optimized for personalized medicine. By leveraging flexible bioelectronic materials and AI-driven calibration techniques, this system offers real-time physiological monitoring. Future developments will focus on optimizing adaptability for various user conditions and integrating with digital healthcare platforms for remote patient monitoring and predictive diagnostics.

[P11-24]

Development of improved microstructure of cast Mg alloy with high shear melt treatment and ZnO grain refiners: Kwangmin Choi, Heon Kang, Bonghwan Kim*(Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: Magnesium alloy, Grain refining, Microstructure, High shear process

Achieving a uniformly fine-grained microstructure in magnesium alloys is an effective strategy for enhancing their mechanical properties. Heterogeneous nucleation sites can be introduced through high shear melt treatment, yielding a grain size of approximately 300 μm. Further grain refinement in this study was achieved by the addition of nano-sized ZnO particles. When introduced into the magnesium melt, these particles, initially agglomerated, can be effectively dispersed. ZnO is a well-established grain refiner for magnesium alloys due to its favorable interfacial characteristics arising from a similar lattice constant. The particles, with sizes ranging from 10 to 50 nm, can form semi-coherent interfaces with the matrix, thereby serving as nucleation sites for grain formation. As a result, a fine-grained magnesium alloy with an average grain size of ~70 μm—comparable to that of wrought alloys—was obtained. This refined microstructure exhibited significantly improved mechanical performance, with tensile strength reaching ~185 MPa and elongation to failure of ~20%.

[P11-25]

Rose petal-inspired, hierarchical structures on Cu current collector enhancing electrolyte superspreading and Long-term cycling performance in Anode-free Li-metal batteries : Eun Ji Seo, SangJin Park, YoungA Lee, MinSeok Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), GwangHee Lee(Institute for Advanced Engineering (IAE)), MyoungWoon Moon*(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Sungkyunkwan University (SKKU))

Keywords: Hierarchical structured Copper, Ion-beam-induced patterns, Electrolyte superspreading, Durable Anode-free lithium-metal batteries

Anode-free Li-metal batteries(AFLMBs) are considered to offer substantial advantages in terms of volumetric energy density by eliminating thick anode active materials as they can utilize the high theoretical capacity of the Li-metal anode. In AFLMB systems, the surface roughness and the oxidative layer on the anode current collector(CC) are crucial since they induce the uneven local current density distribution and eventually lead to the formation of non-uniform Solid Electrolyte Interphase(SEI) layers and Li dendrites. In this presentation, we introduced hierarchical structures formed on Cu CC by Ar ion beam etching, enhancing both electrolyte-wettability and uniform lithium plating/striping. Few micrometer scale bump structures were formed by the high sputtering rate by Ar ion beam along the grain boundary of electrolytic Cu foils, on which the high-aspect-ratio nanowall or nanoflower patterns were concurrently fabricated. When the Ar ion beam was exposed for 60 min duration at 2 keV, the flat surface of Cu exhibited the nanowall patterns with the width of 50-80nm and the height of 600-900nm, leading the high-aspect-ratio features. After 120 min, the microbump structure nesting the nanowalls arose due to the higher etching rate along the grain boundary by comparison to that on the grain regions. The underlying mechanisms of the morphological evolution in the hierarchical structures were suggested through high flux Ar ion beam etching with simultaneously co-deposited third elements, which act as a local sputtering mask against Ar ion beam. The single nanopatterns or the hierarchical structures retained the intrinsic metallic and crystalline properties of Cu, including the FCC structure and the individual crystal orientation, as confirmed by XPS and XRD analysis. Enhanced surface electrolyte-wettability was verified through contact angle measurements and the superspreading behavior of electrolyte over the hierarchical surface, suggesting the faster Li-ion transport. Furthemore, EIS showed a reduction in interfacial resistance, suggesting improved Li-ion transport facilitated by the enlarged electrode surface area. Electrochemical performance was tested in a Li||Cu half-cell consisting of Cu working electrode and Li counter electrode through cyclic voltammetry, Li plating/stripping and galvanostatic cycling tests in the 1M LiTFSI in 1, 3-dioxolane:1, 2-dimethoxyethane (DOL:DME) without any other additives. The hierarchically structured Cu CC cell exhibited a higher electrochemically active surface area(ESCA) and a similar Li nucleation overpotential, while it revealed the reduced voltage fluctuations during the subsequent plating stage, indicating more stable Li deposition after nucleation. We also observed reduced voltage polarization and noticeably improved stability and durability over 150 cycles, compared to those from the pristine, flat Cu-CCs. With a simple and scalable nature of the ion beam system, the hierarchically structured Cu is effectively used for the stable and efficient anode CC in AFLMBs.

[P11-26]

Phase-Transformation-Induced Cyclic Behavior in NiTi Shape Memory Alloy Thin Films: Hyemin Ryu, Zhuo Feng Lee(KAIST), Jiaqi Dong, Kelvin Xie(Texas A&M University), Gi-Dong Sim*(KAIST)

Keywords: Thin Film, Shape Memory Alloy, Fatigue

Shape memory alloys (SMAs) are of great interest for their unique capability based on thermoelastic martensitic phase transformation. With the increasing demand of SMAs in micro-scale applications, understanding their fatigue performance at this scale is critical. However, systematic studies on investigating the effects of cyclic loading conditions on fatigue life and cyclic stability are limited at this scale. Here, submicron-thick freestanding NiTi thin films were fabricated utilizing a standard MEMS (microelectromechanical system) fabrication method, and stress-controlled fatigue experiments were conducted using a custom-built micromechanical tester. Out systematic analysis reveals that the stress ratio is a key factor influencing fatigue life, as the degree of phase recovery is dependent on the applied stress conditions. These findings provide insights into the microstructural mechanisms governing the fatigue behavior of micro-scale SMAs.

[P11-27] Canceled

한국형 핵융합로 저방사화 구조재 ARAA강의 물성 결정 및 DB 구축 현황: 이윤승*(경상국립대학교, 한국원자력연구원), 이형연(한국원자력연구원), 남기언(경상국립대학교), 권효성, 박이현, 안무영(한국핵융합에너지연구원)

Keywords: TBM(Test Blanket Module), ARAA(Advanced Reduced Activation Alloy), RCC-MRx, Codification

핵융합로의 증식블랑켓(Breeding blanket)은 핵융합로 진공 용기 내부에 설치되며 높은 열속·중성자속·전자기장력이 동시에 부하되는 극한 환경에서 삼중수소 생산, 열 에너지 추출, 중성자 차폐라는 핵심 기능을 동시에 수행해야 한다. 따라서 증식블랑켓에 적용되는 재료는 고온, 고중성자 환경 등 극한의 핵융합 조건을 견뎌야 하므로 저방사화 구조재 등 핵융합 중성자에 대한 조사 저항성이 뛰어난 소재의 사용이 요구된다. 또한 국제 핵융합 실험로 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor) 프로젝트에서는 현재 협력 중인 국가별 테스트 블랑켓 모듈(TBM: Test Blanket Module)을 자체적으로 개발 중이며, 서로 다른 설계 방식과 구조 재료가 사용된다. 증식블랑켓의 구조재로 활용하기 위해 한국핵융합에너지연구원은 한국원자력에너지연구원과 함께 국산 저방

사 철강재인 ARAA(Adavanced Reduced Activation Alloy)를 개발해 왔다. ARAA는 향상된 크리프(creep) 저항성과 충격 인성을 갖추고, 우수한 중성자 내조사 특성을 갖춘 구조재이며, 실험실 규모를 넘어 수톤 급을 대용량 제조를 수행한 바가 있어 이를 TBM 제작 기술 개발 및 물성 데이터 베이스 구축에 활용하고 있다. 이를 통해 본 연구에서는 ARAA강의 물성 결정 및 DB 구축 현황, 그리고 프랑스의 고온기술기준인 RCC-MRx 코드 등재 현황에 대해 다루었다. Acknowledgement 본 연구는 대한민국 과학기술정보통신부의 지원을 받아 한국핵융합에너지연구원(KFE)을 통한 R&D 프로그램(KFE-CN2501, IN-2503) 및 한국연구재단(2021R111 A2057941) 지원을 받아 수행되었습니다.

[P11-28]

Scale-bridging digital twin for hierarchical architecture morphogenesis: Siwon Yu, Seungsoo Jang, Yejin Kang(KAIST), Young Seok Cho(Trinity Engineering), Ho Jin Ryu(KAIST), Kang Taek Lee*(KAIST)

Keywords: Digital twin, 3D printing, metastructure, multiscale, puzzle motif design

Artificial metastructures, comprising cellular, auxetic, shape-morphing, interpenetrating, origami and kirigami, and chiral and achiral structures, are increasingly adopting heterogeneous configurations to meet spatially diverse functional demands at multiple scales. However, most existing artificial architectures are still confined to linear material behaviors and rely heavily on single-phase systems, often implemented through regular grid and unit cell configurations such as square and honeycomb forms. A comprehensive understanding of complex and irregular geometries, as well as nonlinear multimaterial configurations, where compositionally complex materials with distinct properties function cooperatively, have been rarely explored, despite the widespread presence of such systems in nature, due to the interrelated complexity between compositions and structures. These microstructural parameters have long been overlooked or alternated by flat designs in artificially designed metastructures. A universal tool capable of parameterizing the massively morphologized compositional systems is also lacking. Here, we use the puzzle motif of anisotropic Tetris blocks to tailor heterogeneity across multiple architectural scales. The composite Tetris blocks were designed to have both structural and compositional anisotropies through their distinct external geometry and internal fiber orientation. To implement this, we developed a novel tomography-based digital twin pipeline encapsulated by parallel analysis and sequential assembly. Within the digitization continuum, individual blocks are first analyzed in parallel and datafied to derive anisotropy-driven assembly relationships, which are then sequentially organized to construct the multiscale architecture. Seven Tetris blocks, each possessing an intrinsic anisotropy, are typically randomly distributed, but through systematic assembly, they formed a structurally and compositionally heterogeneous system with functional configurations.

[P11-29]

산소 공공 형성에 의한 Ti-Fe-O 합금의 초저압 수소화 거동 및 기구: 윤영철(한국과학기술연구원, 서울대학교), 크리쉬나모한 테케파트, 강재동, 이승철*, 이영수*(한국과학기술연구원), 박은수*(서울대학교), 김진우*(한국과학기술연구원)

Keywords: Hydrogen absorbing materials, DFT calculation, Nonmetal alloying, Ultra-low pressure hydrogenation, Oxygen content

금속 격자 내부에 수소를 저장하는 방식인 고체 수소 저장 소재 중 TiFe계 수소저장합금은 경제적이며 상온 및 20 기압 정도의 조건에서 단위 부피당 110 m^3/kg의 수소를 저장할 수 있어 정치형(stationary) 수소 저장 소재로 각광받고 있다. 그러나 TiFe계 수소저장합금은 표면 산화층으로 인해 초기 수소 흡수를 위한 진공 열처리 공정이 필요하다는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위해 전이금속, 희토류 원소, 및 비금속 원소 등을 첨가하여 TiFe 합금의 초기 수소화 거동을 개선하려는 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 1000 ºC 등온 Ti-Fe-O 상태도를 기반으로 비금속 원소인 산소(O)를 TiFe 합금에 첨가하여 산소 안정화 금속간 화합물인 $Ti_{100-x}Fe_xO_y$ 삼원상($25 < x < 40$, $10 < y < 15$, τ 상)을 형성시켜 TiFe-τ 2상 합금을 제조하였다. 그 결과, 진공 열처리 공정 없이도 초기 수소 흡수가 가능한 것을 DFT 시뮬레이션과 실험적 결과로 확인하였다. DFT 시뮬레이션에 따르면 $Fd\bar{3}m1$ 구조를 가지는 τ 상 격자 내부에는 6종류의 H 간극 자리(interstitial site)가 존재하며, 이들이 수소 확산을 위한 통로로 작용할 수 있다. 따라서 TiFe-τ 2상 합금에서는 τ 상이 우선 수소화 되어 진공 열처리 없이도 초기 수소화 거동이 가능하다. 또한 τ 상의 화학적 조성 및 분율에 따라 초기 수소화 용량, 수소화 압력, 가역적 수소 저장 용량과 같은 수소 저장 특성이 달라지는 것으로 나타났다. 예를 들어, τ 상의 산소 조성이 12.5 at.% 에서 6.0 at.%로 감소하면 초기 수소화 용량은 0.93 wt.%H에서 1.86 wt.%H로 증가하였다. 또한 τ 상의 분율이 84.0%에서 9.5%로 감소할 경우 초기 수소화 용량은 1.90 wt.%H로 유사하였지만, 가역적 수소 저장 용량은 0.23 wt.%H에서 1.44 wt.%H로 증가하였다. 이는 τ 상에 산소 공공이 형성될 때 인접한 H interstitial site가 안정화될 뿐만 아니라, H5 site의 formation energy가 +17.2 kJ/mol에서 -27.7kJ/mol로 크게 감소하여 H3, H1, 및 Ov 자리로의 수소 확산을 더 쉽게 매개하기 때문이다. 이러한 결과로부터 τ 상의 초기 수소화 기구를 규명하고 우수한 수소 저장 소재 및 수소 분해 촉매로 사용 가능한 Ti-Fe-O 합금 설계 전략을 제시하고자 한다.

[P11-30]

Machine Learning-Accelerated Multiscale Modeling of Metal/MoC Electrocatalysts for Alkaline Hydrogen Evolution: Jinuk Moon, Jeong Woo Han*(Seoul National Univ.)

Keywords: machine learning interatomic potential, alkaline hydrogen evolution reaction, metal-support interface, molybdenum carbide, multiscale simulation

Alkaline hydrogen evolution reaction (HER) represents a promising pathway for sustainable hydrogen production, yet understanding metal-support interactions at realistic scales remains challenging. We present a comprehensive multiscale modeling approach using fine-

tuned machine learning interatomic potentials (MLIPs) to investigate metal/molybdenum carbide (MoC) electrocatalysts, successfully bridging the gap between atomic-level calculations and experimental validation. We developed a specialized MLIP by fine-tuning the pretrained GemNet-OC model with in-house DFT data specifically generated for metal/MoC systems. Our dataset encompassed diverse structures covering twelve transition metals (Fe, Co, Ni, Cu, Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) with various cluster sizes and both clustered and dispersed configurations. The fine-tuning process dramatically improved prediction accuracy, reducing the mean absolute error for adsorption energies by nearly an order of magnitude, as validated through our CatBench benchmarking framework. This enhanced accuracy was crucial for reliable predictions at extended scales. Using this fine-tuned MLIP, we performed molecular dynamics simulations at elevated temperatures with dozens of metal atoms on MoC supports, revealing distinct metal-dependent structural evolution. Through radial distribution function analysis, coordination trends, and mean square displacement calculations, we identified two categories: agglomerated catalysts (Cu, Ag, Au) showing high metal-metal coordination and significant atomic mobility, and dispersed catalysts (Os, Ir) maintaining stable, well-distributed configurations. DBSCAN clustering analysis quantified these differences, with agglomerated metals forming few large clusters while dispersed metals formed numerous small clusters. These predictions were confirmed through STEM imaging of synthesized samples. To predict HER activity, we conducted comprehensive grid searches across thousands of adsorption sites per system, calculating both hydrogen and hydroxide adsorption energies to construct potential energy surfaces. Site classification distinguished between metal sites, carbide sites, and metal-support interface sites. Agglomerated catalysts exposed primarily carbide sites due to particle formation, while dispersed catalysts generated substantial metal-support interface regions known to facilitate water dissociation. These structural differences directly impacted catalytic behavior, with agglomerated metals showing weak adsorbate binding while dispersed metals promoted optimal adsorption strengths. Activity predictions employed a three-dimensional volcano plot framework based on McCrum-Koper methodology, mapping site-specific adsorption energies to HER activity. This analysis revealed that metal and interface sites predominantly occupied high-activity regions, while carbide sites clustered in less active zones. Experimental validation through linear sweep voltammetry in alkaline conditions confirmed our predictions with remarkable accuracy. Agglomerated catalysts showed poor performance with high overpotentials, while Os/MoC, Ir/MoC, and Pt/MoC achieved excellent overpotentials, with Os/MoC outperforming commercial Pt/C catalyst. This work demonstrates the power of fine-tuned MLIPs in enabling realistic-scale catalyst modeling previously impossible with conventional DFT. By combining structural optimization, comprehensive site analysis, and activity prediction within a unified framework, we identified Os/MoC as a superior alkaline HER catalyst. The methodology provides a general approach for rational catalyst design, applicable to diverse catalytic systems where understanding structure-activity relationships at realistic scales is critical for performance optimization and materials discovery.

[P11-31]

Property-Driven Generative Modeling for Efficient LOHC Molecule Discovery: Seoyeon Kim, Jeong Woo Han*(Seoul National Univ.)

Keywords: LOHC, Generative Model, Inverse Design, Property Prediction

The discovery of efficient Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) molecules is critical for sustainable hydrogen storage and transport, where the molecular properties such as stability, hydrogen capacity, and reactivity play a key role in determining performance. In this work, we present a generative framework that combines a Conditional Variational Autoencoder (CVAE) with Reinforcement Learning (RL) to guide the molecular generation process toward multiple desired properties. By integrating property-driven rewards into the RL loop, our model can simultaneously optimize for efficiency, stability, and safety, enabling the design of high-performance LOHC candidates. The proposed approach efficiently explores the chemical space and suggests molecules with significantly improved target properties compared to conventional methods. This framework provides a practical pathway to efficiently screen and propose promising LOHC candidates.

[P11-32]

A Triboelectric–Noncontact Piezoresistive Dual-Mode Sensor Based on Aerogels and Electrospun Nanofibers for Flexible Electronic Skin: YANG LURONG, Jeonghyun Kim*(Kwangwoon Univ.), Yang Li(Shandong Univ.)

Keywords: Flexible Sensors, Dual-Mode Sensing, Triboelectric Effect, Piezoresistive Effect, Artificial Intelligence Recognition

Electronic skin (e-skin) plays a vital role in robotics and wearable devices, enabling precise perception of the external environment and effective human–machine interaction. With the growing demand for high sensitivity and multifunctional sensing, conventional single-mode sensors are often constrained by system complexity and integration limitations, facing the challenge of achieving multimodal sensing while maintaining structural simplicity. To address this issue, we propose a novel triboelectric–noncontact piezoresistive dual-mode pressure sensor based on aerogels and electrospun nanofibers. The sensor features a simple structure, rapid response, and excellent flexibility, enabling efficient pressure detection and tactile feedback. The main innovations of this work are as follows: Multifunctional sensor design: This study is the first to develop a dual-mode sensor based on aerogels and electrospun nanofibers, capable of both noncontact and pressure sensing. By integrating triboelectric and piezoresistive effects, the sensor can not only detect contact and pressure variations but also capture environmental changes through charge induction without direct physical contact. Structural and material innovations: A composite system combining micropatterned polyvinylidene fluoride (PVDF)/Ag

electrodes with a polyvinyl alcohol (PVA)/cellulose (C)/carbon nanotube (CNT) aerogel sensing layer was employed. The PVDF electrodes offer excellent mechanical flexibility, while micropatterning significantly enhances sensitivity, particularly under low pressure and subtle deformations. The aerogel-based sensing layer leverages the synergistic advantages of PVA, cellulose, and CNTs, improving conductivity and response speed, while greatly expanding the detection range to ensure stable and accurate performance across a wide spectrum of pressures and deformations. Artificial intelligence and distance recognition: By integrating machine learning algorithms, the sensor achieves accurate recognition and classification of distance and material properties in complex environments, while also being capable of weight detection. This approach not only enhances the sensing capability but also opens new opportunities for applications in multitask recognition, intelligent decision-making, and adaptive control, thereby advancing the development of smart flexible e-skin technologies.

[P11-33]

Multimodal framework of molecular hydrogen carrier encoding for accurate physicochemical property prediction: Jimin Han, Jeong Woo Han*(Seoul National University)

Keywords: Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), Multimodal framework, Feature fusion, Physicochemical property prediction, Molecular representation

Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) are attractive hydrogen storage materials due to their high storage capacity, thermal stability, and compatibility with current infrastructure. Nevertheless, their practical deployment requires satisfying multiple physicochemical requirements simultaneously, which makes theoretical screening across the wide LOHC chemical space highly demanding. To address this, we introduce a multimodal feature fusion framework that integrates textual, graph-based, and image-derived features of LOHC molecules. By encoding structural and physicochemical information at multiple levels, the proposed approach achieves improved predictive accuracy for key physicochemical properties. This demonstrates the potential of multimodal modeling as a powerful tool for efficiently identifying LOHC candidates with optimal performance.

[P11-34]

Graphene-Decorated Carbon Black Derived from Greenhouse Gas for Enhanced Battery Conductive Additives: Eunchae Oh, Yeonwoo Jeong, jungpil kim*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: CO_2, CH_4, greenhouse gas, Graphene-decorated Carbon Black, Li-ion battery

Conductive additives in lithium-ion batteries are essential for forming three-dimensional conductive networks by interconnecting active material particles. In addition to ensuring electrical continuity, conductive additives contribute to the formation of the carbon-binder domain (CBD), which plays a critical role in defining the pore structure of the electrode and the lithium-ion transport behavior. The use of conductive additives is particularly crucial in cathode materials such as $LiFePO_4$, which exhibit inherently low electronic conductivity and limited theoretical capacity compared to anodes. In such systems, the presence of a conductive network plays a critical role in achieving sufficient capacity output under practical operating conditions. Carbon black (CB) and graphene, two representative conductive additives, exhibit distinct advantages and limitations. CB offers excellent electrical conductivity due to its aggregated structure of spherical primary particles. However, the point-to-point contact configuration between particles results in a discontinuous conductive network, necessitating a relatively high loading (5-10 wt%) within the electrode. Furthermore, the micropores formed within the resulting CBD may hinder lithium-ion transport. In contrast, the two-dimensional sheet structure of graphene allows the formation of continuous electron pathways even at low loadings (1-3 wt%) and provides superior intrinsic electrical conductivity. However, its tendency to aggregate and to encapsulate active material particles can reduce the electrochemically active surface area, thereby limiting charge-transfer efficiency. Owing to the contrasting properties of CB and graphene, using either material alone imposes limitations on enhancing electrode performance. Accordingly, their hybrid integration is considered a rational and effective approach toward the design of high-performance electrodes. In this study, Graphene-decorated carbon black (GDCB) was synthesized using CO_2 and CH_4, which are representative greenhouse gases, as reaction gases to address both environmental sustainability and electrode performance. Under CH_4-only conditions, CB particles aggregated and crystallized without the formation of graphene sheets. In contrast, the introduction of CO_2 into the CH_4 atmosphere resulted in the formation of a structurally integrated GDCB. This indicates that CO_2 played a critical role in promoting the growth of graphene sheets by modulating defect formation on the CB surface. Although the CO_2/CH_4 gas mixture provides a sustainable pathway for graphene synthesis, it also corresponds to a reactant pair for dry reforming of methane (DRM), which dominates at elevated temperatures. Accordingly, to establish optimal synthesis conditions, GDCB was synthesized at 900, 1000, and 1100 °C. At 1100 °C, graphene growth was suppressed due to carbon depletion via DRM. Graphene sheets were formed at 1000 °C, whereas no formation was observed at 900 °C due to limited thermal activation of the reactant gases. The cell employing GDCB as a conductive additive exhibited a charge-discharge capacity of 171 mAh g^{-1}, outperforming conventional CB (159 mAh g^{-1}) in terms of electrochemical capacity. The enhanced performance is attributed to the formation of graphene-based conductive networks on the CB surface, which promote efficient electron transport and improve the overall electrochemical activity. These results demonstrate the dual significance of utilizing CO_2 and CH_4, which are representative greenhouse gases, as sustainable sources for production of conductive additives, while concurrently enhancing electrode performance through the development of GDCB.

[P11-35]

Mo-Doped Perovskite Electrodes and Electrolytes for Sulfur-Tolerant Protonic Ceramic Electrochemical Cells in H2S Electrolysis: Taehong Kim, Dongyeon Kim, Daehan Chung, Kang Taek Lee*, Joongmyeon Bae*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Hydrogen sulfide, Electrolysis, Hydrogen production, Protonic ceramic electrochemical cells, Sulfur poisoning, Electrochemistry, Perovskite materials, Electrode material

Hydrogen sulfide (H_2S), a highly toxic by-product generated in petroleum refining, natural gas processing, and wastewater treatment, requires the development of efficient remediation technologies. The conventional Claus process, though widely employed, suffers from excessive energy demand and limited hydrogen recovery. As an alternative, electrochemical splitting of H_2S has recently attracted attention as it enables simultaneous purification and hydrogen extraction. In this study, high-temperature electrolysis of H_2S using a protonic ceramic electrochemical cell (PCEC) was proposed. Operating in the intermediate-to-high temperature range around 600 °C, PCECs offer chemical stability against sulfur species depending on the choice of materials, allowing durable operation. Before conducting H_2S electrolysis tests with fabricated cells, we developed sulfur-tolerant electrode and electrolyte materials. A novel electrode, $BaSc_{o\cdot o5}Mo_{o\cdot o5}Ta_{o}.1Co_{o}.8O_{3-\delta}$ (BSMTC), was developed by Mo doping into the high-performance protonic ceramic perovskite material $BaSc_{o\cdot1}Ta_{o}.1Co_{o}.8O_{3-\delta}$ (BSTC), enhancing both electrochemical activity and sulfur resistance. In addition, Mo-doped protonic electrolytes $BaZr_{o\cdot7}Mo_{o\cdot1}Y_{o\cdot2}O_{3-\delta}$ (BZMY) and $BaZr_{o\cdot6}Ce_{o\cdot1}Mo_{o\cdot1}Y_{o\cdot1}Yb_{o\cdot1}O_{3-\delta}$ (BZCMYYb) were developed from BZY and BZCYYb 6211, respectively, achieving improved ionic conductivity and robustness against H_2S. Both compositions remained stable after annealing at 600 °C for 10 hours under 3% H_2S atmosphere. These findings provide critical insights into sulfur poisoning mechanisms of perovskite-based components in PCECs and demonstrate the beneficial role of Mo doping in improving sulfur tolerance. Moreover, the results establish a foundation for future fabrication and performance evaluation of PCECs dedicated to H_2S electrolysis.

[P11-36]

Ultrafast Laser-Induced Nanocoatings: A Breakthrough in Hydroxyapatite Layer Fabrication for Biomedical Implants: Dae Hyeok Kwon(Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Jaehong Lee(Korea Institute of Science and Technology), Hojeong Jeon*(Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: femtosecond laser, titanium implant, nanometer-thick coating, hydroxyapatite

Hydroxyapatite (HAp) is widely used as a surface coating for orthopedic and dental implants because it offers excellent biocompatibility and osteoconductivity. In response, numerous coating methods have been developed, but conventional approaches primarily form micrometer-thick coatings. Owing to the intrinsic brittleness of HAp, these layers can fracture under the mechanical loads encountered during implant placement, significantly increasing the risk of delamination. Loss of coating may open gaps at the bone–implant interface, raising infection risk and compromising primary stability. Accordingly, interest has shifted toward nanometer-thick coatings. Here, we synthesize and coat HAp in nanometer-thick layers using a femtosecond laser surface heating process. The thermal energy generated by the ultrafast pulses persists only for a very short time, which minimizes the heat-affected zone and limits HAp nucleation and growth from a calcium-phosphate precursor, thereby forming nanometric layers. Cross-sectional TEM confirmed a thickness of ~150 nm, and XRD/SAED patterns identified the HAp phase. The ultrathin HAp layer promoted osteoblast adhesion, and at 4 weeks in vivo the bone–implant contact (BIC) was 48.30% for HAp-coated implants versus 31.84% for untreated titanium (≈1.52×, $p<0.01$). Collectively, these results demonstrate that femtosecond-laser processing reliably yields nanometer-thick HAp coatings that provide excellent biocompatibility and effective integration with surrounding bone despite their minimal thickness.

[P11-37]

Integrated Morphological and Compositional Design of $SrCoO_{3-\delta}$ Electrodes for Intermediate-Temperature Solid Oxide Cells: Hyeonggeun Kim, Hyeongmin Yu, Ha-Ni Im, Yeonghyeon Moon, Kang Taek Lee*(KAIST)

Keywords: Solid oxide electrochemical cell, $SrCoO_{3-\delta}$, morphological design, compositional design

Solid oxide electrochemical cells (SOCs) are widely recognized as promising energy-conversion platforms, but their operation at elevated temperatures accelerates degradation and complicates device durability. Lowering the operational threshold requires oxygen electrodes that maintain high activity while minimizing interfacial instability. $SrCoO_{3-\delta}$ derivatives stand out as suitable candidates due to their exceptional ionic mobility and electronic conductivity. In this work, we propose an integrated design approach that couples cation substitution with morphological tailoring to simultaneously boost catalytic functionality. Precise adjustment of the chemical environment optimizes defect chemistry, whereas engineered fibrous morphologies enlarge electrochemically accessible regions and accelerate charge transport. Full-cell evaluations demonstrate that this combined strategy significantly enhances performance under intermediate-temperature conditions and ensures long-term operational robustness. These findings underscore the effectiveness of concurrent morphological and compositional tuning, providing valuable direction for the development of efficient and durable oxygen electrodes in advanced SOC technologies.

[P11-38]

Enhanced thermoelectric performance by chemical phase transformation of NaCl into Bismuth Antimony Telluride alloy: SAURABH THORAVAT, Jae Hyun Yun, Anil Kumar (Kyung Hee University), Junyoung Park, Hyungyu Jin (Pohang University of Science and Technology), Jong-Soo Rhyee *, Jin Hee Kim *(Kyung Hee University)

Keywords: Chemical phase transformation, Doping, Nanoprecipitation, Metal salt doping (NaCl), Figure of merit (ZT)

We investigated the pivotal role of NaCl concentration in triggering a chemical phase transformation in hot-pressed p-type $(BST)_{1-x}(NaCl)_x$ (x=0, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 mol%). The microstructural and thermoelectric properties of the prepared samples are systematically studied, considering the inherent anisotropy of the Bismuth Antimony Telluride alloy. The small amount of substitution doping of Na is assisted by Cl ions (x = 0.3, 0.5, 1.0 mol%) due to the strong electrostatic bond between NaCl. It significantly increased the carrier concentration (n_H) and electrical conductivities (σ). The extra electron doping from the Cl enhances the carrier mean free path (λ_e) and optimizes the Seebeck coefficient (S). The dual doping-precipitation mechanism of NaCl initially substitutes Sb^+/Na^+ and Te^-/Cl^-, resulting in the formation of strong interatomic bonds and localized lattice strain fields that effectively scatter phonons, leading to a substantial reduction in lattice thermal conductivity (κ_L) and suppression of the bipolar effect near room temperature. The enhanced orientation factor (F) has increased the thermoelectric properties in the perpendicular direction of the samples. At higher NaCl doping concentrations (x = 3.0 and 5.0 mol%), a precipitate phase formed, which further reduces thermal conductivity through phonon-phonon scattering. The electron cloud on the nano-precipitants exhibits a stronger bond formation tendency with Te and enhances the carrier mobility (m_H) compared to the doping regime. The synergistic effects of structural and electronic modifications lead to a remarkable improvement in the thermoelectric figure of merit (ZT) in the Parallel direction, increasing from pristine BST (1.22) to x=0.5 mol% (1.35 in doping regime) and x = 3.0 mol% (1.48 in precipitation regime), with an average figure of merit ($ZT_{avg.}$) of ~ 1.4 in $(BST)_{1-x}(NaCl)_x$ composition.

[P11-39]

Equimolar Ni–Fe–Cu–Co B-Site Co-Substitution of $BaZr_{0.4}Ce_{0.4}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_{3-\delta}$ as a Promising Catalyst for Ammonia-Fueled Protonic Ceramic Fuel Cells : Daehan Chung, Dongyeon Kim, Kang Taek Lee*, Joongmyeon Bae*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Doping, Exsolution, Ammonia, Fuel cells

Direct ammonia-fed protonic ceramic fuel cells (PCFCs) require highly active anode-side catalysts to enable efficient carbon-neutral energy conversion. In this work, we introduce equimolar quaternary B-site co-substitution of Ni, Fe, Cu, and Co (10 mol% total, Ni:Fe:Cu:Co = 1:1:1:1) into $BaZr_{0.4}Ce_{0.4}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_{3-\delta}$ (BZCYYb4411) to enhance ammonia decomposition activity. Under catalytic testing at 500 °C, the multi-doped composition achieved an ammonia conversion rate of 73.7%, significantly higher than the 19.8% observed for Ni–pristine BZCYYb under identical conditions. The improvement is consistent with literature reports that multi-metallic sites and exsolved nanoparticles synergistically promote N–H bond activation and facilitate N_2 desorption. While long-term durability and full cell performance remain to be investigated, these findings demonstrate that equimolar multi-metal B-site doping of BZCYYb is an effective strategy to design highly active catalysts for ammonia decomposition, highlighting its potential as an anode material in ammonia-fueled PCFCs.

[P11-40]

세차 전자 결정학을 활용한 산소 조성에 따른 Ti-Fe-O 합금 내 수소 결합위치 규명: 강재동(한국과학기술연구원), 윤영철(한국과학기술연구원, 서울대학교), 크리쉬나모한 테케파트(한국과학기술연구원), 전초록(한국과학기술연구원, 서울대학교), 이승철, 김진우*(한국과학기술연구원)

Keywords: 세차 전자 회절법, 수소저장 소재, TiFeO 합금, 수소 결합 위치

탄소를 배출하지 않는 수소는 기후변화 대응을 위한 유력한 청정 에너지원이지만, 낮은 저장 밀도로 인해 에너지의 저장과 운송이 제한된다. 이러한 한계를 해소하기 위해 다양한 저장 소재가 개발되어 왔지만, 수소저장소재의 성능 최적화를 위한 소재 내 수소 결합 위치와 결합 방식에 대한 기초 연구가 충분히 확보되지 못하고 있다. 이 공백을 메우기 위한 분석 수단으로 전자 결정학이 주목받고 있다. 특히, 세차 전자 결정학은 전자 빔을 미소 각도로 세차 운동(precession)을 시켜 측정되는 역격자공간을 평균화하여, 동적 산란의 영향을 완화하고 반사 강도의 신뢰도를 높여, 기존 방법으로는 측정이 어려웠던 수소의 점유 위치를 더 선명하게 규명할 수 있게 한다. 그 결과 합금 및 수소화물 등 다양한 소재에서 성능을 좌우하는 결합 자리와 결합 메커니즘을 검증할 수 있으며, 이를 바탕으로 설계 파라미터를 최적화할 수 있다. 본 연구에서는 금속수소화물계 수소저장 소재인 Ti–Fe–O 합금을 모델로 선정하고, 세차 전자 결정학을 활용해 수소의 점유 위치를 정밀 규명하고자 한다. Ti–Fe–O는 산소 점유율이 낮아질수록 초기 수소화 압력이 낮아지고 저장 용량이 증가하는 독특한 거동을 보이며, 이는 합금내 산소 농도 변화에 따라 수소가 선호하는 결합 자리와 결합 방식이 달라질 가능성을 시사한다. 이를 밝히기 위해 먼저 DFT 계산으로 격자 내 가능한 수소 자리를 체계적으로 탐색하고, 각 자리의 결합 에너지와 상대적 안정성을 산정해 후보군을 산정했다. 전자 결정학으로 산소 점유율이 서로 다른 시편을 비교 측정하여, 계산에서 예측한 자리의 실제 점유 여부 및 점유율, 결합 방향성을 검증한다. 이러한 계산–실험 상호검증을 통해 산소 농도–수소 점유 자리–열역학적 지표(초기 수소화 압력, 저장 용량) 간의 인과관계를 도출하고, 궁극적으로 Ti–Fe–O계 수소저장 소재의 설계 지침과 성능 최적화 방향을 제시하고자 한다.

[P11-41]

Biodegradable Mg/MoO_3 Self-Powered Iontophoretic Patch with WO_3 Colorimetric Feedback for Enhanced Delivery and Real-Time Control: Sung-Geun Choi(korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), Se-Hun Kang(Seoul National University), Soo-Hwan Lee(korea Institute of Science and Technology), Geonjin Shin, Yu-Lim Lee(Seoul National University), Aejin Kim(korea Institute of Science and Technology), Joo-Hyeon Park, Seung-Kyun Kang*(Seoul National University), Hyojin Lee*(korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Biodegrdable materials, Bioelectrochemistry, Iontronics, Closed loop drug delivery system, Biodegradable device

Transdermal drug delivery offers a painless, patient-compliant alternative to injections or oral administration. However, clinical translation remains limited by low passive flux, reliance on external power for iontophoresis, and the lack of real-time dosing feedback—factors that hinder safety, wearability, and precision. To address these limitations, we present a fully biodegradable patch that electrochemically integrates self-powering, active delivery, and visual dose monitoring into a single conformal platform. Our approach is based on a rationally designed electrochemical materials set: a Mg/MoO_3 galvanic cell serves as a built-in power source, providing ionic current for transdermal iontophoresis and electronic current for driving a WO_3-based electrochromic (EC) display. These components are strategically selected and spatially compartmentalized to align redox potentials, decouple ionic/electronic conduction, and avoid parasitic interference. This integration enables stable co-functionality within a compact, transient architecture—without external wiring or hardware. The system delivers up to 3× higher drug flux than passive diffusion in ex vivo skin, while the EC coloration provides a direct, quantitative visual readout of cumulative drug dose. In a psoriatic mouse model, the device accurately tracked dose dynamics even on lesional skin with elevated impedance, and histology confirmed excellent tissue compatibility. This platform demonstrates a new paradigm in transient device design: a unified, electrochemically coupled system for closed-loop, personalized therapy. Its materials-driven integration strategy may inform future developments in smart wound care, wearable dosing systems, and responsive cosmetic treatments.

[P11-42] Canceled

Subgap Density-of-States of high-performance La-doped $SrSnO_3$ observed with multi-wavelength light: Sojin Jung(Jeonbuk National University), Junghyun Koo(University of Minnesota), Hongseung Lee(Jeonbuk National University), Dongho Won (Hongik University), Donghwan Kim(University of Minnesota), Jaewook Yoo, Minah Park, Seohyeon Park, Seongbin Lim(Jeonbuk National University), TaeWan Kim(University of Seoul), Bharat Jalan, Gang Qiu*(University of Minnesota), Kiyoung Lee*(Hongik University), Hagyoul Bae*(Jeonbuk National University)

Keywords: Perovskites, La-doped $SrSnO_3$, Multiple-wavelength optical analysis, metal oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET)

Alkaline-earth stannate perovskites, $SrSnO_3$ with a superlattice structure has emerged as a transparent conductive oxide exhibiting high mobility and good electrical conductivity, owing to its stable ultra-wide bandgap of 4.1 eV, attracting attention as promising charge transport channel materials. Early research on perovskite oxides with the ABO_3 formula focused on their applications as materials for insulating layers and optical devices. More recently, research has shifted toward exploring their potential as semiconductor materials using variations of orthorhombic systems by adding lanthanum (La) doping, which replaces Strontium (Sr). However, metal oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET) devices utilizing $SrSnO_3$ channels, despite their promising advantages, have not yet been reported due to issues such as process complexity and doping concentration optimization. In this work, we demonstrate La-doped $SrSnO_3$ MOSFETs for the first time. The on/off ratio exhibits 10^{11}, which is the highest value reported to date among perovskite stannate devices. The device shows a subthreshold slope (SS) of 120.5 mV/dec and a field-effect mobility of 11 $cm^2V^{-1}s^{-1}$. Furthermore, low contact resistance was derived using the constant resistance method (CRM) to confirm its suitability as a channel material for high-performance $SrSnO_3$ transistors. Considering the band defect structure is essential for achieving stable electrical properties. However, defects caused by lattice mismatch and surface roughness during thin-film growth may persist and lead to performance instability. Multiple-wavelength optical analysis was employed to clearly identify subgap density-of-states in La-doped $SrSnO_3$ MOSFETs across the entire energy spectrum. Results revealed deep-level traps within specific wavelength bands, further confirmed by persistent photocurrent (PPC) analysis. These findings establish a new benchmark for high-performance stannate perovskite devices and highlight the importance of trap analysis.

[P11-43]

Axial Piezoelectric Anisotropy Programmed by Vectorial Magnetic Fields Enables Selective Response in Tactile Sensors and Soft Robotic Applications: Yubin Kim, Minjeong Ha*(Gwangju Institute of Science and Technology)

Keywords: Composites, Sensors, Piezoelectricity, Flexible electronics, Soft robotics

Much effort has been devoted to tactile sensors, yet leaving an obstacle beyond which should be further overcome for a practical application. We report a vectorial orientation of $BaTiO_3$ nanowire yields selective piezoelectricity depending on directions to which a mechanical load or E-field are exerted. This morphological aspect can also be achieved in a composite system, enabling an integration into tactile sensor and soft robotics which addresses an inherent limitation of piezoelectric devices.

[P11-44] Canceled

Seed-Directed In Situ Growth of Oriented 3D Perovskite Nanocrystal Films for Efficient Light-Emitting Diodes: Jinju Jeong, Jaehun Kim, Seungjin Lee*(KENTECH)

Keywords: Perovskite Light Emitting Diodes(PeLEDs), Dimensional growth control, Seed-mediated crystallization, Ligand coordination chemistry

Colloidal perovskite nanocrystals (NCs) offer high photoluminescence quantum yields (PLQY), but their insulation long-chain ligands impede charge injection. Quasi-2D perovskites with low-n phase improve transport while retaining confinement, thought they suffer from phase instability under operational stress. Addressing these limitations is critical for achieving stable and efficient perovskite light-emitting diodes (PeLEDs). Here, we develop a seed-mediated in situ crystallization strategy to directly form compact and uniform 3D perovskite NC films. This process is governed by precursor-solvent coordination chemistry, wherein conventional bulky ammonium ligands coordinate with DMSO to form $PbBr_4^{2-}$ complexes that induce undesirable 2D phase nucleation. To circumvent this, we introduce a pair of oppositely charge ligands-phenylacetic acid (PAA^-) and phenylmethylammonium (PMA^+)–that modulate the coordination environment to stabilize $PbBr_3^-$ species and selectively promote 3D phase growth. The acid-base pairing facilitates proton exchange, enhancing ionic character and contributing to surface defect passivation and dimensional phase purity. This approach suppresses uncontrolled 2D/3D phase mixtures, yielding defect-reduced, structurally coherent films. The resulting emitters exhibit over 15-fold PLQY enhancement and prolonged carrier lifetimes. PeLEDs based on these films achieve a peak external quantum efficiency (EQE) of 22.08% and maintain > 20% EQE at 10, 000 cdm^{-2}. Indicating minimal efficiency roll-off under high-brightness operation. These findings offer mechanistic insights and a rational design strategy for phase-pure passivated perovskite emitter, advancing the development of next-generation high-performance PeLDS.

[P11-45]

습식 공정 기반 Planetary Mill을 적용한 SUS316L 분말 판형화 입자 제어 및 특성 평가 연구: 위재혁, 유시홍, 이성의*(한국공학대학교)

Keywords: 분말, 판상, 스테인리스316L, 가스필터, Planetary Mill

본 연구는 반도체용 가스필터에 사용되는 수십um 급 SUS316L 판상형 분말을 제작하기 위한 연구로 고에너지 밀링 장비인 Planetary Mill을 적용한 습식공정으로 회전속도 및 시간, 용매(DI Water, Ethanol) 및 첨가제 조건을 조절하여 금속 판상형 분말을 제작 및 특성평가를 수행하였다. 습식공정 기반 Planetary Mill 공정에서 Ethanol 용매를 사용하여 회전속도가 300, 400, 500RPM으로 증가함에 따라 입자 형상이 점차 구형에서 판상형으로 변화하는 것을 관찰하였으며 또한, 회전속도 증가에 따라 분말의 조성이 오스테나이트에서 마르텐사이트가 관찰되었다. 특히 DI Water 기반 Planetary Mill 공정에서 분산제 PVP 5%를 첨가한 결과 DI water경우와 비교해서 파쇄된 입자가 감소하고 균일한 판상형 입자를 얻을 수 있었다. 수계 분산제 첨가는 입자 표면에 코팅 및 분포되어 ZrO2 볼과 마찰 혹은 충돌의 감소로 판단되며 또한 조성 변화의 감소를 확인할 수 있었다.

[P11-46] Canceled

Plasmonic Au-decorated metal-phenol network cluster for colorimetric quantification and separation of nanoplastic: Do hyeon Jung, Yejin Cho, Hui-Hun Cho, Jun Hyuk Heo, Jung Heon Lee*(Sungkyunkwan Univ.)

Keywords: Nanoplastic, colorimetric detection, plastic separation, metal-phenol network

Detection of micro- and nano- plastics has emerged as critical issues recently due to the rapid accumulation of discarded plastic products in aquatic surroundings. Owing to their less surface functional groups, nanoplastics generally exhibit low sensitivity, and thus plastics especially nanoplastics depends on precise organic analytical techniques such as Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) or Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR). However, these strategies are not suitable for real-time monitoring and sensing for nanoplastics, making efficient detection of nanoplastics challenging. To address these limitations, we propose the Au-decorated metal-phenol network cluster (Au-MPNC) as an innovative colorimetric sensing probe. Beyond color quantification of nanoplastics, Au-MPNC exhibited outstanding characteristics: simultaneous removal of nanoplastics and filtration of several heavy metal ions. Au-MPNCs are formed on nanoplastics as a template, which leads plasmonic color shifting of gold depending on the concentration of nanoplastics. Also, as confirmed by simulation studies, the expanded network of Au-MPNCs formed with nanoplastics gradually precipitated over time and could be efficiently removed through simple filtration, achieving a removal efficiency exceeding 80%. Moreover, Au-MPNCs showed the ability to capture several heavy metal ions in aquatic environments through coordination bonding. The colorimetric quantification and separation performance of Au-MPNC were evaluated using nanoplastics with various types and sizes, all of which were successfully detected. Empirical evaluations demonstrated the Au-MPNC is effective nanoplastic sensing probe showing multifunctionality for diverse analytical applications.

[P11-47]

액티브 러닝을 활용한 고성능 다원계 합금 수소 분리막 설계: 김태엽, 황인우, 서진유, 이영수(한국과학기술연구원), 비탈리 스타빌라(Sandia National Laboratories), 김진우*(한국과학기술연구원)

Keywords: 다원계 합금, 수소 분리막, 수소 투과도, 액티브 러닝

금속 수소 분리막은 고순도 수소 분리 및 정제에 필요한 고가의 정제 공정과 장비를 대체할 수 있는 간단하고 에너지 효율적인

대안 기술로, 수소 저장·이송 시스템의 상용화에 중요한 역할을 할 수 있다. 특히, V, Nb, Ta 등 BCC 금속들은 FCC 구조 대비 풍부한 수소 확산 경로로 인해 우수한 수소 투과성능을 나타내지만, 높은 수소 용해도로 인한 수소 취성 문제가 실용화의 주요 장벽으로 작용한다. 따라서 합금화를 통해 수소 취성을 억제하면서, 높은 수소 투과도를 유지할 수 있는 복합적인 설계 최적화 전략이 필요하다. 하지만 최근 각광받는 3원계 이상의 다원계 합금의 경우 주기율표 상의 원소를 다양한 비율로 조합할 수 있는 경우의 수는 사실상 무한대에 가까우며, 경험적 접근만으로는 최적의 조성을 효율적으로 탐색하기 어렵다는 한계가 존재한다. 이에 본 연구에서는 문헌 데이터 수집 → 수소 투과도 예측 모델 개발 → 미지 조성 영역 예측 및 최적 조성 탐색을 순환하는 액티브 러닝 (Active Learning) 기반 자가진화형 재료 탐색 프레임워크를 제안하였다. 이로부터 기존에 탐색되지 못했던 4원계 이상의 다성분 복잡조성 합금계에서 수소에 대한 고투과성 및 내수소취성이 우수한 새로운 합금을 탐색 가능하였다. 이 방법론을 통해 다원계 합금 수소 분리막의 설계 효율성을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

[P11-48]

Hydrobromic Acid-Assisted In-situ Resurfacing $CsPbBr_3$ Nanocrystals for Efficient Light-Emitting Diodes: Jaehun Kim, Jinju Jeong, Seungjin Lee*(KENTECH)

Keywords: Perovskite, Colloidal nanocrystal, Ligand exchange, Surface chemistry, Light-emitting diode

Metal halide perovskite nanocrystals (PNCs) are promising emitters for next-generation light-emitting devices due to their high color purity, excellent luminescence efficiency, and facile solution processability. However, achieving high-integrity PNC films with efficient charge transport pathways requires post-synthetic ligand exchange to replace their long insulating ligands with short and strongly binding ones to enhance interparticle coupling without compromising luminescence efficiency. Here, we present a hydrobromic acid-assisted resurfacing strategy that removes long oleate ligands via protonation ($COO^- \rightarrow COOH$) while simultaneously supplying bromide ions to occupy bromide vacancies, resulting in near-unity PLQY with longer TRPL lifetimes and replaces oleyl ammonium with the isopropyl ammonium, as confirmed by quantitative ligand analysis indicating reduced long-ligand density. As a result, we demonstrate PNC-based LEDs with a maximum luminance of 16, 671 cd/m^2 and a maximum external quantum efficiency of 26.37%. This strategy provides a new surface-modification approach for PNCs, advancing their integration into next-generation display technologies.

[P11-49]

Molecular Interface Engineering by Mixed Self-Assembled Monolayers for Efficient and Stable Perovskite LEDs: Yeonji Son, Byungjun Yoo, Junmo Park, Sangjeung Park, Hobeom Kim*(Gwangju Institute of Science and Technology(GIST))

Keywords: Perovskite, Perovskite light-emitting diode, Hole transporting layer, Self-assembled monolayer

Perovskite light-emitting diodes (PeLEDs) are gaining significant attention as next-generation LEDs for display due to their excellent optoelectronic properties, including high color purity. Self-assembled monolayers (SAMs) are widely employed in the hole transport layer (HTL) as they can improve charge injection by reducing interfacial trap states and tailoring energy level alignment with the perovskite emitter. In particular, bulky SAMs with multiple anchoring groups are effective in enhancing interfacial stability owing to the strong binding affinity to the underlying metal oxide. However, their large molecular size can cause steric hindrance, which limits molecular packing density and results in non-uniform interface coverage and inefficient charge injection. To address these limitations, we introduce a small SAM component into the bulky SAM system, forming a mixed-SAM structure that retains the strong anchoring capability of the bulky SAM while improving interface coverage through the compact packing of small SAM molecules. The mixed-SAM strategy leads to more uniform interface formation and enhanced hole transport, ultimately leading to green PeLEDs with enhanced external quantum efficiency (EQE) and operational stability.

[P11-50]

Fully Recyclable Digital Light Processing 3D-Printed $BaTiO_3$ Composites Enable Sustainable, High-Power Triboelectric Nanogenerators: Yun Kwag(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan Univ.), Jaewon Cho, Jisoo Nam(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Hyunhee Kwon, Myung-Gil Kim(Sungkyunkwan Univ.), Miso Kim*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Additive manufacturing, Digital light processing (DLP), Lead-free $BaTiO_3$ composites, Closed-loop recycling, Monomer-assisted dissolution, Triboelectric nanogenerators

Additive manufacturing offers microarchitectural control for contact-electrification devices, yet sustainable end-of-life recovery remains unresolved. Here, we establish a closed-loop recycling route for digital light processing (DLP) 3D-printed lead-free $BaTiO_3$ (BTO)/poly(isobornyl acrylate, IBOA) composites and demonstrate their use in triboelectric nanogenerators. Building on earlier IBOA-based matrix dissolution, our key advance is the separate recovery and reuse of both phases: the linear poly(IBOA) matrix is dissolved by pristine IBOA, and benchtop centrifugation/filtration provides two reuse-ready streams—$BaTiO_3$ powder and a reformulatable resin—without catalysts, high temperatures, or multi-solvent processing. Re-fabricated composites retain at least 95% of the curing response, at least 90% of print fidelity, and 93% of the dielectric permittivity relative to pristine counterparts. Triboelectric devices rebuilt from the recovered materials deliver an open-circuit voltage of 65 V (70 V for pristine controls) and a peak power up to 7 mW

under identical conditions, corresponding to performance retention exceeding 90%. By enabling dual-phase recovery and reuse through a single-component, monomer-assisted dissolution step that is compatible with lithographic printing, this circular strategy advances sustainable manufacturing of high-output triboelectric energy harvesters.

[P11-51]

A Deep Learning Approach to Surface Passivation Material Design for High-Efficiency Perovskite Light-Emitting Diodes: Dongbeen LEE, Hobeom KIM*(Gwangju Institute of Science and Technology(GIST))

Keywords: Perovskite light-emitting diodes, Reinforcement learning, Surface passivation, Deep neural network

Surface passivation is a key strategy to improve the external quantum efficiency (EQE) of perovskite light-emitting diodes (PeLEDs) by mitigating non-radiative recombination and stabilizing perovskite interfaces. However, the vast chemical space and the complex relationship between molecular structures and passivation performance present significant challenges in the rational design of effective surface passivators. Herein, we present a deep reinforcement learning (DRL) framework combined with a pre-trained deep neural network (DNN) that utilizes molecular features learned through SMILES (Simplified Molecular Input Line Entry System) embedding. The DNN model, acting as a reward function in the DRL environment, enables the autonomous exploration and optimization of surface passivation molecules. Our approach establishes a robust and data-driven strategy for accelerating the discovery of high-efficiency passivation molecules, paving the way for next-generation, high-performance PeLEDs.

[P11-52]

Dual-Oxide Sintering Aids Enable Low-Temperature Sintering of (K, Na)NbO_3–$SrZrO_3$ with Temperature-Stable Capacitance and Low Loss: Seong Uk Ju(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University), Jaewon Cho(Korea Advanced Institute of Science and Technology), Min Sun Choi(Korea Advanced Institute of Science and Technology, Sungkyunkwan University), Yunseok Kim(Sungkyunkwan University), Miso Kim*(Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Liquid-Phase Sintering, Sintering Aid, Dielectric Ceramics, Potassium Sodium Niobate, Multilayer Ceramic Capacitor, Temperature Coefficient of Capacitance

With the rapid expansion of the electric vehicle market, there is a growing demand for multilayer ceramic capacitors (MLCCs) that can ensure stability and reliability under elevated temperature and voltage conditions. While commercial MLCCs are predominantly based on $BaTiO_3$ (BT) ceramics, their relatively low Curie temperature ($T_C \approx 120$ °C) fundamentally limits their use in high-temperature applications. As a promising alternative, (K, Na)NbO_3 (KNN)-based ceramics, with a high T_C of ~420 °C, have attracted considerable attention. In particular, KNN–$SrZrO_3$ (KNN–SZ) systems exhibit excellent temperature stability, meeting X8R specifications, along with a high dielectric constant of ~3210. However, the major obstacle for KNN–SZ ceramics lies in their high sintering temperature (~1250 °C), which causes compatibility issues with inner electrodes during co-firing, often resulting in delamination. Addressing this processing challenge is therefore essential for their practical application in MLCCs. Here, we introduce a dual-oxide sintering-aid strategy using Fe_2O_3 and CuO to leverage a transient liquid phase and densify KNN–SZ at 1150 °C, ~100 °C below conventional processing. At this reduced temperature, densification remains robust and high relative density is retained, while the ceramics deliver $\varepsilon_r \approx 2500$ at 1 kHz with substantially lower dielectric loss and a temperature-stable capacitance. For comparison, a Fe_2O_3-only control sintered at 1250 °C exhibits $\varepsilon_r \approx 3210$ with a broader stability window. Thus, although ε_r and the stability window narrow relative to the high-temperature baseline, the dual-oxide route achieves a ~100 °C reduction in sintering temperature without compromising densification and with improved loss, quantitatively mapping a clear process–property trade-off. This additive-engineered transient-liquid-phase window advances KNN-based dielectrics toward base-metal compatibility for next-generation MLCCs.

[P11-53]

Defect Modulation via Interfacial Engineering in Halide Perovskite Memristors: SangJeung Park, Junmo Park, Yeonji Son, Inhyeok Oh, Jungdae Lee, Hanwool Yeon(광주과학기술원), Yeongjun Lee(한국과학기술원), Sanghan Lee, Hobeom Kim*(광주과학기술원)

Keywords: 페로브스카이트, 멤리스터, 뉴로모픽

Halide perovskites (HPs) have become one of the most important semiconducting materials for next-generation memristors, owing to their low halide vacancy formation energy and facile ion migration. However, uncontrolled defect density in HP memristors can cause stochastic resistive switching, or in severe cases, completely inhibit resistive switching, undermining their reliability. In this study, we develop HP memristors by modifying the interface between perovskite layer of α-formamidinium lead triiodide ($FAPbI_3$) and the electrode. The interfacial engineering effectively modulates defect states, enabling the devices to exhibit low operating voltage and stable memristive behavior. Furthermore, we develop a crossbar array based on multi-level resistance state memristors, demonstrating a high on/off ratio, device yield and operational stability.

[P11-54]

Suppressed Size Effect of $Co_{1-x}Pd_x$ using Grain Boundary Engineering as for Alternative Interconnect Material: Hyeong Jun Kim(한양대학교), Joonho Moon, Kiyoung Lee*(홍익대학교), Changhwan Choi*(한양대학교)

Keywords: Size Effect, Alternative Interconnect, CoPd alloy, Grain Boundary

Aggressive scaling of interconnect line widths in advanced integrated circuits has significantly increased the resistivity of copper (Cu) in Metal 0 and Metal 1 (M0/M1) layers, due to electron scattering as dimensions approach the electron mean free path ($\lambda \approx 39.9$ nm). This study investigates the resistivity scaling behavior of cobalt (Co) and compositionally graded cobalt–palladium (Co1-xPdx) thin films, integrating structural characterization and electrical transport analysis. Among the compositions, a Co0.73Pd0.27 graded film exhibits a markedly suppressed size effect, specifically noting only 46 % increase of resistivity, bulk-to-<10 nm, with the resistivity of 15 μΩ·cm for 10 nm-thick, the lowest size-induced increase reported to date for ultrathin metallic systems. Multi-variable regression using the Fuchs–Sondheimer and Mayadas–Shatzkes models yields surface and grain boundary scattering parameters of $p = 0.55 \pm 0.23$ and $R = 0.28 \pm 0.10$, respectively. These values, alongside the stabilized microstructure modified by percolating Pd adatoms that seamlessly passivate grain boundaries, indicate direct physical evidence for the observed improvement in charge transport, demonstrating the Co1-xPdx graded thin films as a promising platform for next-generation interconnects with enhanced atomic-scale conductivity beyond the scaling limitations of conventional interconnect technology.

[P11-55]

황산염 기반 전해질을 활용한 고순도 니켈 전해제련 공정 개발: 권예리(한국재료연구원, 부산대학교), 이주열, 유병욱*(한국재료연구원)

Keywords: 니켈 재활용, 친환경, 니켈 전해제련, 황산염 기반 전해질, 고순도

니켈 금속은 구리 및 아연에 이어 큰 규모의 비철금속 시장을 가지고 있으며, 초고온 내열 합금을 요구하는 우주 항공, 발전 산업 및 이차전지 산업 등 다양한 분야에서 광범위하게 활용되며 그 수요는 점점 증가하고 있다. 이러한 수요 증가에 따라 니켈 재활용 기술의 중요성이 대두되고 있다. 니켈 합금 폐기물뿐만 아니라 폐배터리 혹은 폐도금액으로부터 고순도 니켈 금속을 효율적으로 회수하는 습식법, 건식법 등의 다양한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 그중 습식 전해 제련법을 활용한 재활용 기술은 다양한 니켈 재활용 공정 중 친환경적이고, 탄소 저감이 가능하여 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 황산염 기반 전해질 용액을 활용하여 고효율의 니켈 전해 제련 연구를 수행하였다. 니켈 농도나 용액 온도 등의 공정 변수를 제어하여 수소 발생을 억제하고 전류 효율을 향상시키는 실험을 진행하였으며, 이를 통해 회수한 니켈 금속의 특성 분석을 수행하였다.

[P11-56]

휘발성 방향족 탄화수소의 고감도·고선택성 검지를 위한 CeO_2 촉매층이 코팅된 이중층 구조의 가스센서 설계: 윤성영, 서정후, 김남철, 정성용*(국립공주대학교)

Keywords: 휘발성 방향족 탄화수소, 가스센서, CeO_2, 촉매층, 센서 어레이

휘발성 방향족 탄화수소(Volatile Aromatic Hydrocarbons, VAHs)는 인체에 유해한 실내·외 오염 물질로서 선택적 검지가 필수적이다. 그러나, 기존의 산화물 반도체형 가스센서는 단순한 감응원리로 인해 VAHs의 선택적 검지가 어려운 문제가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 CeO_2 촉매층이 코팅된 이중층 가스 센서를 개발했다. CeO_2 촉매층이 코팅된 Rh-SnO_2 이중층 센서는 VAHs에 대해 우수한 감도($S_{Benzene}$=45.3, $S_{Toluene}$=61.2, $S_{Ethylbenzene}$=32.7, S_{Xylene}=29.2, $S_{Styrene}$=35.4)와 높은 선택성(44.7)을 나타냈을 뿐만 아니라 혼합가스 환경에서도 높은 가스 감도와 선택성을 유지했다. 이중층 센서의 VAHs에 대한 우수한 선택성은 CeO_2 촉매층에서 방해가스는 반응성이 낮은 종으로 산화되고 피검가스는 통과해서 반응하기 때문으로 판단된다. 또한, SnO_2, Pt–SnO_2, Au–SnO_2, In_2O_3, Rh–In_2O_3, Au–In_2O_3, WO_3 및 ZnO 등 다양한 감응재료 위에 CeO_2 촉매층을 코팅한 센서를 비교 분석하여 범용적인 센서 설계 가능성을 입증했다. 추가적으로 센서 어레이(sensor array)를 활용하여 주성분 분석(PCA)을 적용함으로써 방향족 가스를 비방향족의 다양한 방해가스와 선별적으로 구별하고, 다양한 VAHs의 정량 분석이 가능함을 확인하였다.

[P11-57]

고감도·고속성 H_2 검지를 위한 다공성 PdO-SnO_2 가스센서 설계 : 서정후, 윤성영, 김남철, 정성용*(국립공주대학교)

Keywords: 가스센서, 산화물 반도체, 가스 선택성, 수소

호기 분석 기반 질병 진단은 환자의 불편을 최소화할 수 있는 비침습적 차세대 진단기술로 주목받고 있다. 사람의 날숨에 포함된 H_2는 과민성대장증후군(IBS) 질환의 생체지표 가스로서 날숨 속의 H_2의 농도를 정확하게 알 수 있다면 질병의 조기진단이 가능하다. 그러나 날숨에 포함된 H_2는 ppm 수준의 농도로 미량 존재하며, 다양한 방해가스와 혼재하기 때문에 고감도 및 고선택적 검지가 중요하다. 본 연구에서는 초음파 분무열분해 공정을 통해 다공성 구조를 갖는 산화주석(SnO2) 구형 입자에 팔라듐 산화물(PdO) 촉매가 균일하게 분포된 감지 소재를 설계했다. 다공성 PdO-SnO^2 센서는 400°C에서 H_2 가스에 대한 고감도($S_{Hydrogen}$ = 6.9) 및 고선택성($S_{Hydrogen}/S_{Interferant}$ = 5.2)을 나타냈으며, 날숨에 포함된 극미량의 수소가스를 4초 이내로 빠른 검출이 가능함을 확인했다. SnO_2의 다공성 구조는 분석 가스들의 빠른 확산경로를 제공하며, PdO 촉매가 H_2 해리시켜 감도를 극대화하는 것으로 분석된다. 본 연구에서 제안한 센서의 설계 방식은 비침습적 질병 진단을 위한 호기 분석 기반 센서 설계의 새로운 방향을 제시한다.

[P11-58]

Selective Doping of Laser-Induced Graphene via Liquid Laser Ablation for Active Device Applications: HeeRa Lee(Pusan National University), Sukang Bae (Jeonbuk National University, Korea Institute of Science and Technology (KIST)Jong-Seong Bae(Korea Basic Science Institute), Tae-Wook Kim(Department of Flexible and Printable Electronics, Jeonbuk National University), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

Keywords: Laser induced graphene(LIG), Liquid Laser Ablation, Selective Doping

Laser-induced graphene (LIG) converts polymer precursors such as polyimide (PI) into graphene-like crystalline materials via a laser photothermal reaction. It provides direct patterning at room temperature without vacuum or catalysts and offers high electrical conductivity and a large surface area due to its 3D porous structure. However, conventional LIG relies on nonselective doping and batch functionalization, making site-selective functionalization on a single substrate difficult. As a result, applications have largely been limited to electrochemical passive devices. Despite its potential, application to active devices remains limited. Here, this study introduces liquid laser ablation (LLA) and presents a confined liquid laser process that induces site-selective doping at the liquid–polyimide interface during laser writing. By confining dopant solutions to predefined regions, we synthesize multifunctional LIG arrays on a single substrate. The use of solution phase precursors enables through thickness uniform dopant incorporation, which is advantageous for active device implementation. The synthesized LIG arrays were directly integrated into active devices such as transistors and inverters, providing a practical route to on-chip integration of multifunctional LIG based electronics.

[P11-59]

Pseudo-Integrated, Stress Dissipating Interface for Soft–Rigid Polymer Integration in Biomedical and Robotic Systems: 최유림, 이준민*(Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: Multimaterial printing, Mechanical discontinuity, Interface, Stress dissipation, Fatigue resistance

Mechanical discontinuity between soft and rigid materials severely limits the durability and functionality of biomedical devices, tissue-engineered implants, and soft robotic systems. Inspired by natural tissue junctions such as tendon–bone and cartilage–bone interfaces, we developed a pseudo-integrated interphase with tunable modulus gradients to dissipate stress and prevent interfacial failure. The interphase was fabricated via a rapid UV-induced process (<1 min) without chemical pretreatment or high-temperature processing, enabling versatile integration across diverse polymer combinations. Structural characterization using SEM, Raman spectroscopy, and nanoindentation confirmed graded interphase depth and modulus profiles, while mechanical testing demonstrated high adhesion strength, improved toughness, and resistance to delamination under cyclic loading and complex deformations. Finite element analysis revealed reduced stress concentration at the interface, correlating with enhanced fatigue resistance. The design maintained mechanical stability in wet, dynamic environments and was compatible with various biocompatible materials and tissue-mimetic motions for soft robotics. This bioinspired approach offers a simple, scalable strategy for creating durable soft–rigid interfaces, advancing applications in regenerative medicine, implantable electronics, and adaptive robotic systems.

[P11-60]

Lead-Free $Cs_3Pd_2I_5$ 0D Metal Halide Perovskite with Pd Nanoparticle Exposure for Advanced Hydrogen Sensing: Ju Hyoeng Yu, Gun Gook Kim(Pusan National University), Jong-Seong Bae(Korea Basic Science Institute), Myoeng Kwan Song(Korea Institute of Material Science), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

Keywords: Lead-free 0D metal halide perovskites, Hydrogen annealing, Pd exposed $Cs_3Pd_2I_5$, Semiconducting hydrogen gas sensor

As global warming intensifies, hydrogen energy has attracted significant attention due to its high energy density and environmentally friendly combustion byproduct, water. However, the wide flammability range of hydrogen in air (4–75 wt%) raises critical safety concerns, driving the demand for highly sensitive and reliable hydrogen sensing material. Metal halide perovskites (MHPs), semiconducting material which has ABX_3 crystal structure with all inorganic compositional elements, have emerged as promising candidates for gas sensing due to their simple solution based synthesis, chemical stability, and tunable bandgap. Nevertheless, conventional high-performance MHPs such as $CsPbBr_3$ contain toxic Pb, which poses severe risks to human neurological systems. In this research, we designed $Cs_3Pd_2I_5$, a lead-free 0D metal halide perovskite, by substituting toxic Pb with hydrogen-sensitive Pd. $Cs_3Pd_2I_5$ consists of isolated $(Pd_2I_5)^{3-}$ units separated by Cs^+ cations. For the enhanced hydrogen sensing performance, we applied additional hydrogen annealing to expose Pd on the surface of $Cs_3Pd_2I_5$. The aggregation of exposed Pd nanoparticles can be suppressed due to low ion mobility derived from isolated $(Pd_2I_5)^{3-}$ unit structure. Structural analyses, including X-ray diffraction (XRD) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), confirmed the exposure of Pd after hydrogen annealing. Subsequently, transmission electron microscopy (TEM) demonstrated the formation of Pd nanoparticles on the surface of $Cs_3Pd_2I_5$. The Pd exposed $Cs_3Pd_2I_5$ exhibited a remarkable sensitivity enhancement of 150% at lower operating temperatures, 120 °C. These results demonstrate that $Cs_3Pd_2I_5$ is a promising material for next-generation hydrogen sensors, offering high sensitivity and low-temperature operation through a facile hydrogen annealing process.

[P11-61]

Growth of MoS_2 Wires with Perpendicular Layer Stacking for Edge-Standing Heterostructures: Seo Hyeon Moon(Pusan National University), Yeongeun Kim(Inha University), Hyeon-Sik Jang(Gyeongkuk National University), Sukang Bae(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Naechul Shin*(Inha University), Seoung-Ki Lee*(Pusan National University)

Keywords: MoS_2 wire, Edge-standing heterostructure, aligned perpendicular

Precise control over the structure of functional materials is a key strategy for tuning their physical and optical properties and

expanding their range of applications. In low-dimensional materials, where structure and performance are closely linked, the design of atomic arrangements plays an important role in explaining their electronic and optical performance as well as interfacial characteristics. Such studies go beyond simple structural modification, providing insights into interfacial electronic interactions, enabling control of optical responses, and ultimately contributing to the development of next-generation optoelectronic devices. Among structural motifs, layered frameworks have attracted particular attention due to their anisotropic conduction, surface tunability, and accessible interlayer regions. Most layered materials synthesized to date exhibit parallel stacking along the growth direction. Such structures have been widely used in optoelectronic devices, providing advantages such as a large contact area through the basal planes and low interfacial defect density. However, in these geometries, the interlayer regions open mainly in the vertical direction, making lateral access difficult. As a result, it is challenging to exploit the unique electronic and optical behavior of edge sites, and there remain limitations in precisely tuning charge-transfer pathways and optical responses. This highlights the need for new interfacial architectures in which edges are directly exposed. In this study, we developed MoS_2 wire structures in which the layers are aligned perpendicular to the growth axis. A molybdenum sulfide hydrate, $(NH_4)_nMoS_x \cdot \delta H_2O$, was first synthesized by solution-based precipitation as an intermediate phase and subsequently converted into crystalline MoS_2 wires through chemical vapor deposition (CVD). To examine whether the structural advantages of the MoS_2 wires are preserved under interfacial conditions, we integrated them with monolayer WSe_2 to form a vdW interface. This configuration resulted in an edge-standing heterostructure, where the exposed sidewalls of MoS_2 establish direct atomic contact with the WSe_2 layer. Cross-sectional TEM analysis confirmed the stacking sequence, and photoluminescence (PL) measurements revealed charge-transfer behavior at the interface, directly supporting the electronic interactions. This work presents a strategic approach for designing highly aligned MoS_2 wire structures and constructing well-defined vdW heterointerfaces, offering valuable insights into precise interface control and the development of next-generation optoelectronic devices.

[P11-62] Canceled

Engineering "Plug-and-Play" Functional Metallized Ceramics Using DNA as Synthesis Scaffolds: Priyannth Ramasami Sundharbaabu, Cheol Hyun Park, Yun Seong Cho, Jun Hyuk Heo*(Sungkyunkwan University (SKKU)), Joohoon Kang*(Yonsei University), Jung Heon Lee*(Sungkyunkwan University (SKKU))

Keywords: DNA, metallized ceramics, hydroxyapatite, embedded catalysts, ceramic matrix

Deoxyribonucleic acid (DNA) is a chemically versatile molecule with multiple binding sites, including major/minor grooves, nucleosides, and the phosphate backbone. These sites have unique properties that allow them to bind a variety of partners based on size, charge, and ionic dimensions. Previous studies have successfully used DNA to template metal nanomaterials and bioceramics, but a combined material with enhanced functionality for harsh environments remains unexplored. This study, hence, introduces a ''plug-and-play'' synthesis approach to create integrated metallized ceramic nanomaterials. We have leveraged DNA from salmon sperm as a scaffold to load metal nanoparticles onto a ceramic matrix. The process begins by incubating DNA in a solution containing the desired metal precursors, allowing specific binding of the metal ions to the DNA's binding sites followed by adding ions with high charge density to interact strongly with the DNA's phosphate backbone in alkaline conditions to promote the crystallization of the material into a DNA-incorporated metallized hydroxyapatite (M-DNApatite). The resulting nanomaterial was found to be approximately 200 nm in length and 50 nm in width, with varying dimensions of metallic nanoparticles based on their DNA binding nature. We have successfully demonstrated this ''plug-and-play'' approach using gold (Au), platinum (Pt), and cobalt (Co) precursors, in this study. These nanomaterials were extensively characterized to confirm their properties as follows. Circular Dichroism was used to study DNA binding mechanisms, Wide-Angle X-Ray Scattering for structural properties, and X-Ray Photoelectron Spectroscopy for chemical composition. We also performed 2-D and 3-D atomic-scale visualization using High-Angle Annular Dark-Field Scanning Transmission Electron Microscopy and Cryo-Transmission Electron Microscopy, respectively. We also evaluated the performance of these materials in harsh environments to demonstrate their wide-scale applicability and their ability to modulate chemical properties just by changing the metal ion. For example, our study showed that Co-DNApatite is a robust electrochemical catalyst for oxygen evolution reactions, exhibiting sustained current density for over 100 hours in a harsh alkaline environment (6 M KOH). In addition, Au-DNApatite and Pt-DNApatite were found to display enhanced Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) optical performance and high catalytic conversion of toxic substances like formaldehyde to less harmful products, respectively. This research, thus highlights how DNA's binding modes can be leveraged to fabricate ''plug-and-play'' metallized ceramics, opening new avenues for advanced material science applications.

[P11-63]

MD 기반 AA8079–폴리프로필렌 계면 접합 메커니즘 연구: 박진웅, 한병준(국립한밭대학교), 김준현(롯데인프라셀), 김정한*(국립한밭대학교)

Keywords: 분자동역학(MD), 알루미늄, 폴리프로필렌, 접합강도, 접합계면

알루미늄 합금(AA8079)과 폴리프로필렌(PP)의 직접 접합은 차세대 복합재 응용에서 중요한 과제이지만, PP의 비극성 특성으로 인해 계면 결합에는 근본적인 한계가 존재한다. 본 연구에서는 분자동역학(Molecular Dynamics, MD) 시뮬레이션을 통해 접합에 유리한 기능성 관능기를 도출하고, 이를 적용한 알루미늄 합금과 PP 간의 접합 특성을 인장–전단 강도 시험으로 비교·분석하였다. 트리아진(triazine) 계 관능기 도입 시 알루미늄 산화 표면의 전자 밀도 분포와 전하 재배열이 변화하여 계면 안정성이 향상되는 경향이 확인되었으며, 이는 PP 사슬과의 비공유성 상호작용을 강화하는 데 기여하는 것으로 나타났다. 인산 아노다이징 처리에서는 나노

기공 구조와 –OH 기반 표면 화학종이 형성되어 기계적 고정력과 계면 친화성이 개선되었고, 트리아진 처리 역시 접합 강도를 향상시키는 효과를 보였다. 이러한 결과는 알루미늄–PP 계면 직접 접합 메커니즘을 규명하고, 기능성 관능기 도입과 표면처리 전략의 유효성을 입증함으로써 고신뢰성 금속–고분자 복합재 설계를 위한 새로운 계면 설계 지침을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

[P11-64] Canceled

Subgap-States-Mediated Transitions as a Direct Metric for Bias Stress Instability in Solution-Processed Indium-Zinc-Oxide Thin-Film Transistors: Dongwook Kim, Hyeonju Lee, Seulee Lee, Taehui Kim, Seungbin Kim, Sooyoung Bae, Jaehoon Park*(Hallym University)

Fundamental evaluation of defect mediated charge dynamics and intrinsic reliability of oxide semiconductors is crucial for understanding bias stress instability in thin-film transistors (TFTs). In this work, we present a comprehensive analysis of bias-induced electrical instability in indium–zinc–oxide (IZO) TFTs with particular emphasis on the role of the density of states (DOS) distribution empirically extracted from fabricated devices. Systematic bias stress measurements under zero, positive, and negative gate bias were applied as a function of indium doping concentration, enabling direct correlation between trap energies and electrical behaviors. The observed threshold voltage shifts and current modulation in low-, moderate-, and high-indium-doped IZO TFTs are quantitatively interpreted in terms of charge transition processes within localized subgap states. Our DOS-based framework allows for explicit identification of neutralization process under zero bias, effective carrier reduction under positive stress, and the emerging localized states under negative bias stress. To reinforce the experimental analysis, TCAD simulations incorporating the extracted DOS profiles were conducted, reproducing both transfer and output characteristics. The combined experimental–simulation approach provides direct evidence of charge transition pathways across the bandgap, revealing how indium concentration governs defect density and distribution. This study establishes a physically grounded methodology for bias instability characterization in oxide TFTs, offering a standardized and quantitative route to integrate DOS fundamentals into device reliability evaluation.

P12 : 전산재료과학
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P12A-1]
알루미늄 재활용을 위한 전기로·연소로 에너지 및 조업 특성 비교 연구: 유한준, 장병록*(인하대학교 제조혁신전문대학원)
Keywords: 알루미늄 재활용, CFD 해석

알루미늄 재활용 공정에서의 용해 과정은 에너지 효율성과 제품 품질에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 알루미늄 스크랩을 용해하는 과정에서 활용되는 전기로(Electric Furnace)와 연소로(Combustion Furnace)의 운전 특성을 시뮬레이션 기반으로 비교·분석하였다. 전기로는 전기에너지를 활용하여 고효율적이고 조성 제어가 유리하나 순간 전력 부하에 민감하며, 연소로는 안정적인 대량 조업이 가능하나 에너지 효율 및 배출가스 관리 측면에서 제약이 존재한다. 열역학적 물질·에너지 수지 모델과 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 적용하여 두 공정의 에너지 사용량, 용탕 균일성, 배출 특성을 정량적으로 평가하였다. 분석 결과, 전기로는 에너지 효율과 환경성 측면에서 강점을 보였으며, 연소로는 생산 안정성 측면에서 우수함이 확인되었다. 본 연구는 알루미늄 재활용 공정의 최적 운전 조건을 도출하고, 고효율·저탄소화 제조를 위한 공정 방법의 기초 자료를 제공한다.

[P12A-2]
Machine Learning Interatomic Potential Based Molecular Dynamics Prediction of Polymers on surfaces: 이희열, 강준희*(부산대학교)
Keywords: machine learning interatomic potential, battery

전기차 및 에너지 저장 시스템의 보급 확산에 따라 리튬이차전지의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 흐름 속에서 건식 전극 공정은 고효율·친환경 제조 기술로 주목받고 있으며, 특히 전극 내 바인더와 집전체 사이의 계면 거동 이해가 중요하다. 본 연구에서는 양극 전극을 대상으로 바인더–집전체 계면에서의 원자 수준 상호작용을 정량적으로 분석하였다. 밀도범함수이론(DFT)의 대규모 구조 적용 한계를 극복하기 위해, 사전학습된 MACE 기반 머신러닝 상호작용 퍼텐셜(MLIP)을 소규모 데이터셋으로 파인튜닝하였다. 벌크·슬랩·고분자·계면 구조를 포함한 데이터셋을 구축하여 일반화 성능을 확보하였으며, 폴리머와 알루미늄 표면 계면의 분자동역학 시뮬레이션을 통해 흡착 에너지, 원자수, 거리 변화를 동적으로 평가하였다. 그 결과 정적 구조 기반 계산의 한계를 보완하며, 건식 전극 공정에서 바인더–집전체 계면 안정성 예측에 활용 가능함을 확인하였다.

[P12A-3]
Machine Learning Potential Development for Ti-Mn-Based Hydrogen Storage Alloys : Hun-Min Jo(Inha Univ.), Won-Seok Ko*(Korea Univ.)
Keywords: Machine Learning Potential, Deep Potential, Ti-Mn alloy, Hydrogen Storage Alloys, Atomistic Simulation

Titanium-manganese (Ti-Mn) alloys, particularly TiMn2-based intermetallic compounds, have been widely studied for hydrogen storage materials due to their high storage capacity, economic feasibility, and relatively easy activation. These materials show promising characteristics for practical hydrogen storage applications, which are crucial components in the clean energy ecosystem and hydrogen economy infrastructure. However, atomic-scale interactions in Ti-Mn alloys remain challenging, and there are limitations in the development of optimized hydrogen storage alloys. Traditional interatomic potentials (such as MEAM and EAM) offer computational efficiency but lack accuracy and transferability, being specialized for specific systems and often failing to capture complex bonding characteristics in metal-H systems. Conversely, Density Functional Theory (DFT) provides high accuracy but at prohibitive computational costs, especially for large systems, creating a significant gap that necessitates the development of machine-learning-based models. In this study, we developed a machine-learning-based Deep Potential (DP) for the Ti-Mn-H ternary system. The Deep Potential framework, based on deep neural networks, iteratively collects additional DFT data automatically and undergoes a process that enhances the model's reliability through successive iterations. This active learning approach enables comprehensive exploration of relevant phase space while minimizing computational costs. Training datasets for multi-component alloy systems were generated by utilizing an active-learning scheme. The resulting DP model provides predictions consistent with first-principles calculations for both pure and alloy systems in terms of physical properties, including formation energy, equilibrium volume, equation of state, interstitial energy, vacancy formation energy, surface formation energy, and elastic moduli. This work provides a reliable computational tool for understanding TiMn2-based hydrogen storage alloys at the atomic scale and contributes to the development of more efficient hydrogen storage materials. Through this approach, investigation of critical phenomena such as hydrogen diffusion pathways, absorption/desorption kinetics, and microstructural evolution during cycling becomes possible. These insights can guide experimental efforts toward designing optimized TiMn2-based alloys with enhanced hydrogen storage capacity, improved cycling stability, and favorable thermodynamics for practical energy storage applications in the emerging hydrogen economy.

[P12A-4]

유한요소해석을 이용한 파괴인성 시험 재현 및 예측: 하재민, 신선호, 성효경*(국민대학교)

Keywords: 유한요소해석 (FEM), 파괴인성, 응력확대계수, Al7068

파괴인성은 재료의 안전 설계에 핵심인 지표이나, 이를 측정하는 실험은 시간 및 비용 부담이 크다. 본 연구에서는 Al7068 합금의 ASTM-E399 파괴인성 시험을 유한요소해석으로 재현하고, Load-COD 곡선의 선형, 비선형 구간을 계수 보정을 통해 실험값과 매칭하여 예측된 응력확대계수가 실험값과 유사한지 분석하였다. 균열 성장의 시작은 최대주응력 조건으로, 균열 진전은 에너지 기반 선형 연화로 정의하였다. 최대주응력 계수가 커질수록 균열의 성장이 지연되어 비선형구간의 시작점이 올라가고 파괴에너지 계수가 증가하면 비선형구간의 연화가 완만해지고 최대 하중이 증가한다. 전 구간을 대상으로 오차 지표를 최소화하도록 계수를 최적화하였고 결과적으로 유한요소해석을 통해 얻은 응력확대계수는 실험값과 유사하게 나타났다. 본 연구는 Al7068 합금의 유한 요소 해석을 통해 응력확대계수 계산에 영향을 미치는 두 개의 계수를 특정하였으며, 시편 형상 및 재료가 변하더라도 사용 가능한 유한 요소 해석을 이용한 파괴인성 예측의 기초자료를 제공한다.

[P12A-5] Canceled

Machine Learning Potentials for Structural and Thermodynamics Analysis of Phase Transitions in Inorganic Halide Perovskite: Seohui Jo, Seongho Choi, Ki-Ha Hong*(Hanbat National Univ.)

Keywords: Inorganic halide perovskites, Machine learning potential, phase transition

An accurate description of polymorphic phase transitions in inorganic metal halide perovskites is essential for assessing their stability in photovoltaic applications. Density functional theory (DFT) simulations provide reliable accuracy but are computationally prohibitive for large-scale dynamics, whereas classical force-field-based molecular dynamics (MD) are efficient but less reliable. This reflects the conventional accuracy trade-off between DFT and classical MD. To address this limitation, we developed a machine learning potential (MLP) trained on DFT-based ab initio molecular dynamics (AIMD) data. The MLP was constructed using the SevenNet architecture and implemented in LAMMPS, enabling efficient simulations with near-DFT accuracy. Phonon calculations with Phonopy confirmed its ability to reproduce lattice dynamics. Furthermore, vibrational free energy, entropy, and heat capacity were evaluated, demonstrating that MLP-based simulations are scalable and extendable to the assessment of phase stability and dynamical behavior at finite temperatures.

[P12A-6]

Lattice thermal transport screening for layered NaZnSb/KZnBi-type thermoelectrics: High-throughput workflow via the machine learning potential : Semi AnYonsei University), Kisung Kang(Chonnam National University), Aloysius Soon *(Yonsei University)

Keywords: Lattice thermal transport, Thermoelectrics, Machin learning potential, High-throughput workflow

Ultralow lattice thermal conductivity at room temperature is essential for achieving high efficiency of thermoelectric devices. Layered NaZnSb and KZnP draw attention due to their pronounced anisotropic transport behavior with low out-of-plane thermal conductivity and high in-plane electrical conductivity. Although their isostructural compounds can significantly facilitate the diversity of candidate materials, they have been limitedly investigated because of synthetic challenges and demanding computation. In this work, we design a computational framework for high-throughput evaluation of lattice thermal transport via the temperature-dependent effective potential (TDEP) method using the universal machine learning potential (MLP) of the machine-learned atomic cluster expansion (MACE). We investigate layered NaZnSb and KZnBi types with elemental substitutions, yielding a total of 60 materials, respectively. MACE offers lattice thermal expansion estimation and efficient molecular dynamics simulations with accuracy near the first-principles method. TDEP extracts effective phonon dispersion with 3^{rd} and 4^{th} order anharmonicities at finite temperatures, resulting in structural stability inspection and lattice thermal conductivity. Based on a reliable prediction for NaZnSb, this framework enables efficient estimation of lattice thermal conductivity in anisotropic thermoelectric systems and can be extended to effective large-scale high-throughput screening of thermoelectric materials.

[P12A-7]

Insights into the Synergistic Effect of RuFe Bimetallic Catalysts for Ammonia Synthesis : Suin Hwang, Hyuk Choi, Seona Kim, Hyun You Kim*(Chungnam National University)

Keywords: Bimetallic alloy, NH3 synthesis, Density Functional Theory(DFT), Synergetic effect

Ammonia (NH_3) is a vital resource for agriculture and the energy industry, conventionally synthesized through the Haber-Bosch process by using Fe nanoparticle catalysts. Owing to its low price and natural abundance compared to other metals, Fe NP is widely employed in large-scale industry. Especially, the electronic configuration of the Fe ($3d^6$) facilitates N_2 activation, breaking the triple bond, leading to a high catalytic performance. It is more efficient than other 3d transition metals such as Mn, Co, and Ni. Mn shows a more stable half-filled electronic configuration ($3d^5$) than Fe, which results in low catalytic activity for NH_3 synthesis. In addition, Co and Ni exhibit a significantly stronger binding with H_2, suppressing the N_2 activation compared to Fe. However, despite its effectiveness, the Fe NPs catalysts require high temperatures and pressures, leading to substantial energy consumption. Therefore,

alternative catalysts are being explored. Among them, Ru NP catalysts exhibit much higher intrinsic activity, enabling efficient NH_3 synthesis under relatively milder conditions. Nevertheless, Ru suffers from hydrogen poisoning due to the excessive coverage of adsorbed H atoms, which hinders the adsorption and activation of N_2. In addition, the scarcity and high cost of Ru limit its widespread industrial application. Thus, in this work, density functional theory (DFT) was employed to investigate Ru and Fe monometallic as well as RuFe bimetallic NPs supported on MgO to enhance the N_2 activation while mitigating hydrogen poisoning. A genetic algorithm was implemented to identify energetically favorable configurations of RuFe NPs, converging to the global minimum structure with a randomly mixed atomic Ru and Fe distribution. Compared to Ru/MgO and Fe/MgO systems, RuFe/MgO exhibits stronger N_2 binding energy(E_{bind}) and a lower activation barrier energy(E_a) during the NH_3 synthesis reaction. Such improvements originated from the synergistic interactions of Ru-Fe, as reflected in the reduced ICOHP of N_2 binding on RuFe/MgO. Furthermore, the adsorption of N_2 predominantly occurs at the Ru sites of RuFe NP, where the electronic states of Ru become more negative than Ru single element NP. Such electronic modulation further accelerates the activation of N_2, thereby contributing to the superior catalytic performance of RuFe/MgO.

[P12A-8]

Numerical Methodology to Predict Fatigue Life of Thermal Barrier Coatings: Lee SangLim, WangRok Soek, Yoon Suk Choi*(Pusan National University), Sangwon Myoung, Hunhee Kim(Doosan Enerbility)

Keywords: TBC, TGO, Isothermal deterioration test, Thermal fatigue life prediction

High-temperature components in power generation operate under extreme environments, exceeding the limits of Ni-based superalloys. Thermal barrier coatings (TBCs), applied for their low thermal conductivity, reduce surface temperatures but deteriorate under prolonged exposure, compromising turbine performance and service life. TBCs require reliable property evaluations, particularly spallation life assessments under realistic thermal fatigue conditions. However, thermal fatigue evaluation remains challenging due to high costs, long testing times, and complexity. Therefore, this study proposed a numerical methodology to predict the spallation life of TBCs under different thermal fatigue conditions. As a first step, thermally grown oxide (TGO) growth models were optimized, focusing on long-term exposure, using isothermal aging test results. Thermo-mechanical finite element analysis was also performed to predict thermal stresses as a function of TGO thickness. Finally, the optimized TGO growth model and thermal stress analysis were coupled to build a thermal fatigue life prediction methodology, and its applicability was assessed.

[P12A-9]

카테콜의 흡착·탈착 거동에 대한 그래핀 계열 소재의 분자동역학: 정수민*, 윤태영*(국립창원대학교)

Keywords: 그래핀, 카테콜, 분자동역학

탄소 기반 소재는 다양한 유기 오염물질을 효과적으로 흡착할 수 있어 환경 정화 기술에서 중요한 역할을 한다. 특히 페놀류 화합물은 산업 폐수에 흔히 존재하며, 이와의 상호작용은 소재의 흡착 성능과 재생 가능성을 평가하는 핵심 요소로 꼽힌다. 그러나 반복 사용 과정에서 흡착 효율이 점차 저하되고, 축적된 오염물질은 2차 오염을 유발할 수 있다. 이를 극복하기 위해 전기화학적 재생 기법이 제안되고 있으나, 흡착 분자의 탈착 메커니즘에 대한 분자 수준의 이해는 아직 부족하다. 본 연구에서는 대표적 페놀류인 카테콜을 모델 물질로 선정하고 그래핀, 산화그래핀(GO), 환원산화그래핀(rGO) 표면에서의 흡착 및 탈착 거동을 조사하였다. 이를 위해 분자동역학 시뮬레이션을 통해 분자-표면 간 결합 특성과 전기장 조건에 따른 상호작용 변화를 분석하고, 전기화학적 측정을 병행하여 계산 결과를 검증하였다. 이러한 접근을 통해 전기장이 카테콜의 흡착 안정성과 탈착 효율에 미치는 영향을 규명하고자 하였으며, 연구 결과는 탄소 기반 소재의 흡착 성능 향상과 재사용성 증진에 기초 자료를 제공하고, 지속 가능한 환경 정화용 소재 개발에 기여할 것으로 기대된다.

[P12A-10]

ABAQUS 기반 저주기 피로 시뮬레이션 및 이력 곡선 예측: 오문열*, 성효경*(국민대학교)

Keywords: 유한요소해석, 저주기피로, 이력곡선

저주기 피로(Low-Cycle Fatigue, LCF)는 구조재료의 신뢰성 평가에서 핵심적인 요소이며, 반복 변형에 따른 응력–변형률 이력곡선을 통해 재료의 거동을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 실제 실험 없이 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 활용하여 단순 주기 하중을 부여하고, 응력–변형률 이력곡선을 수치적으로 재현하는 방법을 모색하였다. 인장시험에 사용되는 판상 및 봉상 시편을 단순화하여 모델링하고, 게이지부는 시험 규격에 따라 설정하였으며, 양 끝단에는 하중이 균일하게 전달되도록 구속조건을 적용하였다. 하중은 변위 제어 방식으로 인장–압축을 반복하도록 진폭을 정의하였고, 인장 및 압축의 부호를 명확히 구분하여 곡선의 비대칭성을 방지하였다. 또한 게이지부의 두께 및 길이비를 실제 규격에 맞추고, 명시적 솔버를 준정적 조건으로 설정한 뒤 하중 속도를 충분히 낮춰 관성 효과를 최소화하였다. 이를 통해 버클링 발생을 줄이고, 안정적인 이력곡선 도출을 목표로 하였다. 시뮬레이션 결과, 설정한 변위 진폭에 따라 폐곡선 형태의 응력–변형률 곡선이 나타났으며, 이는 실제 저주기 피로 실험에서 관찰되는 거동과 정성적으로 유사하였다. 향후 동일 조건에서의 실험 데이터와 비교함으로써, 해석 모델을 기반으로 한 피로 하중에 따른 재료 물성의 변화 예측 가능성을 검토할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 정량적 비교를 시작으로, ABAQUS 기반 피로 하중 모사 및 이력곡선 구현 방법을 제안하였으며, 향후 반복 하중에 따른 손상 누적이나 파단 조건 해석 등으로의 확장 가능성을 포함한다.

[P12A-11]
KKS 기반 상평형 시뮬레이션을 통한 Al-Cu 합금의 냉각속도 변화와 Jackson–Hunt 이론 비교 분석: 박용욱, 차필령* (국민대학교)
Keywords: 비철금속, 전산재료과학, 공정 합금, 라멜라 구조

Al-Cu 합금은 대표적인 공정 합금으로 응고 과정에서 형성되는 미세조직은 냉각속도와 같은 열적 조건에 의해 크게 영향을 받으며, 이는 최종적으로 기계적 특성에 결정적인 역할을 한다. 본 연구에서는 Kim-Kim-Suzuki(KKS) 기반 상평형 시뮬레이션 모델을 적용하여 Al-Cu 공정 조성에서 냉각속도의 변화가 미세조직 형성 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 특히, 라멜라 구조의 두께와 과냉도를 Jackson-Hunt(J-H) 이론과 비교하여 시뮬레이션과 이론 간 정합성을 가지는지를 평가하였으며, 최소 안정 두께와 대응 과냉도의 관계를 참조해 상관성을 정량적으로 검토하였다. 더 나아가, 양자 간 차이를 보정할 수 있는 함수적 인자 또는 보정 계수를 도입하여 이론-시뮬레이션 간 격차를 최소화할 수 있는 가능성을 검토하였다. 이는 공정 조건 변화에 따른 미세조직 형성 메커니즘에 대한 이해를 심화시키고, J-H 이론의 보정 및 확장 가능성을 제시한다.

[P12A-12]
Computational Study on PAA Binder Design for Silicon Anodes with Pre-lithiation Induced by Li Precursors: Gyuri Kim, Junso Son, Tae Kyung Lee *(Gyeongsang National Univ.)
Keywords: Lithium-ion batteries, PAA binder, Pre-lithiation, Li precursors, Molecular dynamics simulation

Silicon (Si) anodes undergo large volume expansion during charge-discharge cycles, causing particle pulverization and electrode detachment that degrade cell performance in lithium-ion batteries (LIBs). Poly(acrylic acid) (PAA) binder, rich in -COOH groups, can form strong hydrogen bonds with Si anodes. However, intra-chain hydrogen bonding between the -COOH groups promotes chain aggregation and reduces interfacial contact, thereby diminishing LIB performance. We employed molecular dynamics simulations to probe how the anion of lithium precursors modulates Li^+ coordination and PAA chain conformation. The radial distribution functions show pronounced Li^+-COO^- coordination in LiOH-PAA system, indicating pre-lithiation in Si anodes. The radius of gyration analysis indicates that the LiOH-PAA system is highly flexible. These results provide design guidance for anion-specific polymer binders toward high-performance Si anodes.

[P12A-13]
Development of Joint Energy-Force-Stress Negative log-likelihood Training of Bayesian Machine learning Potentials: SONG JOOYEON(경기대학교, 성균관대학교), Myung Changwoo*(성균관대학교)
Keywords: Bayesian Neural Network, Uncertainty Quantification, Out-of-Distribution Detection, Materials Science, Deep Learning

Machine learning potentials (MLPs) have enabled large-scale atomic simulations by providing accuracy comparable to ab initio methods while maintaining high computational efficiency. Despite significant advances that extend MLPs to a wide range of material systems, current models still face challenges in uncertainty quantification, out-of-distribution (OOD) detection, and active learning, even when trained on large and diverse density functional theory (DFT) datasets. In this work, we introduce Bayesian machine learning potentials that predict energies, forces, and stresses while providing principled estimates of predictive uncertainty. Our models achieve comparable or superior accuracy to existing advanced MLPs on standard benchmarks, while effectively capturing uncertainty through a negative log-likelihood loss. We further propose a novel negative log-likelihood (NLL) loss function, termed Joint Energy–Force–Stress NLL (JEFS-NLL), which simultaneously accounts for uncertainty in energy, force, and stress predictions, leading to higher overall accuracy than conventional loss formulations. We provide OOD detection and active learning sets for Lithium Germanium Phosphorus Sulfide (LGPS) and boron nitride (BN) that are useful for Bayesian benchmarks. This approach enhances reliability, and facilitates robust, interpretable simulations across complex material systems, and improves efficiency in fine-tuning, active learning, uncertainty quantification, and OOD detection for large-scale atomic modeling.

[P12A-14]
이미지 분석과 Python 프로그래밍을 통한 결정립 크기 자동화 측정 기법 개발: 조진우, 이혜원, 정원석, 박노근*(영남대학교)
Keywords: 금속, 탄소강, 결정립, 자동화, 이미지분석

본 연구에서는 Fe-0.1 wt% C 강 시편의 결정립 크기를 효율적이고 정확하게 측정하기 위해 Python 기반 자동 측정 프로그램을 개발하였다. 해당 프로그램은 CLAHE 대비 향상, 적응형·전역 이진화, 작은 객체 제거, Thinning 등 다단계 전처리 기법을 적용해 노이즈를 제거하고 결정립계를 명확히 추출한다. GUI 환경에서 ROI 지정, 임계값 조정, 스케일 바 자동·수동 보정이 가능하며, 라인 인터셉트 방법을 자동·수동 모드로 구현해 μm 단위의 정밀 측정을 지원한다. 측정 데이터는 통계 처리 후 Excel·이미지 파일로 저장되며, 분석 과정 전반을 일괄 수행한다. 1000°C 및 1100°C 열처리 시편 적용 결과, 수동 측정 대비 약 80% 이상 시간 절감과 높은 재현성을 확보하였고, EBSD 대비 비용 효율성이 뛰어나 금속 미세조직 정량 분석의 신뢰성과 작업 효율을 크게 향상시켰다.

[P12A-15]
Exploring Liquid Gallium Alloys with a Pre-Trained Graph Neural Network for Non-Crystalline Systems: Jang Jimin(Yonsei University), Kang Kisung(Chonnam National University), Park Jihye(Hydrogen and Fuel Cell Development Center, Hyundai Motor Company), Aloysius Soon*(Yonsei University)
Keywords: Liquid metal, Machine-Learning Interatomic Potential (MLIP), Molecular Dynamics, Fine-tuning of MLIP

Liquid gallium (Ga) melts at 302.9 K and displays an unusual, persistent short-range order that remains stable above the liquidus – a combination that is driving its adoption in catalysis, soft stretchable conductors, and additive manufacturing. Atomistically resolving how alloying metal additives modify structure, dynamics, and the melting point is, however, computationally prohibitive because conventional *ab initio* molecular dynamics (AIMD) scales cubically with system size and requires sub-picosecond time steps. To overcome this bottleneck, we construct a fine-tuned machine-learning interatomic potential (MLIP) that deliberately specializes for non-crystalline Ga-rich systems rather than directly using the foundational model. Reference forces and energies are harvested from short AIMD trajectories and from snapshots predicted by the graph-neural network CHGNet; the merged data set is used to fine-tune the final potential. The refined MLIP reproduces density-functional theory (DFT)-quality radial distribution functions, self-diffusion coefficients, and melting points to within 2 % while accelerating simulations by roughly two orders of magnitude. Employing the potential in large-scale molecular-dynamics runs, we map how progressive metal dopants depresses the liquidus below 300 K yet retains metallic conductivity, providing a cost-effective, transferable template for designing next-generation liquid-metal devices operating at ambient temperature.

[P12B-1]

Molecular-Level Understanding of Molecularly Functionalized Separators for Electrodes Stabilization in Lithium Metal Batteries: Yubhin Cho, Jiyoon Lee, Tae Kyung Lee*(Gyeongsang National University)

Keywords: Lithium metal battery, Separator, Electrode, Interphase stability, Density functional theory

Combining lithium metal anodes with NCM811 in high-energy-density batteries offers a potential pathway for high-performance energy storage systems. However, the Lewis acidic phosphorus pentafluoride (PF5), generated from LiPF6 decomposition at high temperatures, reacts with trace water to form hydrofluoric acid (HF) and phosphorus oxyfluorides. In addition, HF degrades the cathode electrolyte interphase and extracts transition metal (TM) ions from the NCM811 surface. Consequently, degradation occurs at both electrolyte–electrode interphases. To address this issue, a molecularly functionalized separator (MFS) is introduced, and its mechanism is demonstrated using density functional theory calculations. The stronger interaction of the MFS with the lithium metal surface promotes LiF formation at the anode. At the cathode, PF5 bound to the MFS is thermodynamically unfavorable than hydrolysis reaction of free PF5, thereby suppressing PF5 hydrolysis. Furthermore, the weak interaction between the MFS and TM ions facilitates their chelation and HF is trapped by C–F bonds in the MFS, which serve as HF scavengers. Our study provides molecular-level insights into the crucial role of MFS for electrodes stabilization.

[P12B-2]

Facet-Dependent Etching of Hydrogen–Terminated Silicon Surfaces: A Density Functional Theory Study: Song Eunjeong, Shin Hyeyoung*(Chungnam National Univ.)

Keywords: Hydrogen fluoride etching, H-terminated silicon, Facet-dependent reactivity

Silicon etching is a fundamental process in semiconductor manufacturing, where the anisotropic nature of silicon surfaces results in facet-dependent reaction kinetics. A comprehensive understanding of the etching reactivity of different silicon crystal facets is crucial for achieving precise control over the directionality of the etching process, necessitating a theoretical approach. In this study, density functional theory (DFT) calculations are employed to investigate the origin of the difference in etch rate on Si (100) and Si (111), two representative facets in semiconductor process. The reaction mechanisms are analyzed both thermodynamically and kinetically, with a particular focus on comparing energy of reaction pathways and evaluating the associated energy barriers. Our findings indicate that different primary kinetic barriers constitute the rate-determining step on the Si (100) and Si (111) surfaces, each playing a key role in governing the overall etch rate. To identify the underlying factors responsible for this difference, we analyzed the bond strengths of molecules and key surface species involved in each reaction step. This study provides mechanistic insights into facet-dependent etching reactivity and establishes a theoretical framework for understanding etching mechanisms on silicon surfaces.

[P12B-3]

Graph Neural Network-Driven Design of Liquid Organic Hydrogen Carriers for Electrochemical Dehydrogenation: KIM JAEGEOL, SHIN HYEYOUNG*(Chungnam National Univ.)

Keywords: Liquid Organic Hydrogen Carriers, Electrochemical Dehydrogenation, Graph Neural Networks, Density Functional Theory, Oxidation Potential Prediction

Hydrogen is a promising clean energy carrier, but its widespread implementation remains hindered by challenges in storage and controlled release. Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) have emerged as a viable solution; however, conventional thermochemical dehydrogenation requires high temperatures and harsh reaction conditions, limiting overall efficiency and scalability. While electrochemical approaches enable hydrogen release under ambient conditions, existing LOHCs were originally designed for thermal systems, resulting in suboptimal electrochemical performance. In this study, we develop a systematic electronic structure-based framework for the rational design of LOHCs optimized for electrochemical dehydrogenation. Using density functional theory (DFT)

calculations, we develop a systematic electronic structure-based framework by introducing a Graph Neural Network (GNN) model to predict standard oxidation potentials, hydrogen storage capacity, and key physicochemical properties to ensure practical feasibility, stability, and safety. Our analysis reveals that strategic heteroatom doping and the incorporation of electron-donating functional groups into aromatic frameworks significantly reduce standard oxidation potential while maintaining high hydrogen storage capacity and ambient stability. This approach identifies several LOHC candidates with enhanced electrochemical properties and favorable storage characteristics. More broadly, our study establishes fundamental molecular design principles for improving electrochemical dehydrogenation efficiency, and provides a systematic framework for advancing beyond the thermochemical paradigm in hydrogen storage technologies that screen promising candidates.

[P12B-4]

Systematic Evaluation of Attention Mechanisms in Transformer Models for De Novo UTS-Driven Silk Protein Sequence Design: 염준빈, 신홍철, 박유진, 윤태영*(Changwon National University)

Keywords: Silk protein, Transformer, Molecular dynamics, Protein design, Ultimate tensile strength

Protein sequence generation has emerged as a key area in computational biology, with silk proteins gaining attention due to their superior mechanical properties that surpass synthetic materials. However, the optimization of transformer architectures for silk protein sequence generation remains insufficiently understood, with existing approaches lacking systematic evaluation of attention mechanisms. Here, we conducted a systematic comparative analysis of five attention mechanisms in transformer architectures specifically optimized for silk protein crystalline region generation, employing steered molecular dynamics (SMD) simulations for direct mechanical property validation. Convolutional attention achieved superior performance with $R^2 = 0.91$ correlation between target and simulated Ultimate Tensile Strength (UTS) values, with attention map analysis revealing effective capture of local sequence dependencies critical for β-sheet formation. This research establishes a foundation for data-driven design of protein-based materials with programmable mechanical performance.

[P12B-5]

Utilizing Latent Feature Embedding for Accurate OOD Energy Prediction in Machine Learning Potentials: Jo Kwanghyeon, Chang Woo Myung*(SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY)

Keywords: Machine Learning Potentials (MLP), Latent Feature Embedding, UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection)

In this study, we address the challenge of enhancing the reliability of Machine Learning Potentials (MLPs) by effectively distinguishing between in-distribution (ID) and out-of-distribution (OOD) data, and correcting the significant energy prediction errors arising from unseen classes not included in the training set. We propose a novel methodology that leverages latent feature vectors extracted from the MLP model, combined with Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP) to visualize and cluster data in a reduced-dimensional latent space. This approach enables clear separation of ID and OOD data distributions, facilitating robust identification of OOD samples. Building on this latent space representation, we develop an error correction framework aimed at mitigating large energy prediction deviations associated with OOD inputs. Experimental results demonstrate that our combined latent representation and visualization strategy significantly improves the detection of OOD data and enhances the accuracy of corresponding energy predictions. This work provides a valuable framework for advancing the interpretability and generalization performance of MLPs, with broad implications for uncertainty quantification and error mitigation in molecular simulations.

[P12B-6]

Exploring Direct Electrochemical Fischer-Tropsch Synthesis of C1-C7 Hydrocarbons via Perimeter Engineering of Au-SrTiO3 Catalyst: Sim Gi Beom, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

Keywords: Au/SrTiO3, Electrochemical CO2 reduction, Fischer-Tropsch synthesis, Density functional theory, Machine learning global optimization

Traditionally, Fischer-Tropsch (FT) synthesis is performed using thermal catalyst and syngas (CO and H2) under high-pressure and high-temperature conditions to produce hydrocarbons. However, this study introduces an approach that relies on the electrochemical (EC) FT synthesis under ambient conditions. A series of CnH2n+2, CnH2n hydrocarbons (n=1-7) was successfully produced over Au nanoparticle-loaded strontium titanate (SrTiO3) nanostructures grown on rutile (TiO2) supported on Ti. Theoretically, to identify the optimal geometry of supported Au nanoparticles on the perovskite SrTiO3 system and its catalytic active sites, we use a global optimization method that leverages an on-the-fly surrogate Gaussian process regression model and an evolutionary algorithm. This method allows for an effective exploration of the complex energy landscape, identifying low-energy structures. The robust combination of experimental and computational findings reveals that optimum conditions and mechanisms for producing surface hydrogenation and C-C coupling polymerization, initiated by surface *CO and *H, are achieved by controlling the undercoordinated Au at the perimeter sites of supported Au nanoparticles. This EC-FT process opens a promising avenue for the direct conversion of CO2 and H2O into value-added long-chain hydrocarbons.

[P12B-7]

Rational Design of Highly Selective Electrocatalyst for Chlorine Evolution Reaction via Heteroatom Incorporation: A DFT Study: Ko myeongbum, Hyeyoung Shin*(Chungnam National University)

Keywords: Electrocatalyst, Chlorine evolution reaction (CER), Density functional theory (DFT)

Chlorine (Cl_2) is one of the most important commodity for the chemical industry. It plays a critical role in a broad range of fields, including the synthesis of chemicals, polymers, and pharmaceuticals. Most Cl_2 is currently produced via the chlorine evolution reaction (CER) at the anode of chlor-alkali electrolyzers. As CER electrocatalysts, rutile-metal oxides (IrO_2, RuO_2) have been widely recognized in the last decades. However, their practical application is often hindered by poor selectivity due to the competing oxygen evolution reaction (OER). This selectivity issue not only reduces the efficiency of chlorine production but also leads to costly purification of the Cl_2/O_2 product mixture. To address this issue, we investigated heteroatom incorporation onto rutile-metal oxides as a strategy to enhance CER activity. Through density functional theory (DFT) calculations, we firstly identified the most stable surface structures as a function of pH and potential, which allowed us to determine the relevant CER intermediates under our conditions. Based on these results, we examined the most thermodynamically favorable reaction pathways and further analyzed how heteroatom incorporation modifies the surface oxidation state, thereby facilitating CER. Our findings underscore the importance of defining oxidation states under electrochemical conditions to elucidate the reaction mechanism and provide valuable insights for the rational design of high-performance of CER electrocatalysts.

[P12B-8]

Multi-GPU Machine Learning Interatomic Potential Development for Large-scale Molecular Dynamics Simulation: Choi Won Woong, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

Keywords: Molecular Dynamics, Machine Learning Potential, Perovskite, Density Functional Theory

Large-scale atomic simulations are essential to bridge computational materials science and chemistry to realistic applications in materials discovery and engineering. In recent years, the rapid development of Machine Learning Interatomic Potentials (MLIPs) has offered a powerful solution to scale up quantum mechanical calculations. However, further extending these simulation scales to address complex, real-world system needs efficient parallelization of MLIP inference across multiple devices, which remains a significant challenge. In this work, we present an efficient approach for performing large-scale molecular dynamics simulations using Restratified Atomic Cluster Expansion (RACE) MLIP, our in-house developed machine learning interatomic potential. Our method leverages the well-established spatial partitioning scheme for parallelizing atomistic simulations, made efficient through a dedicated and robust interface with the LAMMPS simulation package. This integration allows RACE to seamlessly utilize LAMMPS's powerful multi-GPU capabilities and extensive functionalities. Our results show that RACE, when combined with multi-GPU spatial partitioning via LAMMPS, can effectively perform more than thousands atomic system simulations within the scale of a few seconds on multiple GPUs, retaining quantum mechanical accuracy. This work contributes to bridging the gap between high-fidelity first-principles calculations and the unprecedented scales required for accelerated materials and chemical discovery.

[P12B-9]

Combined DFT and machine learning investigation of hydrogen storage behavior in C14 type high-entropy alloys: Seo-Hui Park(Inha University), Won-Seok Ko*(Korea University)

Keywords: High-entropy alloys, $TiMn_2$, Hydrogen storage alloys, Density functional theory, Machine learning.

Hydrogen storage in C14 type (AB_2 Laves structures) high-entropy alloys (HEAs) presents a promising solution to facilitate the hydrogen economy. Although the C14 type HEAs enable hydrogen storage and release near the ambient condition through compositional adjustments, trial-and-error tuning the complexity of HEAs is highly challenging. Here, we aim to realize the optimization of composition by combining first-principles density functional theory (DFT) calculations and machine learning (ML) techniques. Especially, we aim to develop hydrogen storage alloys with enhanced hydrogen storage capabilities and tailored absorption/desorption properties by realizing an effective computational methodology to accelerate alloy development processes. DFT calculations analyze the specific influence of constituent elements on critical properties of hydrogen storage alloys. In particular, the site preference of each alloying element in stoichiometric and off-stoichiometric Ti-rich and Mn-rich C14 Laves-type $TiMn_2$-based compounds was clarified by considering possible antisite defects. Based on the revealed site preference, the effect of the alloying elements on the reaction enthalpy of the $TiMn_2H_3$ hydride is examined to reveal the qualitative trend regarding the location of the hydrogen plateau pressures in the pressure–composition–temperature (PCT) curve, and the predictions are validated by comparing them to reported experimental trends. To provide further criteria for alloy design, the effects of solute elements on the dilatation of hydrogen storage alloys caused by the hydrogenation reaction, which is a crucial factor considered for the practical usage of hydrogen storage alloys, were calculated. Furthermore, we obtained qualitatively valid information on the specific compositional effect, e.g., hydrogenation reaction enthalpy and dilatation of alloys with specific compositions, using special quasi-random structures (SQS) that accurately represent the disordered solid solution nature of multi-principal element alloys. Machine learning techniques are further used to reduce the computational costs and time constraints inherent to extensive DFT calculations, allowing for more efficient exploration of

compositional space. Machine learning models trained on DFT-derived datasets predict hydrogen storage properties across different alloy compositions, focusing on qualitative predictions of plateau pressure trends rather than precise quantitative values.

[P12B-10] Canceled

A Sparse Bayesian Committee Machine Potential for Oxygen-Containing Organic Compounds: Kim Seungwon, Myung Chang woo*(Sungkyunkwan University)

Keywords: Computational Chemistry, Machine learning Potential, robust Bayesian Committee Machine

Accurate and scalable interatomic potentials are essential for understanding material properties at the atomic level; however, steep computational demands often limit their application. Although recent advances in machine learning (ML) potentials have been significant, extending kernel-based models to accommodate a broad range of chemical compositions remains a major challenge. Here, we present the active robust Bayesian Committee Machine (RBCM) potential, specifically designed to handle extensive datasets encompassing hydrocarbons (in gas, cluster, liquid, and solid phases) and eight families of oxygen-containing organic compounds. By employing a committee-based approach, the RBCM circumvents the poor scaling inherent to kernel regressors, facilitating straightforward and cost-effective model expansion. Systematic benchmarking demonstrates its robustness in accurately describing complex processes such as the Diels–Alder reaction, structural strain effects, and π–π interactions. These results highlight the RBCM's potential as a powerful tool for developing universal, ab initio-level ML potentials that offer both transferability and scalability across diverse chemical systems.

[P12B-11]

Integrated Phase Field Modeling & Active Learning for Ferroelectric HZO: 방진현, 슈가탄 산디프, 차필령*(국민대학교)

Keywords: 능동 학습(Active Learning), 가우시안 프로세스 회귀(GPR), Phase-Field Model, 란다우 계수(Landau Coefficients), CUDA

정확한 물리적 예측을 제공하는 CUDA 기반 Phase-Field Model 시뮬레이션은 최적의 란다우(Landau) 계수를 결정하는 데 필수적이지만, 파라미터 공간을 모두 탐색하기에는 막대한 계산 비용이 소요되는 한계가 있습니다. 기존의 무작위 탐색이나 격자 탐색 방식은 비효율적인 시뮬레이션을 반복하여 시간과 자원을 낭비하는 문제가 있습니다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 지능형 탐색을 수행하는 Python 컨트롤러와 고성능 CUDA 시뮬레이터를 연동한 하이브리드 액티브 러닝 프레임워크를 개발하였습니다. 이 시스템은 가우시안 프로세스 회귀(GPR) 대리 모델을 통해 기존 시뮬레이션 데이터로부터 란다우 계수와 목적 함수(object fuction) 사이의 관계를 학습합니다. 이후, 학습된 모델을 바탕으로 UCB(Upper Confidence Bound) 획득 함수가 실험값과의 오차를 최소화할 가능성이 가장 높은 다음 란다우 계수를 지능적으로 추천하고, 이 값을 CUDA 시뮬레이터에 전달하여 검증하는 순환 구조를 가집니다. 이 지능적 탐색 루프를 통해 고비용 시뮬레이션의 호출 횟수를 획기적으로 줄여, 란다우 계수 최적화 과정을 가속하고 자동화할 수 있음을 보였습니다.

[P12B-12]

PEGDE 개질제 및 이온성 액체를 활용한 Electrochemically Debondable Adhesives (EDA) 에폭시 시스템의 전산 시뮬레이션 연구: 박유진, 윤태영(국립창원대학교)

Keywords: 폴리머, 에폭시, DOD, PEGDE, EDA

전자제품과 전기차 산업에서는 부품의 분해·재활용 용이성이 중요한 과제로 부상하고 있다. 특히 고가이며 환경 부담이 큰 배터리 모듈의 경우, 평상시에는 높은 접착력을 유지하면서도 외부 전기적 자극에 의해 요구 시 분리가 가능한 Electrochemically Debondable Adhesives (EDA), 즉 Debond-on-Demand(DOD) 접착제의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 분자동역학(MD) 시뮬레이션을 통해 전기장 인가 시 탈착 가능한 에폭시 접착제의 최적 조성을 탐색하였다. 모델은 에폭시 수지(DGEBA), 아민계 경화제(mPDA), 개질제(PEG 또는 PEGDE), 그리고 이온성 액체(EMIM-TFSI 또는 BMIM-TFSI)로 구성하였다. PEGDE는 에폭시 작용기를 추가로 포함하여 가교결합 수를 증가시켜 접착 강도를 강화할 뿐 아니라, 이온성 액체(ILs)가 뭉치지 않고 매트릭스 내부에 균일하게 분산되도록 하여 이온 전도 경로를 형성하고 전기 자극 하에서의 이온 이동성을 향상시킨다. 총 4가지 조합(PEG–EMIM, PEG–BMIM, PEGDE–EMIM, PEGDE–BMIM)에 대해 COMPASSIII force field 기반의 MD 시뮬레이션을 수행하였으며, 가교결합은 공식 xlink.pl 스크립트를 사용한 거리 기반 방법으로 진행하였다. 353 K에서 60% 가교율을 목표로 하고 GO–NVT–NPT 앙상블 조건에서 각각 100 ps씩 안정화를 수행하였다. 전체 조성은 에폭시 수지:경화제:개질제:이온성 액체 = 35:35:15:15로 설정하였다. 전단 시뮬레이션 결과, PEGDE 사용 시 PEG 대비 전단강도가 높았으며, 이는 추가 가교결합 형성과 IL의 균일 분산에 기인한다. 이온전도도 분석에서는 EMIM–TFSI가 BMIM–TFSI보다 우수하여, 전기장 하에서 빠른 탈착 반응이 가능할 것으로 예측된다. 본 연구는 PEGDE와 이온성 액체를 결합하여 기계적·전기적 성능 및 IL 분산성을 동시에 향상시킨 EDA 시스템의 전산 모사 사례로, 향후 지속 가능한 접착제 설계와 전기차 배터리 모듈 분해 기술에 기여할 수 있다.

[P12B-13]

Development of a Methodology to Improve the Accuracy and Training Efficiency of First-Principles Machine Learning Potentials via Direct Force Pre-Training: LEE WONHO, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

Keywords: Machine Learning potential, Direct force prediction, Methodology of Pre-training

Machine learning interatomic potentials (MLIPs) have emerged as a promising alternative that can retain quantum-mechanical

accuracy while significantly improving computational efficiency. Most existing GNN-based MLIPs derive forces conservatively from predicted energies via differentiation, as direct force regression using neural networks has been considered unfavorable due to energy drift and violations of physical laws. However, recent studies suggest that direct force prediction can be effective when employed as a pre-training stage for the main learning process. Here, we propose an E(3)-equivariant neural network architecture that incorporates a pre-training phase in which forces are directly predicted by the GNN, together with a criterion for the optimal switching point. By jointly regressing energies, forces, (and stresses), our model reduces reliance on autograd differentiation and accelerates convergence. The proposed model achieved up to 20% lower training loss per epoch compared to fully autograd-based counterparts under identical datasets and conditions, with the best performance typically observed when the pre-training phase lasted around 50 epochs.This suggests that regression on physical quantities linked by underlying physical relationships can positively influence parameter updates for the regression of other related quantities. This approach enhances both the accuracy and training efficiency of MLIPs, thereby broadening their applicability to large-scale datasets and complex chemical and materials systems, and may contribute to the development of next-generation general-purpose machine learning potentials.

[P12B-14]

A Bayesian Committee Machine-based Force Field for Organic Nitrogen Compounds: Park Hyun Gyu, Chang Woo Myung*(SungKyunKwan Univ.)

Keywords: Machine Learning Potential, Gaussian Process Regression, Organic material

Large-scale simulations of atomic systems play a vital role in fields including chemistry, materials science, and more. However, they often struggle with efficiency due to high computational costs. To overcome this, machine learning force fields (MLFFs) have emerged as a promising alternative, providing accuracy comparable to density functional theory (DFT) while lowering costs. Nonetheless, variations in potential energy based on atomic environments make it challenging to apply kernel-based models across different compounds. To address this issue, we present a MLFF using the Robust Bayesian Committee Machine (RBCM) for various compounds containing carbon, nitrogen, and hydrogen (C–N–H). The MLFF is trained with first-principles calculations and molecular dynamics simulations of various C–N–H molecules. Testing these models with longer amine structures and two Diels-Alder reactions shows excellent agreement with DFT results, demonstrating that machine learning models accurately predict potential energy surfaces of organic molecules and offer opportunity for studying a wide range of C-N-H compounds.

[P12B-15]

Development of a Bayesian E(3)-Equivariant Ab Initio Interatomic Potential: Park Taehyeon, Chang Woo Myung*(Sungkyunkwan Univ.)

Keywords: Machine Learning Potential, Bayesian Neural Network, Uncertainty Quantification, E(3)-Equivariance

Machine learning potentials (MLPs) have emerged as a key tool in large-scale atomistic simulations, offering ab initio-level accuracy with greatly improved computational efficiency. However, existing MLPs still face persistent challenges in predictive uncertainty quantification, active learning, and out-of-distribution (OOD) detection. To address these issues, we propose the Restratified Atomic Cluster Expansion (RACE), a novel E(3)-equivariant architecture that employs iterative restratification of many-body message passing. We further introduce a Bayesian framework with a newly developed loss function, Joint Energy–Force Negative Log-Likelihood (JEF–NLL), which explicitly accounts for uncertainty in both energies and interatomic forces to enhance prediction reliability. Our Bayesian MLP demonstrates improved predictive accuracy over conventional loss-based models and shows superior capability in detecting configurations outside the training domain. By ensuring a strong correlation between predicted uncertainties and actual errors, the model enables effective identification of out-of-distribution atomic structures. Active learning experiments reveal that uncertainty-guided data selection—considering both energy and force uncertainties—consistently outperforms random selection under the same data budget, achieving comparable accuracy with roughly half the data. These findings highlight the potential of combining Bayesian and equivariant frameworks to simultaneously improve the reliability and efficiency of material simulations, paving the way toward robust modeling across diverse chemical compositions and complex material systems.

[P12B-16]

CoCrCuFeNi 고엔트로피 합금의 조성 변화에 따른 He 버블이 기계적 물성에 미치는 영향: 문찬혁*, 윤태영*(국립창원대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금(HEA), CoCrCuFeNi, 헬륨 버블(He bubble), 방사선 저항성, 분자동역학(MD)

고엔트로피 합금(HEA)은 느린 확산 속도와 우수한 결함 재결합 특성으로 인해 방사선 저항성 소재로 주목받고 있다. 그러나 대표 조성인 CoCrCuFeNi 합금 내에서 방사선 조사로 인해 형성되는 헬륨(He) 버블이 기계적 물성에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. HEA의 원자적 거동을 규명하기 위한 대표적인 접근 방법 중 하나는 분자동역학(MD) 시뮬레이션이다. MD 시뮬레이션은 원자 수준에서의 상호작용을 분석하여 He 버블 형성이 합금의 안정성과 기계적 특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 강력한 도구이다. 이를 통해 조성 변화가 손상 메커니즘에 미치는 차이를 체계적으로 확인할 수 있다. 본 연구에서는 CoCrCuFeNi계 HEA의 원소 조성 비율을 달리한 모델에 동일한 위치에 He 버블을 삽입하고, 고온 압축 조건에서 MD 시뮬레이션을 수행하여 응력–변형 거동, 전위 밀도 변화 및 국부적 변형 집중 현상을 분석하였다. 또한 균열이 존재하는 모델을 대상으로 He

버블이 균열 성장에 미치는 영향을 규명하였다. 본 연구는 조성비 변화에 따른 He 유래 손상 거동을 정량적으로 분석함으로써, 방사선 환경에 최적화된 고엔트로피 합금 설계 전략의 가능성을 제시한다

[P12B-17]

Surface-Modified Tin Oxide for Enhanced Chlorine Evolution with the Suppressed Competing Reaction: A DFT Study: Jaecheon Kim, Nhi Thi Yen Phan, Hyeyoung Shin*(Chungnam National Univ.)

Keywords: Surface modification, tin oxide, surface Pourbaix diagram, chlorine evolution reaction, oxygen evolution reaction, density functional theory

Various industrial applications require chlorine, and the chlor-alkali process is a widely used production method for chlorine feedstocks. However, this process suffers from low selectivity due to the competing oxygen evolution reaction (OER). Historically, dimensionally stable anodes (DSAs), mainly metal oxides such as IrO_2 and RuO_2, were used for electrochemical chlorine evolution reaction (CER) due to their excellent activities. Nevertheless, these materials are expensive and exhibit high activity toward OER, which reduces CER selectivity. To overcome these limitations, tin oxide (SnO_2) has emerged as a promising alternative with advantages such as lower cost and improved stability. However, it still faces the fundamental challenge of low CER selectivity against the competing reaction. In this work, we used density functional theory (DFT) to investigate the effect of a strategic surface modification on SnO_2. Using DFT calculation data, surface Pourbaix diagrams to determine thermodynamically dominant surface configurations and reaction free energy diagrams based on these configurations for both surface-modified and unmodified SnO_2 were constructed. Our analysis revealed a lowered CER energy barrier and enhanced selectivity on the modified SnO_2 surface through OER suppression compared to the unmodified counterpart. These findings provide valuable insights for designing efficient and cost-effective catalysts for chlorine production.

[P12B-18]

확장된 Born-Haber Cycle과 열역학 데이터베이스를 이용한 다상 합금의 전기화학적 전위 맵핑 및 갈바닉 부식 예측: 김도현, 차필령* (국민대학교)

Keywords: 금속, 부식, 전기화학전위

다상 합금의 갈바닉 부식은 미세조직을 이루는 상 간의 전기화학적 전위 차이에 의해 지배되므로, 미세조직 내부의 전기화학적 전위를 예측하는 것은 내식성 소재 개발에 있어 핵심 과제이다. 본 연구에서는 확장된 Born-Haber cycle과 열역학 데이터베이스를 연계하여, 미세조직 내 각 상의 국부 조성에 따른 전기화학전위를 정량적으로 예측하는 계산 모델을 제안한다. 이를 통해 Phase Field Modeling으로 계산된 상 및 조성 정보를 활용하여 2차원 전기화학전위를 계산하여 매핑하였다. Mg-Ca-Zn 및 Al-Si 합금계에 적용한 결과, 계산된 전위는 SKPFM과 SECM으로 측정한 실험값과 정성적, 정량적으로 높은 일치도를 보였다. 따라서, 제안된 모델은 합금의 국부 부식 거동을 예측하고, 이를 바탕으로 내식성이 향상된 합금을 효율적으로 설계하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P12B-19]

공정 조건에 따른 박막 내 다결정 미세구조 진화의 상장 시뮬레이션 : 최다은, 이환욱, 권용우*(홍익대학교)

Keywords: 결정화, 결정립, 미세구조

현대의 반도체 소자는 점점 더 복잡한 구조와 3D 적층으로 진화하고 있다. 이때 미세 구조적 특징을 제어하는 것은 소자 성능과 신뢰성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 집적 회로 제작에 매우 중요하다. 특히 그레인 경계는 전자 운송을 방해하거나 누설 경로로 작용할 수 있다. 이에 우리는 다양한 공정 조건에서 박막의 증착 프로파일과 미세 구조 진화를 시뮬레이션할 수 있는 상장 모델을 개발했다. 우리 모델은 유한 차분 방법을 사용하여 자체 C++ 코드로 가스 수송, 증착, 결정화를 설명하는 편미분 방정식을 통합시켰다. 특히, 이 모델은 두 가지 뚜렷한 핵 생성 개념을 구현할 수 있다. 하나는 기판 표면에 비정질 고체를 형성하는 고결화이고, 다른 하나는 비정질 매트릭스 내에서 결정질을 형성하는 결정화이다. 이는 증착 중에 결정화되는 물질과 열처리 이후에도 비정질로 남아 있는 물질을 시뮬레이션 가능하게 한다. 고결화와 결정화 사이의 경쟁은 재료 특성과 공정 조건에 따라 박막이 비정질인지, 결정질인지, 부분 결정질인지를 결정한다. 요약하면, 우리의 상장 모델은 박막에서 결정립 경계의 형성을 예측할 수 있으며, 이는 성능과 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 향후에는 이방성 및 응력 효과를 통합하여 모델을 확장하고 결정 방향성과 결함 형성을 예측할 예정이다.

[P12B-20]

Defect dynamics modeling of mesoscale plasticity: KYEOGMI YEON, JUNHO SEONG, ILL RYU*(서울대학교)

Keywords: Dislocation dynamics (DD), Finite element method (FEM), Multiscale modeling, Small scale plasticity, Size-dependency, Defect Dynamics

Plastic deformation in crystalline metals is governed by the motion and interaction of dislocations. In recent years, understanding size-dependent behavior at the small scale has become increasingly important, as mechanical responses often deviate significantly from bulk predictions. To capture such mechanisms at the microscale, we employ a defect dynamics modeling(DDM) framework that directly couples discrete dislocation dynamics (DD) with the finite element method (FEM). This concurrent scheme allows us to integrate the strength of DD in simulating dislocation behavior with the capacity of FEM to handle larger scales, boundary conditions, and loading

modes. Our model accurately accounts for both short and long-range elastic interactions, while improving computational efficiency compared to conventional DD simulations. By implementing an atomistically informed dislocation nucleation scheme, we can directly investigate defect initiation from voids, cracks, and surfaces under complex stress states. In addition, the framework incorporates plastic strain regularization and crystal rotation effects to ensure physical consistency across scales. Validation against analytical solutions and traditional DD confirms the accuracy of stress and interaction force calculations. Example applications, including micropillar compression, torsion, and void growth, demonstrate the predictive capability of the coupled model. Overall, this work provides a unified computational approach to explore small-scale damage evolution, bridging dislocation mechanisms with continuum-level constitutive responses.

[P12B-21]

CNT Alignment Using the Dimensionally Limited Self-Alignment (DLSA) Process: MD and DPD Study: EOM SANGMIN, SHIN YEHYUN, KWON JIMIN*, KIM BYUNGJO*(UNIST)

Keywords: Molecular Dynamics(MD), Dissipative Particle Dynamics(DPD), Multiscale Simulation, CNFET, DLSA

High-performance carbon nanotube field-effect transistors (CNFETs) require semiconducting CNT arrays with both high density and precise alignment. To meet this requirement, the dimensionally limited self-alignment (DLSA) process has been highlighted as an efficient and scalable assembly strategy for producing wafer-scale aligned CNTs. In this study, we performed molecular dynamics (MD) and dissipative particle dynamics (DPD) simulations to elucidate the underlying mechanisms of CNT alignment during DLSA process. MD simulations systematically investigated the effects of upper and lower liquid combinations, mixed-zone formation, CNT bundling, and temperature on interfacial behavior. Additionally, DPD simulations parameterized by solubility parameters revealed the spontaneous emergence of liquid-crystalline ordering of CNTs at the liquid-liquid interface, reflecting bottom-up multiscale simulation. These results provide particle-level insights into how interfacial interactions and thermodynamic conditions govern CNT alignment, thereby offering design principles for optimizing DLSA-based fabrication strategies of aligned CNT structures for next-generation integrated circuits (ICs).

[P12B-22]

High-Temperature Interfacial Behavior of $Li_{13}Si_4$ Anodes with Molten Salt Electrolytes: Junghun Bae, Heonjae Jeong*(Sogang University)

Keywords: Key Words : $Li_{13}Si_4$ anode, molten-salt electrolyte, thermal battery

$Li_{13}Si_4$ exhibits a high theoretical specific capacity of 3, 101 mAh g^{-1}, and molten salts such as LiF, LiCl, LiBr, and KCl are widely employed as electrolytes in thermal batteries. However, interfacial reactivity and thermodynamic stability at the $Li_{13}Si_4$-LiF, $Li_{13}Si_4$-LiCl, $Li_{13}Si_4$-LiBr, and $Li_{133}Si_4$-KCl interfaces remain poorly studied, especially under high-temperature conditions. In this work, we performed first-principles ab initio molecular dynamics simulations to evaluate time-resolved changes in interfacial reactivity and stability. Specifically, interfacial energies, work of adhesion, charge transfer across interfaces, and bond-length characteristics were systematically analyzed. Our results indicate that among the studied electrolytes, the $Li_{13}Si_4$-KCl interface exhibits the lowest interfacial energy, suggesting it is the most thermodynamically stable, whereas the $Li_{13}Si_4$-LiF interface exhibits the highest interfacial energy, making it the least stable. From an anion-centric perspective, interfacial energies consistently followed the trend KCl < LiCl both at initial and final states. Meanwhile, from a cation-centric perspective, interfacial energies evolved from LiCl < LiF < LiBr initially to LiCl < LiBr < LiF after equilibration. Radial distribution function (RDF) analysis further supported these trends, confirming the relative interfacial stability order as LiF < LiBr < LiCl < KCl. Although Li-F bonding at the $Li_{13}Si_4$-LiF interface and Li-Cl bonding at the $Li_{13}Si_4$-KCl interface were identified, no significant chemical byproducts such as LiF clusters or Li_2F_2 were observed. Indeed, across all four molten-salt systems, the interfaces exhibited limited reactivity, characterized primarily by bond rearrangements rather than extensive chemical reactions. This study contributes to a deeper understanding of high-temperature electrode-electrolyte interactions and is expected to guide the rational design of stable and efficient thermal battery interfaces.

[P12B-23]

Predicting Interfacial Stability of Molten-salt electrolyte/FeF3 Cathode: Myeongjae Heo, Heonjae Jeong*(Sogang University)

Keywords: Interfacial degradation, Thermal battery, Molten-salt electrolyte, FeF3 cathode

Molten-salt electrolytes have traditionally been used in thermal batteries due to their higher ionic conductivities, specific capacities, and energy densities. However, most studies have been experimental, leaving the mechanisms of performance degradation and interfacial stability underexplored-especially regarding interfacial reactivity, wettability, and thermal stability. In this study, we investigate the interfacial behavior of four molten-salt electrolytes (LiF, LiCl, LiBr, and KCl) in contact with an FeF3 cathode using first-principles calculations. Simulations were performed at room temperature (25 ºC) and elevated temperature (500 ºC), and key interfacial properties-formation energy, work of adhesion, spreading coefficient, contact angle, and bader charge transfer- were evaluated to assess thermal and chemical stability. Charge transfer increased at higher temperatures, suggesting the thermal activation of redox reactions. Among Li-based salts, the trend was LiF < LiCl < LiBr, while LiCl showed greater charge transfer than KCl despite

sharing the same anion. Between Cl-based salts, KCl exhibited better wettability than LiCl, likely due to its larger cation size, which limits anion depolarization and promotes direct anion-surface interactions. At room temperature, LiF maintained the highest structural stability but exhibited poor wettability and limited charge transfer. At 500 ºC, LiF showed improved wettability and retained a stable interface. In contrast, LiCl, LiBr, and KCl showed reactive interfaces at high temperature, where interfacial degradation was observed. Decomposition products included Cl-Cl or Br-Br bonded clusters and new Li-F bonds, driven by charge transfer and reactive wetting. These results suggest that LiF maintains structural and chemical integrity across temperatures, while the others are prone to degradation. These insights offer guidelines for electrolyte selection and interface engineering in high-performance thermal battery systems. Acknowledgement This work was supported by the Agency for Defense Development of the Korean Government [grant number UI247005TG]. We gratefully acknowledge the use of high-performance computing (HPC) resources, specifically the Nurion clusters, provided by the KISTI R&D Innovation-Support Program at the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI).

[P12B-24]

Resistance Variability in $Ge_2Sb_2Te_5$- vs. GeTe-Based Phase-Change Memories: A Multiphysics Simulation Study Incorporating Stochastic Nucleation: gim hyesu, Kim yechan, Kwon yongwoo*(Hongik univ)

Keywords: Phase-change memory (PCM), chacogenide, device simulation, phase-field model

Phase-change memory (PCM) is promising for next-generation nonvolatile memory thanks to its fast and reliable switching, scalability, and nonvolatility. PCM devices use chalcogenide glass that switches between resistive amorphous and conductive crystalline states, representing binary logic 0 and 1. Switching is achieved by electrical pulses: a short, high-power pulse leads to the amorphous state via melt-quench, that is, “reset, ” while a longer, moderate-power pulse leads to the crystalline state via annealing, that is, “set.” The stochastic nature of nucleation introduces variability in the resistance change by switching pulses, which becomes increasingly significant as devices are scaled down. Notably, even during the reset operation for amorphization, some nucleation can occur due to the falling time of the reset pulse, resulting in partial crystallization and thus variability in the final device resistance. In this regard, we conducted a comparative analysis of resistance variability in PCM devices based on $Ge_2Sb_2Te_5$(GST) and GeTe (GT) materials, which are known for their nucleation-dominant and growth-dominant crystallization kinetics, respectively. Using multiphysics simulations that integrate electrothermal and phase-field models with stochastic nucleation, we systematically evaluate the reset resistance distributions for both self-heating (SH) and heater-based (HB) cell architectures at a 20 nm scale. By performing 100 simulations for each combination of material and architecture, we obtain cumulative resistance distributions and assess the impact of material choice and device design on resistance variability.

[P12B-25]

Intergrated phase-field simulation of thin-film growth and crystallization: hwanwook lee, yongwoo kwon*(Hongik univ)

Keywords: polysilicon, phase-field method, grain growth

Recently commercialized semiconductor devices are mostly thin films deposited on nonplanar substrates. Examples include HfO_2, a high-k dielectric material used in FinFETs and MBC-FETs; the channels and ONO layers in V-NAND; and capacitors in DRAM. To ensure sufficient on-current, the deposition profile and microstructure of these films—including grain structure and surface morphology—must be carefully engineered. In particular, achieving conformal deposition inside high-aspect-ratio features is critical. Therefore, process modeling should precede device simulation to evaluate how the deposition profile and microstructure influence device performance through TCAD or FEM. We have developed a phase-field model (PFM) code for simulating thin-film growth. The model consists of three phases: the substrate, the deposited film, and the surrounding gas. The film is further divided into amorphous and crystalline regions, with the crystalline phase capable of containing multiple grains. Gas flux, surface reactions, and surface diffusion are incorporated as process parameters. By tuning these parameters, different deposition outcomes can be obtained, enabling evaluation of film conformality and prediction of the resulting microstructure. This allows for more accurate prediction of thin-film formation during deposition processes. In this presentation, we will demonstrate our PFM-based thin-film simulations along with examples of process optimization. We will introduce the integrated model that couples deposition and crystallization, and present future research directions through comparative case studies, including film conformality and nucleation rate on complex substrates.

[P12B-26]

Simulation of resistive switching phenomenon in filament-type RRAM using phase field and finite element method: Jung Dongmyung, Kwon Yongwoo*(Hongik Univ.)

Keywords: Resistive memory, Phase field, Finite element method

Resistive memory devices (RSRAMs) have attracted attention for their simpler structure, fast operation speed, and large data storage capacity compared to commercially available charge-based memories. The conductive filaments of RRAMs using metal oxide materials are generally known as aggregates of oxygen vacancies. During the electrical operation of metal oxide RRAMs, when a high electric field is applied to the insulator, the oxygen vacancies form conductive filaments. The LRS (low resistance state) refers to the case where the conductive filaments are connected to the upper and lower electrodes, while the HRS (high resistance state) refers to the case where

the conductive filaments are absent or cut. In other papers using finite element analysis, the initial state was a low resistance state with a defined or ideally assumed filament structure. In this study, we present a device simulation capable of demonstrating the entire switching cycle of RRAMs. Using finite element simulations, we defined the conductive filaments as one of the low-resistance stages. We performed a fully coupled simulation of the phase-field equations and the electrical and thermal governing equations. We examined the I-V curves and low-resistance characteristics of conductive filaments according to device structure conditions, and compared them for bipolar and unipolar operation. Furthermore, we were able to analyze a wide range of 3D device structures, including 3D vertical RRAM.

[P12B-27]

Order-disorder transition in 2D MC Potts model: II. Interfacial energy and critical nuclei size: Park MinSeong, Minguk Jang, Sukbin Lee*(Ulsan National Institute of Science and Technology)

Keywords: Potts model, Mean field approach, Surface energy, Nucleation theory, Critical nucleation size

The Potts model, often implemented through Monte Carlo simulations, has been widely used in order to investigate various microstructural phenomena in the materials science and engineering field, such as grain growth and recrystallization. While the model is easy to be implemented by tuning the a few internal parameters, it is notably limited by the fact that the model relies on reduced or non-scaled quantities, such as the ratio of the interaction energy to the simulation thermal energy, simulation time (MCS, Monte Carlo steps), etc., which makes it difficult to directly scale the simulation system to the real, physical system. Before one attempts to overcome this limitation, a deeper understanding on the intrinsic characteristics of the Potts model, such as the order-disorder transition, is necessary via a systematic parametric study. In this study, it is found that various thermodynamic quantities of the Potts model, such as entropy, free energy, interface energy and critical nuclei size, are obtained from the mean field theory. These quantities of the Potts model are found to be a very strong function of the total spin number in the system. The predicted critical nuclei size is verified using a Monte Carlo Potts simulation.

P13 : 마그넷
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P13-1]
네오디뮴 자석 리싸이클링: 홍석우, 노이준, 김세호*(고려대학교)
Keywords: 네오디뮴 자석, 갈륨, 리싸이클링
네오디뮴 자석(NdFeB magnet)은 현재 사용되고 있는 자석들 중에서 자성이 매우 뛰어나다는 장점과 낮은 가격으로 자동차, 가전기기, 풍력 발전, HDD 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용된다. 다만 네오디뮴 자석은 산화가 매우 쉽게 일어나서 대부분(90~95%)의 네오디뮴 자석은 Ni이 포함된 코팅(Ni 코팅, Ni-Cu-Ni 코팅)이 되어 있다. 따라서 네오디뮴 자석을 리싸이클링 하기 위해서는 표면의 코팅층을 제거해야 하는데 기존의 습식 방법은 자석을 전부 녹여서 니켈, 네오디뮴, 철 등을 따로 추출한 후 다시 자기장을 가하여 자석을 만든다. 이는 환원과 산화 두 과정을 모두 거쳐야 하므로 비효율적이다. 환경에 안 좋은 영향을 미치는 산(acid)을 이용한 방법 또한 표면의 Ni과 내부의 Fe 모두 녹일 수 있으므로 좋지 못하다. 게다가 이때 녹은 니켈과 철이 주기율표상으로 굉장히 가까우므로 산으로 니켈과 철을 따로 분리하기도 어렵다. 따라서 본 연구는 갈륨과 같은 액체금속을 이용하여 니켈과 구리를 갈륨과 금속화합물의 형태로 분리시키는 것이 목표이다. 이를 위해 네오디뮴 자석을 탈자화 시킨 후 표면을 가볍게 연마하고 액체 갈륨을 떨어뜨려 400°C에서 720분 열처리하였다. 이후 네오디뮴 자석의 코팅층과 갈륨의 반응으로 어떤 상이 만들어지는지 규명하기 위해 SEM 및 EBSD 분석을 진행하였다.

[P13-2]
Microstructural Optimization and Coercivity Enhancement in Nd-Ce-Fe-B Magnets through Grain boundary diffusion of Pr-La Mixed Alloy: Jang Ye Ryeong, Wooyoung Lee*(Yonsei University)
Keywords: Nd-Fe-B sintered magnet, Grain boundary diffusion process, chemically induced liquid film migration, light rare earth
We report on the magnetic and microstructural characteristics observed in Nd-Ce-Fe-B sintered magnets following grain boundary diffusion process (GBDP) with Pr-La-Cu-Ga alloys. The microstructural feature of the shell and grain boundary phase (GBP) in GBD treated with Pr-La-Cu-Ga and Pr-Cu-Ga were characterized via the electron probe microanalysis and high-angle annular dark-field scanning transmission electron microscopy analysis. Despite partial substitution of Pr with La, the magnets exhibited higher coercivity than those without substitution, showing an increase from 13.7 kOe (11.3kOe before heat treatment) to 20 kOe without the use of heavy rare earth (HRE) elements. The GBDP with Pr-containing alloys forms a high-anisotropy Pr-rich shell, enhancing coercivity; however, this shell formation also initiates chemically induced liquid film migration (CILFM), resulting in undesirable grain growth in the magnets, which restricts the improvement of coercivity. The formation of Pr-enriched thin RE-rich shell in Nd-Ce-Fe-B magnets with GBDP of Pr is more advantageous for enhancing coercivity. The RE concentration in the high-anisotropy RE-rich shell can be more effectively controlled by suppressing CILFM. It was confirmed that CILFM effectively suppressed using La due to its low solubility in the 2:14:1 phase. Using La with Pr as a source for the GBDP allows for preferential accumulation of La in the GBP, inhibiting the accumulation of Pr in the GBP and thus increasing the Pr concentration within the RE-rich shell. Consequently, utilization of La can be a solution to prevent undesirable grain growth caused by CILFM, increase the RE concentration in the shell, and potentially reduce the cost of the GBDP source.

[P13-3]
영구자석 소재의 미세구조 효과를 확인하기 위한 디지털 트윈 적용 전략: 김민규, 남충희*(한남대학교)
Keywords: 영구자석, 미세구조, 디지털 트윈, segmentation
새로운 조성을 가지는 NdFeB 계열 영구자석을 개발하기 위해서 경희토류를 사용한 연구가 최근 많이 진행되고 있다. 하지만 새로운 조성 개발과정에서 제1원리 계산결과와 미세구조효과가 포함된 3D 벌크소재의 특성간의 격차(gap)은 아직 난제로 남아 있으며, 보자력을 향상시키기 위한 핵심 연구주제와도 밀접한 관련이 있다. 최근 유럽과 일본의 그룹에서 디지털 트윈 접근 방식으로 신영구자석 설계와 미세구조 분석과 관련된 내용을 발표하였다. 본 연구에서는 디지털 트윈적용을 위해서 3D 벌크소재에 대한 구조 모델링이 필수적으로 필요하기 때문에 다음의 내용으로 진행하였다. 오픈소스 기반으로 주상, Nd-rich 상, 결정계면으로 이루어진 3차원 구조 모델링을 진행하였으며, 2차원으로 slicing하여 데이터를 합성하였다. 컴퓨터 비젼에서 활용되는 segmentation 기법을 적용하기 위해서 U-net 인공지능 모델을 활용하여 데이터기반 학습과 평가를 진행하였다. 이를 통해서 자동화된 segmentation을 통해서 시간을 줄이고 미세구조에 대한 정량적 데이터를 확복 할 수 있음을 확인하였다. 미세구조 디지털 트윈을 넘어서 소재 설계 전반의 디지털 트윈 전략을 향후 연구계획으로 하고 이와 관련된 내용을 논의하고자 한다.

[P13-4]
Influence of Thermal and Magnetic Properties According to the composition of Fe-P-C: Hayan Shin, Hyunkyung Lee, Haein Choi-Yim*(Sookmyung Women's University
Keywords: Soft magnetic, amorphous, electric vehicle, wireless charging pad material

As electric vehicles become increasingly commercialized, the study of magnetic materials used in charging pads, is becoming more important. Therefore, research on alloys that have high saturation magnetization and low coercivity simultaneously is required. In this study, Amorphous ribbons of each composition were fabricated via melt spinning. The amorphous structure was confirmed by X-ray diffraction (XRD), and a vibrating sample magnetometer (VSM) was used to identify the alloy with the highest saturation magnetization. Differential Scanning Calorimeter (DSC) was employed to evaluate thermal stability, comparing first and second crystallization temperature and ΔT_x(= T_{x2} - T_{x1}) of all alloys. The atomic percentages of Fe, P and C were adjusted, and the $Fe_{80}P_{8.5}C_{11.5}$ composition was selected based on magnetic properties analysis. This composition has the highest saturation magnetization (170.8 emu/g) and low coercivity (1.79 Oe). ΔT_x of $Fe_{80}P_{8.5}C_{11.5}$ is 71.48 °C which is the highest so the most stable.

[P13-5]

Investigation of Magnetic Property Enhancement by Incorporating Eutectic Alloys in Ce-Fe-B Hot-Deformed Magnets: Lee Kyungmi, Jang Ye Ryeong, Lee Wooyoung*(연세대학교)

Keywords: Permanent magnet, Hot-deformed

Due to increasing issues regarding the depletion and rising costs of heavy rare earth (HRE) elements, research on reducing HRE usage while maintaining high-performance permanent magnets has gained significant attention. As a result, light rare earth (LRE) elements, which are more abundant and cost-effective, have been widely explored as potential substitutes, with Ce being widely considered as a candidate. However, Ce-Fe-B alloys exhibit inferior magnetic properties compared to Nd-Fe-B due to the lower intrinsic performance of the 2:14:1 phase and the formation of the paramagnetic $CeFe_2$ phase, which adversely affects the overall magnetic properties. In this study, we aimed to enhance the magnetic properties of Ce-Fe-B-based magnets by producing fine-grained powders through the melt-spinning process, followed by hot deformation to develop anisotropic magnets. However, in Ce-Fe-B magnets, the formation of $CeFe_2$ secondary phases inhibited grain alignment, resulting in low remanence and discontinuous, weakly defined grain boundaries, leading to a decrease in coercivity. To address this issue, we fabricated (Ce, La)-Fe-B magnets by partially substituting Ce with La and further improved the magnetic properties by incorporating a eutectic alloy. The experimental results indicated that the Ce-Fe-B magnet exhibited minimal grain boundary formation after hot deformation due to the absence of a RE-rich phase. Additionally, the high concentration of $CeFe_2$ phases inhibited diffusion, limiting the improvement in magnetic properties even after eutectic alloy incorporation. In contrast, in (Ce, La)-Fe-B magnets, the decrease in Ce content inhibited the formation of the $CeFe_2$ phase, which enabled the formation of a RE-rich phase essential for grain boundary formation during hot deformation. Furthermore, eutectic alloy incorporation further inhibited $CeFe_2$ formation, promoted grain boundary formation, and enhanced texture alignment. As a result, the remanence and coercivity of the hot-deformed magnets were enhanced, achieving a maximum $(BH)_{max}$ in (Ce, La)-Fe-B magnets with a small amount of eutectic alloy incorporation.

[P13-6]

재료 압출식 3D 프린팅을 이용한 Ni-Zn 페라이트 연자성 코어 제조 및 자성 특성 평가: 이강현, 임태협, 김민종, Bayi Nelson M, 이선영*(한양대학교)

Keywords: Ni-Zn 페라이트, 재료 압출식 3D 프린팅, 연자성 코어, 자성 특성

우수한 연자성 특성과 높은 전기 저항률(10^6~10^{10} Ω·cm)을 가지며 상대적으로 저렴한 가격을 가지는 Ni-Zn 페라이트는, 고주파 전자기 소자, 무선 충전, 전자기파 차폐 등 다양한 응용 분야에서 활용 가능한 자성 세라믹 소재이다. 자성 재료 부품의 투자율과 손실 특성은 형상에 따라 달라지지만, 기존 압축 성형 공정은 금형 사용으로 인해 형상 자유도가 제한되어 복잡한 구조 구현이 어렵다. 이에 본 연구에서는 복잡한 형상의 연자성 코어 제조 가능성을 검증하기 위해 재료 압출식(Material Extrusion, MEX) 3D 프린팅 공정을 적용하여 Ni-Zn 페라이트 연자성 코어를 제조하였다. 이를 위해 Ni-Zn 페라이트 분말과 왁스계 바인더를 혼합하여 52 vol% 분말 장입량의 피드스톡을 제작하고, 토로이드 형상의 시편을 3D 프린팅한 후, 소결하였다. 제조한 Ni-Zn 페라이트 코어의 최대 밀도는 98.9%에 도달하였다. BH analyzer를 통해 투자율과 코어 손실 등 자성 특성을 평가하였으며, 0.1 T의 고정 자속 밀도 조건에서 10 kHz에서의 투자율은 1541, 철손(Core loss)은 5.8 W/kg로 측정되었다. 그 결과, MEX 방식으로 제조한 페라이트 코어는 동일 조성의 상용 페라이트 코어와 유사한 자성 특성을 나타냄을 확인하였다. 본 연구를 통해 MEX 3D 프린팅 공정의 자성 코어 제조 적용 가능성을 확인하였으며, 고주파용 연자성 소재의 형상 자유도를 확장할 수 있는 새로운 제조 기술로서의 가능성을 제시한다.

[P13-7]

Influence of Cu content on Thermal behavior and Magnetic Properties of Fe-based Amorphous Alloy: kim seongjun, Lee Juhyeok, Seong Jian, Seonghoon Yi*(Kyungpook National University)

Keywords: amorphous, soft magnet

Fe-based amorphous alloys are widely studied for their high saturation magnetization and low coercivity. In this study, the influence of Cu addition on their thermal and magnetic properties was investigated. Thermal analysis identified T_g, T_{x1} and T_{x2}, and magnetic characteristics were examined using a vibrating sample magnetometer. The addition of Cu decreased T_{x1}, facilitating α-Fe nanocrystallization, which resulted in lower coercivity and enhanced soft magnetic behavior. Moreover, superplasticity in the supercooled liquid region between T_g and T_{x1} is anticipated to enable the fabrication of high-density sintered materials.

[P13-8]

Effect of Heat Treatment Conditions on Cu Clustering and Magnetic Properties in Fe-Based Amorphous Alloys: Lee Jongil, Jeong Mingyo, Yi Seonghoon*(Kyungpook National University)

Keywords: Amorphous, Soft magnet, nanocrystallization

In Fe-based amorphous soft magnetic alloys, the grain size has a significant effect on the magnetic properties. Smaller grain size leads to lower coercivity and core loss. In this process, Cu forms clusters that act as heterogeneous nucleation sites, leading to grain refinement. In this study, we investigated the behavior of Cu clusters and the associated changes in magnetic properties under various heat treatment conditions, and identified the optimal heat treatment process. In this study, high-Fe-content alloys (Fe > 80 at%) were designed to achieve high magnetic flux density and Cu was added to improve magnetic properties by optimizing crystal grain size. Each ribbon was heat-treated under various conditions in an argon atmosphere. Their microstructural and magnetic properties at each heat treatment conditions were systematically analyzed using X-ray Diffraction (XRD), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Vibrating Sample Magnetometry (VSM) and DC loop tracer measurements. This study is expected to provide insights for optimizing the heat treatment process of Fe-based amorphous soft magnetic materials.

[P13-9]

방전 플라즈마 소결 변수 제어를 통한 $SmFe_{11}Ti$ 환원확산 분말의 소결 공정 최적화: 윤경식, 김정현, 전희연, 김현성(서울과학기술대학교), 이영인*(서울과학기술대학교, 분말기술연구소)

Keywords: $SmFe_{11}Ti$, 환원확산 공정, 방전 플라즈마 소결법

재생에너지와 친환경 운송수단 산업의 발달로 Nd 기반 고성능 영구자석의 수요가 증가함에 따라, 희토류 자원의 편재성과 향후 수요 초과로 인한 가격 및 공급 불안정성에 대응하기 위해 Nd 대체 및 희토류 저감형 영구자석 개발의 필요성이 대두되고 있다. 그중에서 $SmFe_{11}Ti$는 다른 희토류 영구자석에 비해 희토류 대비 Fe의 비율이 높아 희토류 저감 효과와 우수한 포화자화를 기대할 수 있으며, $SmFe_{11}Ti$의 강한 단축 자기결정학적 이방성으로 인해 이론적으로 높은 보자력을 구현할 잠재력을 지닌다. 이러한 장점에도 불구하고, 구조적 불안정성과 Sm의 높은 증기압으로 인해 소결 자석 제조에는 한계가 존재한다. 따라서 $SmFe_{1222}$계 초기 분말의 입도를 줄여 소결 구동력을 향상시키는 미세 분말 합성 공정과 Sm 손실 및 결정립 성장을 억제할 수 있는 소결 공정의 도입이 필요하다. 환원확산 공정은 산화물을 환원한 뒤 원소 간 확산 반응을 통해 합금을 제조하는 방식으로, 전구체 분말의 입도를 제어하여 미세한 $SmFe_{11}Ti$ 분말을 합성할 수 있다. 또한 방전 플라즈마 소결(SPS)법은 상압 소결과 달리 펄스 전류가 시편 내부를 직접 통과하며 빠른 열 전달을 가능하게 하고, 공정 중 인가되는 압력으로 소결 온도와 시간을 현저히 단축할 수 있다. 이러한 특성으로 SPS는 $SmFe_{11}Ti$의 상분해와 결정립 성장을 억제할 수 있으며, 환원확산 공정으로 합성한 분말에 적용함으로써 미세 결정립을 유지한 벌크 자석 제조가 가능하다. 본 연구에서는 환원확산 공정을 통해 평균 입도 약 2 μm의 미세 $SmFe_{11}Ti$ 분말을 합성하였으며, 소결 온도, 승온 속도와 인가 압력을 변수로 설정하여 소결 조건 최적화를 수행하였다. 소결 온도에 따른 거동 분석 결과, 치밀화에는 적절한 온도가 필요하며 과한 온도에선 상분해에 의한 밀도 저하가 발생한다. 빠른 승온 속도는 시편이 고온에 노출되는 시간을 감소시켜 Fe 상으로의 분해가 효과적으로 억제되었다. 또한, 인가 압력은 입자 간 충진율 향상 및 시편 내 기체 제거로 소결성을 개선하는 인자로 작용하였다. 결론적으로 소결 최적화를 통해 주상을 유지하는 결정립이 미세한 $SmFe_{11}Ti$ 소결체의 제조 가능성을 확인하였다.

[P13-10]

Optimization of Fe-Si-B Amorphous Soft Magnetic Alloys for EV Wireless Charging Pads Material: Kim Serin, Lee Hyunkyung, Choi-Yim Haein *(Sookmyung Women's University)

Keywords: Soft magnetic, Amorphous, Electric vehicle, Wireless charging pad material

Electric vehicles (EVs) have become a cornerstone of a sustainable and environmentally friendly future. Among emerging technologies, wireless charging—valued for its enhanced convenience and contactless energy transfer—has highlighted the need for high-strength, durable materials with outstanding magnetic properties. However, charging pad technologies based on ferrite materials are vulnerable to mechanical shock and are unsuitable for high-power charging systems. Therefore, there is a pressing need to develop soft magnetic materials with both high saturation magnetization (Bs) and low coercivity (Hc), while ensuring superior mechanical robustness. In this study, we aim to develop an Fe-Si-B-based amorphous soft magnetic alloy with both high saturation magnetization and low coercivity. The alloy composition was optimized based on thermodynamic parameters, including mixing enthalpy (ΔHmix), mixing entropy (ΔSmix), and atomic size mismatch (δ). Optimized alloys were fabricated into ribbons of 20 μm ± 5 μm thickness using the melt-spinning process. Thermal stability and crystallization behavior were assessed via differential scanning calorimetry (DSC). The magnetic properties were measured using a vibrating sample magnetometer (VSM), and phase identification was conducted by X-ray diffraction (XRD). Remarkably, the $Fe_{82}Si_2B_{16}$ ribbon demonstrates outstanding soft-magnetic properties with a coercivity of 1.80 Oe and a saturation magnetization of 176.6 emu/g. This work will contribute to advancing magnetic materials suitable for high-power and high-efficiency EV wireless charging systems.

[P13-11]

Magnetic Properties of Anisotropic Nd-Fe-B Sintered Magnets Fabricated by Spark Plasma Sintering and Internal Grain Boundary Diffusion: Kim Seong Chan(DGIST), Dong Hyun Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Jungwoo Ha(DGIST), Kyoung-Hoon Bae(R&D Center, Star Group Ind. Co.), Jong Wook Roh(Kyungpook National Univ.), Jong Tae Kim, Tae-Young Yun, Seok-Hwan Chung, Jeongmin Kim, Dong Hwan Kim*(DGIST)

Keywords: Nd-Fe-B sintered magnet, spark plasma sintering, grain boundary diffusion, coercivity, remanence

Grain boundary diffusion (GBD) is an effective approach to enhance the coercivity of Nd-Fe-B sintered magnets. In this process, heavy rare earth (HRE) elements such as Dy and Tb are coated on the magnet surface and subsequently diffused along grain boundaries through heat treatment, forming an $(Nd, Dy/Tb)_2Fe_{14}B$ core–shell structure that significantly enhances coercivity. However, conventional GBD is constrained by limited diffusion depth and non-uniform diffusion, which restricts its applicability to thicker magnets. In this study, high-density anisotropic Nd-Fe-B sintered magnets were fabricated by spark plasma sintering (SPS) after pre-pressing and magnetic alignment. Owing to the short sintering duration, SPS effectively suppresses grain growth but results in incomplete grain boundary formation. Post-sintering heat treatment promoted the development of continuous grain boundary phases, leading to a significant enhancement in coercivity. TbH_x was selected as the GBD diffusion source. For the internal GBD (i-GBD), Nd-Fe-B powder was uniformly mixed with TbH_x and then sintered by SPS. For comparison, conventional GBD (c-GBD) was applied to SPSed magnets. The diffusion source content was fixed at 1 wt.% for both magnets. The magnetic properties and microstructure of the i-GBD and c-GBD magnets were systematically analyzed. The results demonstrate that i-GBD enables more uniform and deeper diffusion of Tb, forming homogeneous core–shell structures throughout the magnet, and thus ensuring both enhanced coercivity and stable anisotropy.

[P13-12]

Development of High Saturation Magnetized Fe-P-B-Based Amorphous Soft Magnetic Alloys for Electric Vehicle Wireless Charging Pad Materials: Han Ingyeong, Lee Hyunkyung, Choi-Yim Haein*(Sookmyung Women's University)

Keywords: Soft magnetic, Amorphous, Electric vehicle, Wireless charging pad material

Amorphous alloys possess excellent soft magnetic properties, including high saturation magnetization, high permeability, and low coercivity, making them promising candidates as advanced magnetic materials for electric vehicle traction motors and wind turbine generators. In particular, they are gaining attention as core materials for wireless charging pads in electric vehicles, offering higher power transfer efficiency and superior mechanical strength compared to conventional ferrite materials. In this study, a Fe-P-B-based amorphous soft magnetic alloy was developed by optimizing the composition to improve both saturation magnetization and high-temperature stability. A uniform ribbon-shaped amorphous alloy with a width of 1.28–1.47 mm and a thickness of 24–27 μm was fabricated using the melt-spinning process. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the ribbon had a fully amorphous structure. Magnetic properties such as saturation magnetization and coercivity were measured using a vibrating sample magnetometer (VSM). As a result, the saturation magnetization reached up to 1.38 T, while the coercivity was as low as 1.7 Oe. Thermal properties of the alloy were analyzed by determining the crystallization temperature using a differential scanning calorimeter (DSC), confirming that the alloy exhibited excellent thermal stability, with a primary crystallization temperature above 455 °C. This result demonstrates promising potential for application in wireless charging pads for electric vehicles, especially when compared to conventional ferrite materials.

[P13-13]

Microstructural Optimization and Coercivity Enhancement in Nd–Fe–B Sintered Magnets through Two-Step Grain Boundary Diffusion of CuF_2 and Pr-Based HRE-Free Alloy: seongmin Choi, Ye Ryeong Jang, Wooyoung Lee*(Yonsei Univ.)

Keywords: Nd-Fe-B magnet, Grain Boundary Diffusion, HRE-Free Alloy

Microstructural Optimization and Coercivity Enhancement in Nd–Fe–B Sintered Magnets through Two-Step Grain Boundary Diffusion of CuF_2 and Pr-Based HRE-Free Alloy Seong Min Choi[1], Ye Ryeong Jang[1], Wooyoung Lee[1*] [1] Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Republic of Korea ABSTRACT Nd–Fe–B Sintered magnets are widely employed in traction motors for electric and hybrid vehicles as well as in wind power generators due to their outstanding magnetic performance. With the rapid advancement of magnetic applications, the demand for magnets with higher coercivity has increased significantly. The grain boundary diffusion process (GBDP) is an effective approach for coercivity enhancement, as RE-rich shells with high anisotropy fields form along grain boundaries and act as continuous barriers, providing an exchange-decoupling effect. Conventionally, heavy rare-earth (HRE) elements such as Dy and Tb have been introduced via diffusion alloys to achieve this effect. However, excessive use of HRE elements leads to supply instability due to their limited availability and significantly increases production costs. To address these challenges, HRE-free diffusion sources have been explored as a promising alternative, but their ability to achieve substantial coercivity gains remains limited compared with HRE-containing systems. In this study, we propose a two-step GBDP approach that combines CuF_2 with a Pr-based HRE-free alloy. In the first step, CuF_2 reacts with the RE-rich phase to form Nd–O–F compounds, lowering surface energy and suppressing RE depletion at triple junctions, thereby stabilizing the grain boundary

structure for subsequent diffusion. In the second step, the Pr-based alloy diffuses efficiently along these optimized paths, forming a continuous Pr-rich shell around $Nd_2Fe_{14}B$ grains. This combined strategy effectively enhances coercivity while maintaining remanence, demonstrating a viable pathway for high-performance Nd–Fe–B magnets without reliance on HRE elements.

[P13-14]

Optimization of magnetic properties in Nd-Fe-B sintered magnets through grain boundary diffusion using dry-coated Pr-LRE-Tb-Al-Cu alloys: Dong Hyun Lee, Seong Chan Kim, Hyeonjong Jeong, Ju-young Baek, Tae-Young Yun, Jong Tae Kim, Seok-Hwan Chung(DGIST), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee(R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh*(Kyungpook National Univ.), Dong Hwan Kim*, Jeongmin Kim*(DGIST)

Keywords: GBDP, Nd-Fe-B sintered magnet, Light rare-earth (LRE), Coercivity, Remanence

The Nd-Fe-B sintered magnets are widely used in various applications, including hard disk drives, magnetic sensors, wind power generators, high-efficiency air-conditioner compressors, and electric vehicle motors. The Nd-Fe-B sintered magnets have a high maximum energy product in room temperature. However, while applied at elevated temperatures, coercivity of magnets decreases causing performance deterioration. To achieve appropriate values of coercivity and performance at high temperatures, grain boundary diffusion process (GBDP) with heavy rare earth elements (HRE) is widely used. The limited supply and price surge of the HRE elements caused by the recent trade war inhibit the wide application of HRE. Accordingly, improving the magnetic properties of Nd-Fe-B magnets while reducing the amount of HREs has become a critical challenge. To achieve this, the GBDP requires improvements in the coating method to enhance the uniformity of the diffusion source distribution facilitating diffusion efficiency. Furthermore, improving the composition of the diffusion source to reduce HREs is emerging as another key research topic, receiving significant attention nowadays. In this study, we investigated the variation in magnetic properties according to the coating method for the optimization of GBDP. To find optimized coating method, dip-coating and dry-coating were conducted. Moreover, to reduce the HRE usage, light rare-earth (LRE) and low-melting-point metals were used for the diffusion sources. The addition of LRE and low-melting-point metals significantly reduced the amount of Tb required in GBDP for coercivity enhancement. Dry-coating has a significant impact on simplifying the process, reducing the use of diffusion sources and enhancing magnetic properties. The magnetic properties and microstructure of Pr-LRE-Tb-Al-Cu (LRE= La, Nd and Ce) diffusion magnets with various compositions are discussed.

[P13-15]

De-nitridation Based Synthesis of Single-Phase Fe_4N: Kim Ho-Jeong, Choi Hyojin, Lee Seung Yong(Yonsei University), Lee Jung-Suk, Lee Jisung, Heo Taegwan, Kim Dohoon(Hyundai Motor Company), Lee Kyu Hyoung, Lee Wooyoung*(Yonsei University)

Keywords: Iron nitride, De-nitridation, Synthesis

The γ'-Fe_4N phase, containing approximately 20 at% nitrogen in pure iron, exhibits a cubic structure in which Fe atoms form a face-centered cubic (FCC) lattice, and nitrogen atoms occupy body-centered interstitial sites at a ratio of one nitrogen atom per four iron atoms. While single-crystalline γ'-Fe_4N has been actively studied, most conventional synthesis methods rely on the nitridation of iron using ammonia (NH_3). This process demands precise control of NH_3, leading to low reproducibility. In this study, we successfully synthesized single-phase γ'-Fe_4N using a simple and scalable de-nitriding approach using commercially available mixed-phase Fe_xN (x= 2–4) powders. The powders were annealed in a mixed atmosphere of inert gas and hydrogen, and X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the formation of a single-phase Fe_4N. This process not only eliminates the use of hazardous ammonia but also enables precise control over nitrogen content. This study demonstrates that the de-nitriding method offers a safer, more reproducible, and scalable alternative for synthesizing Fe–N compounds, thereby opening new opportunities for the controlled fabrication of various iron nitride phases.

[P13-16]

Enhanced Coercivity of Nd-Fe-B Magnets Using Low-Dysprosium Dy-LRE-Zn-Cu Alloys: Jeong Hyeonjong(DGIST), Dong-Hyun-Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Jung Woo Ha, Ju-young Baek, Tae-Young Yun, Jong Tae Kim(DGIST), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee(R&D Center, Star Group), Seok-Hwan Chung(DGIST), Vitalii Galkin*(DGIST, Kyungpook National Univ.), Dong Hwan Kim*, Jeongmin Kim*(DGIST)

Keywords: Nd-Fe-B magnet, Grain boundary diffusion process, Light rare earth element (LRE), Transition metal (TM), Coercivity

Nd-Fe-B sintered magnets are critical components in a wide range of modern devices due to their outstanding magnetic properties. They are particularly used in electric vehicle drive motors, which operate at elevated temperatures. However, high operating temperatures lead to a decrease in coercivity, thereby degrading the performance of Nd-Fe-B-based magnets. To address this limitation, the grain boundary diffusion process (GBDP) utilizing heavy rare earth (HRE) elements has been employed to enhance coercivity and thermal stability. Despite its effectiveness, the use of HRE presents several challenges, including limited availability, high and unstable prices, and inefficient diffusion due to their high melting points. In this study, Dysprosium (Dy) was partially substituted with transition metals (TM) such as zinc (Zn) and copper (Cu), along with light rare earth elements (LRE) such as praseodymium (Pr) and neodymium (Nd), to lower the melting point of the diffusion source and improve diffusion efficiency. Blank magnets were subjected to GBDP

treatment using Dy-LRE-Zn-Cu (LRE = Pr, Nd) alloys at the range of temperatures (750, 800, 850, 900°C). After heat treatment at 850°C, both Dy20Pr60Zn10Cu10- and Dy20Nd60Zn10Cu10-treated magnets exhibited the highest coercivity values of 18.64 kOe and 18.64 kOe, respectively, comparable to that of the Dy100-treated magnet, which had a coercivity of 18.87 kOe. Notably, they showed improved performance at 200°C relative to the Dy100 magnet, despite using only 20 wt% Dy for GBDP treatment. EPMA elemental mapping revealed that the Dy100-treated magnet had a nonuniform Dy distribution, whereas the Dy20Pr60Zn10Cu10- and Dy20Nd60Zn10Cu10-treated magnets displayed a distinct core-shell structure with a Dy-enriched shell. This core-shell formation contributed to comparable room-temperature coercivity and enhanced high-temperature performance while significantly reducing Dy usage.

[P13-17]

Optimizing Microstructure–Magnetic Property Relationships in Melt-Spun Nd-Ce-Fe-B Ribbon: Ha Jung Woo, Hyeonjong Jeong, Seong Chan Kim(DGIST), Dong Hyun Lee(DGIST, Kyungpook National Univ.), Ju-young Baek, Tae-Young Yun, Jong Tae Kim(DGIST), Jaehyuk Kim(Yonsei Univ.), Seok-Hwan Chung, Jeongmin Kim, Dong Hwan Kim*(DGIST)

Keywords: Nd-Fe-B magnet, Spark plasma sintering, Melt-spun ribbon, Grain structure, Coercivity

High-performance Nd-Fe-B permanent magnets are indispensable for applications such as electric vehicle traction motors, wind power generators, hard disk drives, and magnetic sensors. However, the limited supply and unstable price of neodymium have prompted alternative strategies, among which partial substitution with abundant rare-earth elements such as cerium (Ce) has attracted considerable attention. Despite its abundance, Ce substitution often reduces coercivity due to the intrinsically low magnetic anisotropy of the $Ce_2Fe_{14}B$ phase. To mitigate this drawback, the melt-spinning technique has emerged as a promising approach. By rapidly solidifying the alloy melt at cooling rates above 10^5–10^6 K/s, nanocrystalline or amorphous Nd-Ce-Fe-B ribbons are produced, with grain sizes close to the single-domain size of the $Nd_2Fe_{14}B$ phase (~300 nm). Such fine grains effectively suppress reverse domain nucleation, thereby enhancing coercivity. In this study, Nd-Ce-Fe-B melt-spun ribbons were fabricated under various process parameters to control crystallinity and grain size. Following ribbon fabrication, the samples were consolidated into isotropic magnets via low-temperature spark plasma sintering (SPS). This step preserved the fine-grained microstructure by suppressing grain growth, while achieving high densification. To identify the relation between grain structure and magnetic performance, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) analyses were conducted on the melt-spun ribbons, and BH-tracer measurements were performed on the sintered magnets derived from them. The findings of this work provide valuable insights into optimizing processing conditions for high-performance nanostructured Nd-Ce-Fe-B magnets with reduced neodymium content and improved thermal stability.

[P13-18]

Enhancing Phase Stability and Magnetic Properties of Antiperovskite Mn_4C by Doping (Co, Cu) Couple: ZHANG BAOCHAO, Jihoon Park a*(Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Rare-earth-free magnets, Mn-based antiperovskite alloy, Abnormal thermal magnetic property.

The magnetic performance of high-performance permanent magnets declines rapidly at elevated temperatures [1, 2], limiting their use in high-temperature applications such as electric vehicle motors. Their strong dependence on rare-earth elements further hinders sustainable development. Recently, antiperovskite compounds with the formula Mn_3AX (A = Mn, Al, Cu; X = B, C, N) have gained attention for their unique thermal-magnetic properties. In particular, Mn_4C shows a positive magnetization temperature coefficient (a = 0.0113 $Am^2/kg{\cdot}K$ from 5–650 K) and a high Néel temperature ($T_N \approx 950$ K) [3], but its intrinsic magnetic performance and phase stability remain limited. In this study, (Co, Cu)-doped Mn_4C bulk magnets with compositions $Mn_{4.7}C$ + x wt.% (Co, Cu) (x = 0, 2, 4) were synthesized by arc melting and rapid quenching. XRD confirms a single antiperovskite phase in all samples. The lattice parameter shows a non-monotonic trend with doping but remains smaller than that of pure Mn4C, consistent with peak shifts in (111) and (200) planes. Magnetization (2 T) increases significantly with doping—up to 109% higher than undoped Mn4C—and the operating temperature range extends to around 700 K without degrading a. These results demonstrate a simple and effective strategy to enhance both thermal stability and magnetization in rare-earth-free antiperovskite magnets, advancing their potential for high-temperature applications.

[P13-19]

Systematic investigations of Initial REE Content on the Microstructure and Magnetic Properties of (Pr, Nd)-Fe-B Permanent Magnets and subsequent studies of heavy and low REE Grain Boundary Diffusion: hyunjoong kim, Babu Madavali, Soon-Jik Hong*(Kongju national university)

Keywords: Nd-Fe-B 자석, 입계확산공정, 미세조직

Rare earth based 2:14:1 sintered magnets are known to possess the highest magnetic properties among currently developed permanent magnets, and they are widely utilized across various industrial fields due to their high coercivity and excellent remanence. In particular, they have emerged as essential core materials for advanced applications such as electric vehicle traction motors, high-performance electronic devices, and wind power generation systems. However, a major limitation of Nd-Fe-B magnets is their significant coercivity

loss at elevated temperatures, which restricts their use in high-temperature environments. To overcome this drawback, the grain boundary diffusion process (GBDP) has been extensively investigated, in which light and heavy rare earth elements are selectively diffused into the grain boundaries of Nd-Fe-B magnets to enhance coercivity while reducing overall rare earth element consumption. In this study, $(Pr, Nd)_2Fe_{14}B$ sintered magnets with different initial rare earth element (REE) contents were subjected to GBDP using PrCuGa and DyH as diffusion sources. The magnetic properties of the diffused samples, including remanence, coercivity, and maximum energy product, were quantitatively analyzed. Furthermore, the effects of the initial REE content on diffusion depth, the thickness and morphology of the diffusion layer, as well as the formation of a core–shell structure, were systematically investigated through microstructural characterization. The results demonstrate how initial REE content governs grain boundary diffusion behavior and microstructural transformation, delivering foundational understanding for customizing high-performance Nd-Fe-B permanent magnet characteristics and supporting initiatives to decrease rare earth element utilization.

[P13-20] Canceled

High Density $Sm_2Fe_{17}N_3$ Magnets with Improved Magnetic Performance through Low Melting Metal Powder Additives: Kim Jaehyuk(Yonsei Univ.), Lee Jung Suk, Lee Jisung, Hoe Taegwan, Kim Dohoon(Hyundai Motor Company), Lee Wooyoung*(Yonsei Univ.)

Keywords: $Sm_2Fe_{17}N_3$, Lower Temperature Sintering, High Pressure

$Sm_2Fe_{17}N_3$ has attracted considerable attention as a next-generation rare-earth permanent magnet due to its high saturation magnetization (M_s), large magnetocrystalline anisotropy constant (K_1), and high Curie temperature (T_c). However, it decomposes into α-Fe and SmN phases at temperatures above 500 °C, making it difficult to fabricate dense magnets using conventional high-temperature sintering methods. As a result, $Sm_2Fe_{17}N_3$ is typically utilized in the form of bonded magnets containing non-magnetic binders. However, excessive binder content significantly deteriorates the magnetic performance compared to the original powder. To overcome these limitations, this study investigated the use of low-melting-point metal nanopowders (Zn, Sn, In, etc.) as sintering aids for the densification of $Sm_2Fe_{17}N_3$ powders. These additives melt at relatively low temperatures, effectively lowering the sintering temperature while suppressing the decomposition of the nitride phase and promoting densification. By optimizing the type and content of additives, we successfully fabricated $Sm_2Fe_{17}N_3$ compacts with high density and excellent magnetic properties. This study demonstrates that the incorporation of low-melting metal nanopowders is an effective approach to suppress phase decomposition while enhancing densification, thereby providing a scalable manufacturing strategy for high-performance $Sm_2Fe_{17}N_3$ magnets.

[P13-21]

Fe-Co strip의 자기특성과 유도초음파 발생 상관관계: 권아람*(한국생산기술연구원)

Keywords: Fe-Co, 유도초음파, 비파괴검사

유도초음파를 활용한 센서는 비파괴로 배관 등에서 발생되는 결함을 잡아낼 수 있어서 온라인 감시분야에 적용되어 사용되고 있다. PZT 압전체 기반의 어레이 센서를 사용하는 것이 대부분이나 상대적으로 이보다 가격이 저렴한 자왜 소재를 활용하여 유도초음파를 발생 시키는 센서에 대한 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 자성체에 교류자장을 가할 때 발생되는 자왜 효과를 이용하는 것으로 자화된 FeCo 또는 Ni 스트립을 배관에 감아 전기장을 가해줘 발생된 유도초음파는 분상성 없는 비틀림 진동모드를 이용하게 되어 주파수 변화에 따른 속도 변화가 없고, 유체가 있는 경우에도 유체로는 비틀림 모드의 진동이 전달되지 않아서 long range 검사가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 FeCo strip 열처리 조건에 따른 자기특성을 분석하고 자기특성변화와 발생되는 유도초음파의 상관관계에 대한 연구를 해보았다. 열처리 조건에 따른 상변태와 자기특성을 XRD, SEM, VSM을 통해 분석하였으며, 주파수 영역대에 따라 실제 발생되는 유도초음파를 활용한 센서의 감도와 분해능을 측정하여 그 상관관계에 대한 고찰을 진행하였다.

P14 : 에너지재료
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P14-1]
고엔트로피 탄화물 촉매를 이용한 CO_2 환원 촉매 반응 평가: 이현주*, 이종현*, 네르시시얀 하이크(충남대학교)
Keywords: 촉매, 전기화학, 고엔트로피 탄화물

여러 산업에서 화석연료 사용량 증가로 인해 대기 중 이산화탄소(CO_2) 배출량이 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라, 지속 가능한 에너지 전환을 위해 CO_2를 단순히 폐기하는 것이 아니라 고부가가치 탄소화합물로 전환하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 CO_2를 유용한 화합물로 전환하기 위한 고성능 촉매 개발이 핵심 연구 분야로 주목받고 있다. 본 연구에서 고엔트로피 탄화물(HEC, High-Entropy Carbide)을 합성하기 위해 자전연소합성(Self-propagating High-temperature Synthesis, SHS) 공정을 사용하였다. 이 방법으로 합성된 HEC 나노 결정 촉매를 사용하여 CO_2 전기화학적 환원 반응(eCO_2RR) 실험을 수행하였으며, 실험은 $KHCO_3$ 전해질을 사용한 H-cell에서 진행되었다. 촉매 성능을 평가하기 위해 선형 주사 전압법(LSV)을 활용한 전기화학 분석을 수행하였다. 추가적으로, GPAW 기반 밀도범함수이론(DFT) 계산을 통해 CO_2와 촉매 간 흡착 에너지를 산출하여 eCO_2RR 반응 메커니즘을 분석하였다.

[P14-2]
10-μm-Thick Ultrafine-Grained Mg–Li Foil as an Anode Current Collector for Lithium-Metal Batteries: Junoh Jung, Hee-Tae Jeong, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)
Keywords: Mg-Li alloy(LAZ1011), Prelithiation, Ultrafine-grain, β-LiMg, Ultrathin Li-metal anode

We report an ultrathin dual-function anode that integrates current collection and the active Li reservoir in a 30-μm stack. A 10-μm Mg–Li alloy foil (LAZ1011; Mg-10.1Li-0.8Al-0.6Zn) is produced by high-ratio differential-speed rolling to an ultrafine grain size (~0.8 μm) and serves as the anode current collector. Electrochemical pre-plating yields a ~20 μm conformal Li layer, eliminating the need for thick Li foils or an external Cu collector. Lithiation initiates by alloying to β-LiMg and, beyond a critical composition, transitions to Li deposition; the shared body-centered-cubic lattice and closely matched parameters between β-LiMg and Li, together with the near-zero volumetric change of the Mg–Li matrix, create a lithiophilic, mechanically stable interface with a low nucleation barrier. In 1 M LiTFSI in DME/DOL (1:1 v/v) with 3 wt% $LiNO_3$, the integrated anode delivers an overpotential of 153 mV at 0.45 mA cm^{-2} and 1.5 mAh cm^{-2}, a Coulombic efficiency of 80%, and stable cycling to 130 cycles, outperforming Cu/Li and coarse-grained Mg–Li controls in polarization, morphology, and capacity retention. Cross-sectional SEM confirms the designed 10-μm/20-μm bilayer, and EIS reveals a lower and more stable interfacial resistance.

[P14-3]
Effect of Carbon Nanotube Addition to Aluminum Foil Anodes on Electrochemical and Mechanical Properties for Lithium-Ion Batteries: JunYoung Kim, HeeTae Jeong, WooJin Kim*(Hongik Univ)
Keywords: Al-CNT, Foil anode, pre-lithiation, microstructure, hot-rolling

Direct-foil aluminum–carbon nanotube (Al–CNT) composite anodes were fabricated by high-energy ball milling of Al with 1 or 3 vol% MWCNTs, followed by SPS (723 K, 50 MPa, 20 min), homogenization (773 K, 3 h), and hot-rolling with intermediate reheats to obtain 120 μm foils. Coin cells were assembled (Al–CNT working, Li counter/reference, Celgard 2400, 1 M $LiPF_6$ in EC:DMC:DEC = 1:1:1) and evaluated under limited-capacity (LC) and LFP full-cell conditions. Microstructure and phase were examined by FE-SEM/EBSD/XRD; hardness was measured by micro-Vickers. CNT addition monotonically increased hardness, indicating mechanically strengthened foils suitable for rolling and cell assembly. In LFP full cells (areal capacity Q and C-rate noted on each figure), pre-lithiated Al–CNT markedly outperformed non-pre-lithiated counterparts. At Q = 0.5 mAh cm^{-2} and 0.2 C, Al–1CNT and Al–3CNT retained ≈0.3–0.45 mAh cm^{-2} for ~100 cycles, while non-pre-lithiated cells rapidly faded. At higher loading (Q = 1.5 mAh cm^{-2}, 0.2 C), Al–CNT maintained near-initial capacity for ~80–100 cycles before declining, still surpassing pure Al. Under higher rate (0.5 C, Q = 0.5 mAh cm^{-2}), Al–1CNT sustained ≈0.3 mAh cm^{-2} for >400 cycles, whereas Al–3CNT showed early failure, suggesting 1 vol% CNT provides a better balance between mechanical integrity and interfacial/electrochemical stability. These results demonstrate that foil-type Al–CNT anodes enable stable Li-ion full-cell cycling under LC and practical LFP configurations, and that pre-lithiation and optimized CNT content (≈1 vol%) are key to long-term capacity retention.

[P14-4] Canceled
Cation-selective graphene oxide membranes for scalable power generation: Park Seokmin, Wooyoung Shim*(연세대학교)
Keywords: Cation-selective membranes, graphene oxide, power generation

The global energy system faces an unprecedented need for ‘more energy’ and ‘less carbon’. Many forms of energy are considered renewable, including wind, hydro, solar, geothermal, and biofuel energy. These types of energy are relatively sustainable, abundant,

clean, and inexpensive. However, recognizing the limitations of conventional renewable energy sources, there has been growing interest in the energy field due to the need for sustainable, safe, non-periodic and high-performance energy generation system. In this respect, salinity gradient energy, known as new type of renewable energy, can generate 0.8 kWh/m^3 at the sea–river interface by harnessing the entropy generated during ion mixing. For example, owing to its discharge rate of 209, 000 m^3/s, the Amazon River can yield a theoretical power of approximately 0.8 TW. In addition, salinity gradient energy has a great advantage in that it is non-periodic and continuous, unlike conventional renewable energy, such as solar and wind power. In this research, we will present the two-dimensional materials based cation-selective membrane for salinity gradient power generation. The confined nanochannel is robust in liquids, enabling steady-state ion diffusion for hundred of hours and exhibiting ion selectivity of 95.8%, energy conversion efficiency of 41.4%, and power density of 5.26 W/m^2. This fundamental understanding and rational design strategy can enable previously unrealisable applications of passive-type large-scale power generation.

[P14-5]

An NZSP Nanofiber/In-situ Polymerization Approach for High-Efficiency Sodium Batteries with a Composite Solid Electrolyte: JEONGMIN KIM, CHANJIN PARK*(Chonnam Univ.)

Keywords: Sodium ion battery, Composite solid electrolyte, NZSP, In-situ polymerization, Solid-state batteries

The pursuit of safer, high-performance batteries has put solid-state batteries (SSBs) at the forefront of energy storage innovation. Composite solid electrolytes (CSEs), which combine the strengths of ceramics and polymers, are a key solution. However, their practical application is still hindered by critical issues like low ionic conductivity and poor interfacial stability, especially for cost-effective sodium-ion batteries. The development of optimized CSEs that blend the high conductivity of inorganic fillers with the flexibility of a polymer matrix is therefore essential for the widespread adoption of high-performance solid-state sodium batteries. In this study, we fabricated a nanofiber $Na_3Zr_2Si_2PO_{12}$ (NZSP) framework via electrospinning and applied in-situ thermal polymerization of vinyl ethylene carbonate (VEC). The electrospinning method offers a significant advantage by enabling mass production and cost reduction, while also providing a continuous sodium-ion pathway within a 3D matrix structure, which substantially enhances room-temperature ionic conductivity. Furthermore, the in-situ thermal polymerization process is employed to improve the interfacial stability with the electrode, leading to a more robust and efficient solid-state sodium battery. Electrochemical analysis revealed that the composite solid electrolyte (CSE) exhibited a high ionic conductivity of 0.6282 mS cm^{-1} at room temperature, with a wide electrochemical stability window extending up to 5.02 V vs. Na/Na^+ at 30°C. These results demonstrate that the approach combining a nanofiber framework with in-situ polymerization is a promising strategy for the development of high-performance solid-state sodium batteries.

[P14-6]

이온의 도핑이 YSZ의 결정립계 이온전도도에 미치는 영향에 대한 연구: 김건홍, 이진구*(한국생산기술연구원)

Keywords: 연료전지, SOFC, YSZ, 도핑

고체산화물 연료전지(SOFC)는 고온에서 운전되는 에너지 변환 장치로서, 높은 에너지 효율과 저가의 전이금속을 촉매로 활용할 수 있다는 점에서 많은 관심을 받고 있다. Yttria-stabilized zirconia(YSZ)는 넓은 산소분압에서 안정하며, 800 ºC 이상에서 높은 산소이온전도도를 보여주기 때문에 SOFC의 전해질 소재로서 널리 활용되고 있다. 그러나, YSZ는 700 ºC 미만의 온도에서 급격한 이온전도도 감소를 나타내어 중, 저온형 SOFC의 적용에 어려움이 따른다. 이러한 이온전도도 감소에 대한 이유는 다양하게 존재하지만, 그 중 YSZ에 도핑된 Y3+ 이온이 결정립계 공간전하층에 축적되면서 결정립 내부의 전자 부족으로 양전하를 띄게 되어 결정립계 산소이온의 전달을 저해한다는 것이 대표적이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 결정립계 공간전하층의 전하 불균형 현상을 개선하기 위해 Y3+ 이온보다 산화수가 높은 이온인 Ce4+ 이온을 함량별로 미량 도핑하여 결정립계 산소이온전도도에 미치는 영향에 대해 규명하고자 하였다. 이를 위해 X-ray diffraction(XRD)을 진행하여, Ce이 도핑된 후에도 구조가 안정적으로 유지되고 불순물에 의한 이차상이 형성되는지 확인하였다. Scanning electron microscope(SEM) 분석으로 소결된 전해질의 미세구조를 관찰하여, Ce 함량에 따른 결정립 크기 변화와 치밀도를 평가하였다. Electrochemical Impedance Spectroscopy(EIS)를 통해 전해질의 전체 이온전도도를 측정하고, 이를 bulk와 grain boundary로 분리하여 결과들을 도출하였다.

[P14-7]

Hierarchical Grain-Boundary Networks in Al–Si Alloy Foils for High-Capacity Lithium-Ion Battery Anodes: Hee-Tae Jeong, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)

Keywords: Lithium-ion batteries, Aluminum, Foil, Prelithiation, Microstructure, Grain boundary, Anode

Aluminum-foil anodes hold significant promise for lithium-ion batteries by integrating the active material and current collector into a lightweight, scalable electrode architecture. However, practical deployment is limited by rapid degradation during cycling, arising from large volumetric expansion and structural resilience. Here we present a solute-enabled microstructure-engineering strategy in which silicon (Si) addition suppresses dynamic recrystallization and promotes a hierarchical grain-boundary architecture in Al–1 wt.% Si foils processed by severe plastic deformation. The resulting microstructure comprises alternating bands of high-angle grain boundaries (HAGBs) and low- to medium-angle grain boundaries (LAGBs/MAGBs). HAGBs foster uniform β-LiAl nucleation, whereas LAGBs/

MAGBs provide rapid Li-ion transport pathways. Retained α-Al domains form a vertical continuous network aligned with the rolling and transverse directions, which accommodates transformation strain and impedes crack propagation during repeated lithiation/delithiation. Silicon-induced solid-solution strengthening further increases hardness and mechanical stability. When combined with controlled prelithiation, this damage-tolerant, ion-transport-optimized architecture delivers high capacity retention and long-term cycling durability that surpass those of conventional Al foil anodes. This unique microstructure design demonstrates that microstructural control can reconcile energy density with mechanical durability.

[P14-8]

나노 성형 기반 표면 구조화를 통한 알루미늄 음극재 효율 향상: 문준혁(서울대학교), 류채우(홍익대학교), 박은수*(서울대학교)

Keywords: Al anode, Thermomechanical nanomolding(TMNM), Surface manipulation, Lithium-ion battery

리튬 이온 배터리의 고용량화와 장수명화를 위해서는 기존 흑연 음극재의 한계를 극복할 새로운 소재 개발이 요구된다. 현재 상용 음극재로 널리 사용되는 흑연은 우수한 안정성을 지니지만, 이론 용량 한계로 인해 에너지 밀도 향상에 한계가 있다. 알루미늄은 높은 이론 용량과 저비용이라는 장점을 바탕으로 차세대 음극재로 주목받고 있으나, 충·방전 과정에서 발생하는 부피 팽창과 이에 따른 구조적 손상이 실용화를 저해한다. 본 연구에서는 열기계적 나노 성형 기법(thermomechanical nanomolding, TMNM)을 적용하여 알루미늄 표면에 나노 및 마이크로 와이어 어레이를 구현하고, 이를 통해 부피 변화로 인한 소재 손상을 완화하는 전략을 제시한다. 성형 조건을 조절하여 다중 스케일의 표면 구조를 형성하였으며, 이러한 형상 변화가 리튬 삽입·탈리 거동 및 전극의 기계적 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 충·방전 실험을 통해, 표면 개질된 알루미늄 전극이 부피 팽창으로 인한 균열 발생을 억제하고 전기 화학적 성능을 향상시킴을 확인하였다. 본 연구는 열기계적 나노 성형 기반의 표면 구조 제어가 알루미늄 음극재의 수명 및 용량 향상에 기여할 수 있음을 보여주며, 차세대 고성능 리튬 이온 배터리 설계에 중요한 지침을 제공할 것으로 기대된다

[P14-9]

Enhanced Electrochemical Performance of NCM811 Cathodes Using MWCNTs in Solid Polymer Electrolyte Batteries: Wuyoung Goh, Chanjin Park*(Chonnam National University)

Keywords: Lithium-ion battery, NCM811, Multi-walledcarbon nanotubes, Solid polymer electrolyte, Conductive additive

Lithium-ion batteries (LIBs) remain the cornerstone energy storage solution for portable electronics, electric vehicles (EVs), and large-scale energy storage systems (ESS) due to their high capacity, energy density, and long cycle life. However, the flammability and thermal instability of conventional organic liquid electrolytes pose critical safety risks, especially in high-energy applications. Solid polymer electrolytes (SPEs) offer a safer alternative, and this study explores the synergistic integration of SPE with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) to enhance cathode performance. We systematically varied MWCNT content in NCM811 composite cathodes from 0 wt% to 2 wt% and evaluated their electrochemical performance, including cycle stability, rate capability, and capacity retention. The 1 wt% MWCNT sample exhibited optimal behavior, maintaining over 80% capacity after 200 cycles at 0.5C and achieving 96% capacity recovery across C-rates from 0.1C to 2C. Cyclic voltammetry and galvanostatic intermittent titration technique (GITT) analyses confirmed that increasing MWCNT loading significantly enhances Li^+ ion conductivity within the electrode and improves ionic diffusivity at the electrode–electrolyte interface. Excessive MWCNT addition (>1.5 wt%) led to agglomeration within the electrode slurry, causing diminished electrochemical performance. SEM imaging revealed surface agglomerates, while UV-Vis spectroscopy and ultrasonic redispersion effectively mitigated aggregation, restoring uniform dispersion and electrical connectivity. These results establish optimal dispersion conditions that balance high conductivity with structural stability. The findings offer practical guidelines for employing cost-effective MWCNT as conductive additives in high-energy-density cathodes. Future work will investigate the formation mechanisms of the cathode–electrolyte interface (CEI) layer during cycling and its impact on long-term electrochemical stability, contributing to the advancement of solid-state battery technologies.

[P14-10]

A study of the high-efficiency solar evaporation system using 3D porous black TiO_{2-x} structure with high-density oxygen vacancies: Jeon Hee Yeon, Jeong Hyun Kim(Seoul National University of Science and Technology), Young-In Lee*(Seoul National University of Science and Technology, The Institute of Powder Technology)

Keywords: solar evaporation system, 3D porous black TiO_{2-x}, oxygen-vacancy, evaporation efficiency

Photothermal material-based solar evaporation systems are regarded as a promising technology for addressing various global water-related challenges by directly converting solar energy into heat to purify contaminated water through evaporation and distillation and to achieve seawater desalination with minimal CO_2 emissions. Compared to conventional thermal energy-based technologies, these systems are more eco-friendly, can utilize the inexhaustible resource of solar energy, and can be operated semi-permanently when material stability is ensured. In addition, low operational costs relative to their high energy efficiency have led to active research into the development of high-performance photothermal materials and system technologies. Solar evaporation methods utilizing photothermal materials can be classified into bottom heating, bulk heating, and interfacial heating. Bottom and bulk heating methods have low absorption efficiency because sunlight passes through the water to reach the photothermal material. Moreover, because they require heating a large volume of water, heat accumulation is difficult, resulting in low evaporation efficiency. In contrast, the interfacial heating

approach, in which a two-dimensional photothermal material is positioned at the water surface, can achieve higher photothermal conversion efficiency than other methods. However, direct-contact interfacial heating suffers from significant heat loss due to heat conduction and convection at the water surface interface, resulting in low evaporation efficiency. Indirect-contact interfacial heating, while capable of suppressing heat loss through a heat-insulating layer, suffers from limitations such as incident light scattering, thermal radiation loss, and water supply delays due to low hygroscopicity. Recently, technologies have been reported on three-dimensional (3D) photothermal conversion layers to enhance photothermal conversion efficiency and reduce heat loss. However, most studies are limited to carbon-based materials, and in the case of oxide-based materials, the approach is predominantly confined to coating already fabricated 3D templates. Therefore, there is a need to develop a technology for manufacturing a three-dimensional porous body that simultaneously achieves low density derived from high porosity and appropriate mechanical strength and enables rapid water supply throughout the structure. In this study, a solar evaporation system was fabricated by forming a black TiO_{2-x} layer on the top of a cylindrical white TiO_2 porous body through NaBH4 reduction treatment. In addition, the concentration of oxygen vacancies was controlled by modulating the reduction temperature, and the change in evaporation rate according to the concentration of defects was evaluated. Black TiO_{2-x} has a high carrier density due to the high concentration of oxygen vacancies, which maximizes the local surface plasmon resonance (LSPR) effect. The formation of many defect energy levels due to the oxygen vacancies enables light absorption across the entire wavelength range of sunlight. Additionally, the high defect concentration increases the charge recombination rate, showing excellent photothermal conversion characteristics. The fabricated evaporator enabled rapid water supply due to the hydrophilicity of white TiO_2, and achieved high evaporation efficiency due to the photothermal properties of black TiO_{2-x}. In particular, the 3D porous evaporation system based on black TiO_{2-x} reduced at 300ºC exhibited an evaporation rate (3.1 $kgm^{-2}h^{-1}$) approximately 2.8 times higher than the 3D porous white TiO_2 under 1 sun (1000 W/m^2) irradiation.

[P14-11] Canceled

Electrochemically Surface-Engineered CoNiFe on Stabilized Layered Ti_3C_2 MXene: A high-performance, cost-efficient catalyst for AEM Water Electrolyzers: Mallappa Mahanthappa, Shahbaz Ahmed, SK Samim Akther (Kumoh National Institute of Technology), Kweon Soon-Yong(GHS Co. Ltd., Korea National University of Transportation), Bee Lyong Yang*(Kumoh National Institute of Technology)

Keywords: CoNiFe/MXene, HER, OER, AEMWE, Hydrogen Production

The transition from precious-metal-based catalysts to efficient and durable alternatives is essential for advancing sustainable green hydrogen production through anion exchange membrane water electrolyzers (AEMWE). Yet, AEMWE performance is hampered by slow water decomposition kinetics. In this study, we present an electrochemically deposited CoNiFe/Ti_3C_2 MXene composite that undergoes modulates interfacial electronic interactions, effectively activating water splitting pathways and accelerating reaction rates. The optimized CoNiFe/Ti_3C_2 MXene catalyst achieves a low OER overpotential of 200 mV at 50 mA cm^{-2} and a low activation energy of 9.7 kJ mol^{-1} in 1.0 M KOH, demonstrating excellent catalytic activity. This improvement is attributed to the lowered energy barrier for OOH* intermediate formation, which enhances OER kinetics. Further, we developed a six-cell prototype AEMWE (electrode area of 400 cm^2) using the CoNiFe/Ti_3C_2 MXene composite as the anode and commercial Pt/C as the cathode. It delivers a low cell voltage of 11.1 V (each cell voltage is 1.85 V) at 873.8 A/cm^2. The system maintains stable performance for over 500 hours at 60 °C, represents a major breakthrough in clean energy technology. Acknowledgments: This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under project number 202100390004. KIT Project This research is funded by Small and Medium Business Technology Information Promotion Agency (project number 202402570002). This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (RS-2025-25441326). Franhofer This research was conducted with the support of the Korean government (Ministry of SMEs and Startups) and the research grant from the Korea Institute for Advancement of Technology and Information Technology (KIAT) (RS-2025-25441188).

[P14-12] Canceled

Metal-organic framework derived sulfur–doped bimetallic phosphoselenide electrocatalysts for hydrogen and oxygen evolution reactions: Perumal Naveenkumar, Karattadipalayam Periyasamy Nithyanandam, Hyeon Woo Yang, Sun-Jae Kim(Sejong University)

Keywords: Hydrogen evolution reaction, Oxygen evolution reaction, Metal–organic framework, Heteroatom doping, Bimetallic phosphide selenide

The increasing demand for clean, sustainable, and carbon-neutral energy globally has positioned hydrogen at the forefront of energy research. Hydrogen serves as a highly energetic fuel and functions as a clean energy carrier, producing only water as a byproduct when combusted. Electrochemical water splitting represents a highly effective method for hydrogen production, as it is environmentally friendly and compatible with renewable energy sources such as solar and wind power. Nonetheless, the extensive application of water electrolysis is presently constrained by its significant energy consumption and sluggish reaction rates, particularly concerning the oxygen evolution reaction (OER) and the hydrogen evolution reaction (HER). Platinum-group metals, such as Pt, are recognized as the

most efficient catalysts for the hydrogen evolution reaction. However, their elevated cost and limited availability have major implications for their commercial application. Among various bimetallic systems, iron-cobalt phosphides (Fe-Co-P) have demonstrated significant potential as bifunctional electrocatalysts. The synthesis process using phosphidation methods is quite simple, and the resulting materials demonstrate exceptional performance in both hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER). In contrast to selenides or sulfides, phosphides typically exhibit a lower degree of dynamic surface restructuring, which leads to a diminished density of active OER sites. In this study, we report the synthesis and electrochemical evaluation of a novel sulfur–doped iron cobalt phosphoselenide (S/FeCoPSe@C) catalyst designed to achieve enhanced bifunctional activity in alkaline media. The incorporation of selenium into the Fe–Co–P matrix significantly enhances electronic conductivity and facilitates the in-situ formation of catalytically active oxyhydroxide layers during OER, while the presence of phosphorus maintains strong HER activity. The resulting catalyst exhibits low overpotentials of 178 mV for HER and 400 mV for OER at 50 mA cm^{-2}, along with excellent long-term durability and structural stability. Our findings highlight the potential of S/FeCoPSe@C as a next generation electrocatalyst for integrated, scalable water splitting applications.

[P14-13]

Effect of Zr on intergranular corrosion of low Cr stainless steel: JinHo Park*(KAERI)

Keywords: Intergranular corrosion, Stainless steel, Cr segregation

The intergraunlar corrosion (IGC) of stainless steel is commonly known to occur due to Cr-depletion in grain boundary area by formation of Cr-carbide. The general commercial practice to prevent IGC is to add stabilizers, such as Ti and/or Nb. However, IGC still occurs in stabilized ferritic stainless steel (FSS). Our previous study suggested IGC mechanism of Ti-Nb stabilized low-Cr FSS by intergranular Cr segregation without formation of Cr-carbide. According to this new mechanism, new alloy design will be suggested. Zr has higher C affinity than conventional stabilizers, such as Ti and Nb, and it is good intermetallic compound former such as Fe-Zr intermetallic compounds. Therefore, Zr can be one of the candidates for preventing IGC of low-Cr FSS. In this study, effect of Zr on IGC of low-Cr FSS will be investigated. By comparing Nb, Ti-Nb and Zr stabilized FSS, only Zr stabilized specimen prevent intergranular sensitization and consequent IGC. TEM and 3DAP analysis indicate that Zr forms ZrC and Fe23Zr6 along grain boundary during heat treatment, and they prevent IGC by two-fold effect; one as a strong carbide former to inhibit formation of Cr-carbide and the other as diffusion barrier against the solute Cr diffusion toward grain boundary.

[P14-14] Canceled

Fabrication of nanocomposite of ZnS–NiS_2 @NC electrode materials for enhanced supercapacitor applications: Sun-Jae Kim *(Sejong University)

Keywords: Nanocomposites, Metal sulfides, Nitrogen doped carbon, Carbon coating, and ZnS-NiS_2

Development of green energy technologies is a research topic of growing interest, in light of minimizing fossil fuel utilization and its consequences. Supercapacitors are among the clean energy storage and conversion systems that can be used in various applications. Supercapacitors afford the advantages of high-power density, long cycle life, and user safety; however, their energy density is low. The low energy density can be overcome with battery-type electrode materials, which offer a wider potential window and a higher energy density than electric double-layer and pseudocapacitive electrode materials. While battery-type electrode materials have a high capacitance, they have poor cyclic stability. The hybrids of single-metal sulfide can address the shortcomings of their individual constituents and provide enhanced electrochemical performances, especially for supercapacitor applications. The supercapacitor performance of a single-metal sulfide was improved by mixing another single-metal sulfide, thus harnessing the advantages of both the sulfides. In this study, we synthesized a novel composite, ZnS–NiS2@NC (nitrogen-doped carbon), by hydrothermal and chemical polymerization. The nanoparticle morphology of the ZnS–NiS2@NC nanocomposite shortened the diffusion path of the electrolyte ions and increased the contact area of the electrode/electrolyte interface. The presence of the lone pair of electrons in nitrogen in the NC coating induced electron transport, enhanced the electrical conductivity, and prevented material degradation. The abovementioned features resulted in excellent supercapacitor performances. The redox peak in the cyclic voltammetry curve and the nonlinear shape of the galvanostatic charge/discharge profile signify the battery-type charge storage process, which plays an important role in the capacity contributions. The ZnS–NiS2@NC composite exhibited a discharge capacity of 1011.34 C g-1 at a current density of 1 A g-1, with an improved rate performance. The asymmetric supercapacitor device afforded a capacity of 131.88 C g-1 at a current density of 1 A g-1 and demonstrated an excellent cyclic performance. A high energy density of 41.21 Wh kg-1 was achieved at a power density of 1124.93 W kg-1. This approach shows that the developed composite electrode materials are prospective candidates for replacing conventional supercapacitor candidates. Hence, battery-type electrode materials are promising contenders for high-energy-density supercapacitor applications.

[P14-15]

Effects of Nano-sized Ba(Zr0.1Ce0.7Y0.2)O3-δ Synthesis on Solid Oxide Fuel Cell Performances: Jin Goo Lee*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: solid oxide fuel cell, BZCY, functional layer, nickel penetration, proton conductor

A proton-conducting solid oxide fuel cell (P-SOFC) has been attracted great attentions because its low- temperature operation, which not only reduces management costs but also enhances durabilities in long-term operation. Ba(Zr0.1Ce0.7Y0.2)O3-δ(BZCY) is a perovskite-structured oxide material with high protonic conductivity in wet environmental conditions. Despite such merit, the poor sinterability of the BZCY should be addressed for SOFC electrolytes via various approaches such as controls of particle size or defects. In this study, the BZCY powders were synthesized by the Pechini (BZCY(P)) and co-precipitation (BZCY(C)) method, respectively, to produce differect nano-sized powders and to observe their size effects on solid oxide fuel cell (SOFC) performances. The fine BZCY(C) powder prepared by co-precipitation had a particle size in the range of about 50~150 nm, and was smaller than the Pechini BZCY(P) powder, which is about 500~900 nm. The single cells composed of the denser electrolytes using the fine BZCY(C) powder showed higher power density than the cell with less dense electrolytes. When the single cell was composed of the dense electrolyte and Ni-BZCY nano-composite anode functional layer (AFL), nickel penetration was prevented and the cell performance was also improved, generating the power densities of 0.82, 0.46 and 0.32 Wcm-2 at 800, 700 and 600°C, respectively.

[P14-16]

PbO_2 Nanoparticle Size Effects on Lead–Acid Battery Degradation Pathways: JO SUNGGEUN, Wooyoung Shim*(Yonsei Univ.)

Keywords: 배터리, battery

PbO_2 Nanoparticle Size Effects on Lead–Acid Battery Degradation Pathways Sunggeun Jo[1], Wooyoung Shim[1*] [1]Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, South Korea *Corresponding Author E-mail Address: wshim@yonsei.ac.kr The cycle life of commercial lead-acid batteries could potentially be improved by suppression of the battery aging mechanism. In this context, one of the main challenges is the irreversible phase transformation from $PbSO_4$ to PbO_2 at the positive electrode upon charging. We herein report a nanoparticle strategy at tens of nanometers length scale that can enhance the reversible phase transformation from $PbSO_4$ to PbO_2 upon charging, thus potentially extending the lifetime of these batteries. Our combined theoretical and experimental studies suggest that control over the initial size of the PbO_2 nanoparticles at the positive electrode is critical to the aging mechanism, with PbO_2 nanoparticles of ~100 nm in diameter suppressing sulfation, which leads to a reversible phase transformation from $PbSO_4$ to PbO_2. In addition, PbO_2 nanoparticles (100 nm in diameter) can provide a greater robustness in the context of shedding of the active materials from the positive grid. These results suggest that lead-acid batteries can be operated with an extended lifetime partly by addressing the intrinsic aging issues associated with irreversible sulfation.

[P14-17] Canceled

우라늄 밀도(gU/cc)에 따른 기장로 초기노심용 U-7Mo 판형핵연료 압분체 및 우라늄 심재크기에 대한 연구: 송화영*, 황형진, 허명립, 이용환, 권순태, 정효진, 이선용, 박동준, 정용진(한국원자력연구원)

Keywords: 기장 연구로, U-7Mo 판형핵연료, 압분체, 우라늄 밀도, 우라늄 심재 크기

한국원자력연구원 연구로핵연료부에서는 기장 신형 연구로 공급을 목적으로 U-7Mo 판형핵연료에 대한 연구·개발을 진행하고 있다. 판형핵연료판은 원심 분무를 통해 제작한 U-7Mo 분말과 Al-5Si 기지 물질을 기반으로 압분체를 제조하고, 알루미늄 부품과의 조립, 압연 및 절단 등의 공정을 거쳐 완성된다. 이 때 상시 연구로가 아닌 초기 연구로 운용을 위해서는 동일한 부피에 우라늄 밀도(gU/cc)를 감소 시킨 5개종의 판형핵연료판을 별도 제작하여 활용한다. 우라늄 밀도(gU/cc)가 다른 만큼 주입되는 U-7Mo 및 Al-5Si 분말량이 서로 다르고, 이를 프레스로 제조한 압분체 크기 또한 서로 다르다. 이러한 압분체 크기 차이는 이후 진행되는 조립 등의 제조 공정 뿐만 아니라 압연 후 완성되는 우라늄 심재 크기에 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 5개종의 우라늄 밀도(gU/cc)를 갖는 초기노심용 U-7Mo 판형핵연료판 압분체를 제조하고, 크기와 부피를 측정 및 압연 후 형성되는 우라늄 심재와의 비교 등의 분석을 실시하였다.

P15 : 디스플레이재료
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P15-1]
Polymer-Engineered Halide Perovskite Scintillators for Enhanced X-ray Detection and Imaging : Ha Neul Kim(Hanyang Univ.), Seong Ho Lee(HYU-KITECH joint Graduate school), Hyekyoung Choi(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Ju Yong Woo(HYU-KITECH joint Graduate school, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Bo Kyung Cha*(Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Seong-Yong Cho*(Hanyang Univ.)
Keywords: Scintillator, Halide perovskite, Polymer, Cross-linking, X-ray

The rapid expansion of applications requiring radiation detection, such as medical imaging, security screening, and nuclear monitoring, has intensified the demand for high-performance and reliable scintillator materials. Scintillators play a crucial role by converting high-energy radiation such as X-rays and gamma rays into visible light, thereby transforming invisible radiation signals into measurable optical outputs. Conventional scintillators (e.g., NaI:Tl, LYSO) exhibit high light yield, stability, and detection sensitivity; however, their widespread commercialization is limited by the complexity of single-crystal growth, high production costs, and constraints in large-area or flexible device integration. These challenges have accelerated the search for alternative materials that maintain high performance while offering cost-effective and simpler fabrication. In this context, halide perovskites (HPs) have recently emerged as promising candidates for next-generation scintillators. HPs provide high quantum efficiency, short emission lifetimes, strong absorption of high-energy photons, and compositional and structural tunability, enabling optimization for specific radiation detection requirements. Among halide perovskite nanocrystals (NCs), lead-based $CsPbBr_3$ offers excellent color purity due to its narrow emission peak, making it advantageous for high-resolution imaging. However, its overall luminescence efficiency is limited by reabsorption effects, which become particularly problematic in thicker films where emitted photons are reabsorbed, leading to reduced light yield. In contrast, copper-based halide $Cs_3Cu_2I_5$ nanocrystals have emerged as a highly promising alternative. Their zero-dimensional crystal structure facilitates the formation of self-trapped excitons (STEs), resulting in broad emission and a large Stokes shift that effectively suppresses reabsorption losses. Furthermore, $Cs_3Cu_2I_5$ is composed of less toxic and more environmentally benign elements, while also exhibiting strong resistance to oxygen and moisture, ensuring long-term device stability. In this study, $Cs_3Cu_2I_5$ nanocrystals were fabricated into uniform polymer-crosslinked films to enhance performance and stability. The polymer matrix not only provided mechanical robustness and environmental protection but also allowed precise control of film thickness, a critical factor in balancing radiation absorption and optical resolution. Excessively thick films may cause self-absorption and scattering, reducing spatial resolution, whereas films that are too thin fail to absorb sufficient radiation. Through systematic optimization of thickness, material composition, precursor concentration, and solution viscosity, high-quality scintillator films were achieved. As a result, the $Cs_3Cu_2I_5$-based films demonstrated improved X-ray detection efficiency, higher light yield, and enhanced imaging quality. These outcomes confirm that combining perovskite nanocrystals with polymer engineering can overcome intrinsic material limitations. Ultimately, this study highlights the potential of copper-based perovskites as scalable, cost-effective, and high-performance scintillators for next-generation radiation detection systems.

[P15-2]
Monolithic Fabrication of Hierarchical Transmissive Color Routers Using High-Refractive-Index Inorganic Materials: Park Sehyeon, Samuel Kim, Myungjae Lee*(Seoul National University)
Keywords: image sensor, hierarchical structure, high-refractive-index inorganic material

In modern optical and imaging systems, the primary role of a color filter is to provide precise spectral selectivity, enabling the separation of incident light into specific wavelength bands required for accurate color reproduction and spectral analysis. Conventional Bayer-type color filters employ organic materials that selectively absorb red, green, and blue (RGB) light.[1] The filters transmit only light that matches the color of each filter element while absorbing the rest to achieve color separation and their visible-light transmittance is limited to only about 80–90%. [2] In contrast, the present study aims to enhance optical efficiency by transmitting the entire incident spectrum and routing light according to its wavelength to achieve color separation. By introducing a Si_3N_4 collimator layer designed to enhance viewing-angle performance above the color routing layer, it can reduce optical crosstalk and improve spectral sensitivity under low-light conditions. Using machine learning and FDTD optical simulations, we designed a TiO_2-based hierarchical color router structure. Furthermore, we accomplished a monolithic fabrication process compatible with CMOS technology for stacking functional layers of the color router. By implementing the color router within a thin film of wavelength-scale thickness in the visible range, it can increase visible-light transmittance and also achieve vertical fabrication precision. The TiO_2 color router was fabricated on a quartz substrate, followed by the deposition of a SiO_2 spacer layer. Subsequently, a Si_3N_4 collimating layer was deposited on top, thereby forming a hierarchical structure. Finally, using a hyperspectral imaging system, we will verify that the color router layer effectively routes different wavelengths of light into the corresponding RGB channels, achieving high optical efficiency with minimal

energy loss. This work demonstrates a hierarchical transmissive color router based on high-refractive-index TiO_2, offering promising opportunities for next-generation display technologies and electro-optical devices such as image sensors. References 1. Q. Chen, X. Nan, M. Chen, D. Pan, S. Yang, and L. Wen, Advanced Materials 33.49 (2021): 2103815. 2. X. Zhou, Y. Zhang, R. Lin, G. Gong, S. Wang, S. Zhu, and Z. Wang, Nature Communications 13.1 (2022): 3288.

[P15-3]

Bi-Sphere Whispering Gallery Mode Resonators for Raman Signal Enhancement in Display Inspection: Baek Gyuin, Kyungnam Kam, Eunsun Kim, Lee Myungjae*(Seoul National University)

Keywords: Raman inspection, Whispering gallery mode, Two-photon polymerization

Raman spectroscopy is a representative non-destructive technique that enables the characterization of the local structural and chemical states of a sample without physical contact or damage. In display devices, it can be employed to identify defects, assess doping conditions, and monitor both processing steps and overall quality. To achieve more precise and accurate evaluations, however, it is essential to employ techniques that can enhance Raman signal intensity. While whispering gallery modes (WGMs) have been extensively employed to enhance light–matter interactions in detection applications, they have not been widely utilized to amplify Raman signals for inspection. This limitation arises because conventional high-Q factor (Quality factor) WGMs often suffer from limited external coupling, which restricts the accessible detection volume. Such confinement, governed by total internal reflection, represents an inherent drawback of WGMs and renders them suboptimal for Raman signal enhancement. Recent studies have shown that placing two WGM structures in close proximity, with nanometer-scale separation, induces the formation of strongly localized electric fields in the inter-cavity region [1]. Within this gap, variations in the refractive index and other optical properties of the surrounding medium can be detected with markedly improved sensitivity. These coupled WGM modes are therefore expected to significantly enhance Raman signal intensity, leading to improved sensitivity and spectral resolution, with particular promise for display sensing and inspection, as well as applications such as protein structural analysis and chemical detection. Despite these advantages, the fabrication of WGM structures with nanometer-scale spacing remains technically challenging and is not widely adopted. In the present study, we fabricated a bi-sphere WGM resonator consisting of two microspheres, each with a radius of 10 μm. The two spheres were positioned with a sub-micron gap of several hundred nanometers. Precise spatial alignment was achieved using a two-photon polymerization (TPP) technique. The microspheres were additionally fabricated in a suspended configuration, mounted on supporting pedestals to minimize substrate-induced optical losses and preserve the high-Q characteristics of the resonator. The fabrication of a bi-sphere WGM resonator using a TPP technique has not been previously reported. To evaluate Raman signal amplification, bovine serum albumin (BSA) in aqueous solution was introduced into the WGM structure via a microfluidic system. Raman spectra were subsequently acquired to evaluate the enhancement effect induced by the bi-sphere WGM configuration. To quantify this enhancement, the Raman signals of BSA were compared among three configurations: a uni-sphere WGM resonator, a bi-sphere WGM resonator, and a control case without a WGM resonator. The results revealed a substantial increase in Raman signal intensity for the bi-sphere configuration, underscoring the amplification capability of the coupled WGM system. References Li, H., Zhang, H., & Liu, S. (2022). A sensing device based on whispering-gallery mode splitting in response to changes in refractive index between coupled microresonators. Applied Physics Letters, 120(6).

[P15-4]

Fast-Response Thermochromic Display using Molecular Microprinting: Wooyoung Shim*, Kim SeungYeon(연세대학교)

Keywords: Molecular printing, Thermochromic display, Color-switching

Reflective-type display using thermochromic materials offers several advantages over the conventional optoelectronic technology: a passive circuit element-driven simplified device layout, cost-effectiveness, and clear visibility. An Inherent challenge of chromic displays is slow color transition, which results from the mass-dependent characteristic of chromic inks. A large mass of the thermochormic ink has a large heat capacity requiring more energy to induce color switching. A molecular printing using polymer pen array technique that can reduce the mass of the delivered ink, may offer the ability to effectively control the switching time in a spatially controlled manner. Here, we demonstrate a method for molecular printing of a thermochromic ink with a low heat capacity, enabling an unprecedented, fast color switching without any optoelectronic elements. Molecularly printed ink is patterned on fabricated microheaters that induce transient local heat generation, facilitating local heating and cooling processes. Depending on the concentration of the thermochromic ink, i.e., the number of microcapsuled dyes in the form of a monolayer resulting in a low heat capacity, the chroma of the patterned ink could be increased. Using this technique, the thermochromic ink could be printed over centimeter scales, with CMYK (cyan-magenta-yellow-black) colors at a color-switching rate of 20–500 ms, to be integrated into the thermochromic device prototype for potential display applications.

[P15-5]

Structurally Graded Silica Nanohelices for Polarization Control in Next-Generation Display Optics: 안은영, 정영준, 이명재*(서울대학교 / Seoul National Univ.)

Keywords: Silica

Three-dimensional nanostructures with advanced polarization control capabilities enable precise manipulation of light propagation, color purity, and viewing angles, overcoming the inherent trade-offs of conventional thin-film polarizers and metasurfaces that often suffer from optical losses, limited bandwidth, and angular restrictions. These advantages make them promising key components for next-generation display technologies. In this study, we fabricated a structurally graded array of silica (SiO_2) nanohelices using a two-photon polymerization (TPP) process. The design incorporated six structural parameters—handedness, wire diameter, vertical pitch, external diameter, number of turns, and lattice period—which were gradually varied along the x- and y-directions of the substrate to achieve spatially continuous and selectively tunable polarization responses. The structures were fabricated using a negative photoresist composite including acrylic polyoctahedral silsesquioxanes (POSS) and a photoinitiator, and subsequently converted into high-density, optically transparent silica through thermal treatment. Structural fidelity and stability were verified using scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy (OM). Polarization characteristics, including chirality selectivity, circular dichroism, and circular polarization conversion efficiency, were mapped via Stokes parameter imaging, and the correlation between geometry and optical response was quantitatively modeled using a linear algebra-based framework. This analysis provides a foundation for inverse design of nanostructures with targeted optical functionalities, enabling application-specific polarization control. Overall, this study introduces a paradigm for precise polarization control and spectral tuning in display materials engineering, addressing limitations of conventional approaches and opening new opportunities for high-resolution photonic devices, polarization-sensitive color filters, and optical modules for augmented- and virtual-reality (AR/VR) systems.

[P15-6]

High Resolution and Low Exposure Dose Direct Optical Lithography of in-situ Crystallized Metal Halide Perovskite Films: Hyungdoh Lee, Himchan Cho*(한국과학기술원)

Keywords: Direct optical patterning, metal halide perovskite

Direct optical lithography is a high-resolution, uniform patterning technique for metal halide perovskites that eliminates photoresist coating and reduces process steps while retaining the advantages of conventional photolithography. However, it has mainly been applied to perovskite nanocrystal systems with their surface ligands, which require complicated nanocrystal synthesis and ligand determining steps. Recently, direct optical patterning has been extended to in-situ crystallized perovskite films due to their simple synthesis, but it still requires a very high exposure dose ($\geq$900 mJ cm^{-2}) and achieves only ~100 μm resolution, owing to large perovskite grain size and over-exposure (overdose) effects. In this work, we present a high-resolution, low-dose direct optical patterning strategy for in-situ crystallized perovskite films by incorporating a functional polymer additive into the perovskite precursor and employing thiol–ene based crosslinkers. The functional polymer induces uniform perovskite crystallization with grain sizes of 20~30 nm with passivating the perovskite surfaces. Additionally, the crosslinker provides highly reactive thiol–ene moieties along with additional passivation sites on the perovskite surface. Using this synergistic approach, we achieved ~3 μm patterns with an exposure dose of only 10 mJ cm^{-2}. It is promising for fabricating electroluminescent layers in perovskite LEDs, enabling compatibility with micro-LED-scale pixelation and other microelectronic architectures.

[P15-7]

온도 및 pH 조건 최적화 후 사카린 첨가량 변화에 따른 Fe – Ni 합금의 전주도금 거동: 김선민, 김진범, 안다영, 김인경, 박용범, 신세은*(Sunchon National University)

Keywords: 전주도금, 사카린, Invar, 상분율, 결정립 성장

OLED 디스플레이 제조 공정에서는 FMM(fine metal mask)의 열 변형을 방지하기 위해 낮은 열팽창계수를 가지는 Invar(Fe – 36.5 wt.% Ni) 합금이 주 소재로 사용된다. 특히 디스플레이 해상도 향상을 위해 FMM 두께를 10 μm 이하로 줄여야 하며, 이를 위해 전주도금과 같은 Bottom – Up 공정이 얇은 Invar 박막 제조에 유망한 방법으로 주목받고 있다. 하지만 전주도금으로 얻은 Invar 초박판의 미세조직, 표면 형상 및 상분율은 공정 조건에 크게 좌우되므로, 목표 특성을 달성하려면 최적 조건 설정이 필수적이다. 또한 첨가제 중 하나인 사카린은 결정립 미세화와 내부 응력 완화에 효과적인 첨가제로서 전주도금 품질 향상의 핵심 변수로 알려져 있다. 본 연구에서는 전주도금 공정조건 제어 이후 사카린 첨가량 변화에 따른 Fe – Ni 합금의 전주도금 거동에 대하여 조사하였다. 먼저 pH 2.4 – 2.8 및 온도 55 – 65 ℃ 범위에서 전주도금을 수행하여 표면 조도와 표면 형상을 분석한 결과, pH 2.8 및 55 ℃ 조건에서 가장 평탄하고 미려한 표면이 형성되었으며, 수소 발생으로 인한 백화 현상과 박리 현상이 최소화되었다. 이후 최적 공정 조건에서 사카린 첨가량을 0.7 – 5.2 g/L 범위로 변화시켜 전주도금을 진행하였다. 그 결과 1.3 – 2.6 g/L 수준의 사카린 첨가 시 표면형상이 향상되고 결정립이 현저히 미세화되었다. 사카린 첨가량과 후열처리는 상분율 변화 및 결정립 성장 거동에 모두 영향을 주었고, 열처리 온도가 상승함에 따라 α + γ 복합상에서 안정적인 γ” 상으로의 상변태가 진행되었다. 특히 사카린 첨가량이 높을수록 결정립 미세화가 더욱 촉진되었고, 시편을 600 ℃에서 열처리한 후에는 결정립 성장과 상변태가 원활하게 진행되었다. 열처리 후 열팽창계수(CTE)는 큰 폭으로 감소하였으며, 사카린 첨가량 0.7 g/L 샘플을 600 ℃ - 6 hr 열처리 시 CTE가 0.7 ppm/℃까지 낮아져 가장 우수한 열 안정성을 나타냈다. 이러한 결과는 전주도금 공정에서 첨가제 함량과 후열처리 조건을 정밀하게 제어함으로써 Invar 박판의 미세조직 및 열팽창 특성을 효과적으로 조절할 수 있음을 보여준다. 나아가 이는 고온 환경에서 치수 안정성이 요구되는 FMM 제조에 Invar 전주도금 박판을 활용할 수 있는 가능성을 시사한다.

[P15-8]

Direct optical lithography of intrinsically stretchable colloidal emissive nanocrystals: Park Sun Jae(KAIST), Taewon Kang(Northwestern university), Wonbeom Lee(KAIST), Jiheong Kang*(서울대학교), Himchan Cho*(KAIST)

Keywords: Display, Perovskite nanocrystals, Stretchable, Direct optical lithography

Colloidal emissive nanocrystals (NCs), including halide perovskite NCs and quantum dots, are renowned for their exceptional color purity, making them highly attractive for high-resolution, wide-color gamut display applications. However, their intrinsic brittleness has limited their use in next-generation wearable displays. In this work, we present a dual crosslinker strategy that simultaneously imparts intrinsic stretchability and enables precise patterning of colloidal NCs. This approach employs a small-molecule crosslinker to achieve fine-resolution patterning, while a polymeric crosslinker provides mechanical compliance. The resulting stretchable network supports patterning down to 2 μm resolution and with a maximum stretchability up to 36%, while preserving the optical properties of the nanocrystals. By addressing both mechanical and optical limitations of conventional methods, our strategy demonstrates the feasibility of high-performance, stretchable light-emitting layers, opening new pathways for wearable displays and flexible optoelectronic devices.

[P15-9]

La3Si6N11:Ce3+(LSN) **대체를 위한** M2SiO4:Eu^{2+} (M=Ca, Sr, Ba)**황색 형광체 개발**: 홍명환, 김재찬*(고등기술연구원)

Keywords: 디스플레이, 황색형광체, 고상법, 발광특성

백색 LED 구현에 필수적인 황색 형광체는 발광 효율과 안정성을 좌우하는 핵심 소재이다. 현재 산업적으로 가장 널리 주목받는 황색 형광체는 일본 미쯔비시가 독점적으로 상용화한 La3Si6N11:Ce3+(LSN)이다. LSN은 540~560 nm 영역에서 높은 발광 강도와 뛰어난 내열성을 보이며, 디스플레이 백라이트 및 고출력 LED 조명 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히 장파장 여기 특성이 우수하여 청색 LED 칩($\lambda_{ex} \approx 450$ nm)과의 조합을 통해 고효율 백색광 구현이 가능하다. 그러나 LSN은 일본이 원천 기술과 시장을 독점하고 있어 국내 기술 자립과 안정적 공급망 확보에 심각한 제약이 따른다. 또한 합성 과정에서 1800°C 이상의 고온과 10 MPa 이상의 고압 질소 분위기를 필요로하며, 가스 압력 소결(GPS, Gas Pressure Sintering) 장비를 사용해야 단일상 형성이 가능하다. GPS는 대당 수억 원에 달하는 고가 장비로, 이는 곧 높은 생산 비용과 기술 장벽으로 이어진다. 아울러 LSN은 조성 변화 및 입도 제어가 까다로워 발광 파장의 정밀 조정이나 나노·마이크로 크기 제어가 어려워, Micro-LED와 같은 차세대 응용에는 한계가 존재한다. 이러한 배경에서 본 연구는 LSN의 한계를 극복하고 국내 독자적 기술 기반을 확보하기 위해 신규 황색 형광체 $M_2SiO_4:Eu^{2+}$ (M = Ca, Sr, Ba)를 고상법(solid-state reaction method)으로 합성하였다. 합성 과정에서는 Ca, Sr, Ba의 조성비와 소성 온도를 주요 변수로 설정하여 발광 특성 변화를 체계적으로 조사하였다. 합성된 시료는 X선 회절(XRD)을 통해 결정상 형성 여부와 구조적 안정성을 분석하였으며, 주사전자현미경(SEM)을 이용해 입자 크기 및 형상을 관찰하였다. 광학적 특성은 광발광(PL) 및 여기(PLE) 분석을 통해 평가하였다. 연구 결과, Sr/Ba/Ca 비율 변화에 따라 발광 중심 파장의 이동이 관찰되었으며, 소성 온도 조건이 입자 크기·형상 및 발광 강도에 크게 영향을 미침을 확인하였다. 본 연구는 M2SiO4 기반 황색 형광체가 LSN을 대체할 수 있는 잠재력을 지님을 보여주었으며, 나아가 Micro-LED용 색변환 소재 등 차세대 디스플레이와 조명 응용에 활용될 수 있음을 제시한다. 이는 국내 기술 자립과 글로벌 공급망 다변화에도 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

[P15-10]

Highly Bright Deep-Blue Perovskite Light-Emitting Diodes via Dual-Passivating Halide Exchanger: Lee Jun-Seo(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea), Himchan Cho*(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea, Graduate School of Semiconductor Technology, School of Electrical Engineering (EE), Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea), Hyungdoh Lee(Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Republic of Korea)

Keywords: 페로브스카이트, 발광다이오드, 고휘도, 딥블루

Deep-blue perovskite light-emitting diodes (PeLEDs) are essential for the full-color commercialization of PeLED-based displays. While recent studies have reported external quantum efficiencies (EQEs) exceeding 10%, their practical application remains limited due to low luminance (typically below 100 cd m^{-2}) and poor spectral stability under device operation. In this study, we introduce a dual-passivating additive-based synergetic solid-state halide exchange (DASH) process to address these challenges and realize highly bright and spectrally stable deep-blue PeLEDs. The DASH process facilitates nondestructive chloride incorporation into pristine perovskite films, resulting in improved film morphology, enhanced photoluminescence quantum yield, and more homogeneous halide composition. The optimized PeLEDs exhibit a peak emission at 459 nm with Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) coordinates of (0.1414, 0.0408), achieving a maximum luminance of 237 cd m^{-2}. To the best of our knowledge, this represents the highest luminance reported for bulk polycrystalline perovskite film-based PeLEDs emitting below 460 nm. This work highlights the potential of the DASH process for advancing deep-blue perovskite optoelectronics by simultaneously improving spectral stability and brightness.

[P15-11]

Modular Photonic Integrated Circuits for Transparent and Reconfigurable Display Backplanes: Kim Samuel, Myungjae Lee*, Gyuin Baek, Youngjun Chung, Sehyeon Park, Eunyoung Ahn(서울대학교)

Keywords: 광재료, 광집적회로, 2D 재료

Transparent displays and near-eye displays require transparent backplanes to achieve high optical transmittance and minimal visual obstruction. Current active-matrix backplanes based on silicon CMOS transistors are opaque in the visible spectrum, limiting their application in fully-transparent displays. Photonic integrated circuits (PICs) offer a potential alternative, replacing electronic signal distribution with optical routing. Two-dimensional (2D) materials, such as transition metal dichalcogenides (TMDs) and graphene, are well-suited for this approach due to their sub-nanometer thickness and >90% transmittance in monolayer form. 2D materials can serve as both passive optical waveguides and active electro-optic devices, enabling ultrathin and transparent backplane architectures. In this work, we demonstrate a fully transparent photonic integrated circuit (PIC) platform that incorporates both passive and active components. Passive optical routing is achieved through integrated beam splitter, mirrors, and waveguide modules, while active functions are implemented using a monolayer WSe_2 photodetector and a graphene-based electro-optic modulator. All components are designed as modular units, allowing interchangeable assembly and targeted upgrades without redesigning the entire backplane.. This modular transparent PIC platform provides a scalable route toward reconfigurable and multifunctional backplanes for next-generation transparent displays and AR/VR systems.

[P15-12]

Phase-Matched Coupling of Colloidal Quantum Dots to Photonic Crystal Band-Edge Modes for Highly Directional Emission: Chung Youngjun, Gyuin Baek(Materials Science and Engineering, Seoul National University), Jonggwan Min(Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University), Sehyeon Park, Sunwoo Woo(Materials Science and Engineering, Seoul National University), Myungjae Lee*(Materials Science and Engineering, Seoul National University, Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University)

Keywords: photonic crystals, color conversion materials, colloidal quantum dot, guided mode resonance, light extraction efficiency

Achieving angular control over the emission profile of colloidal quantum dots (CQDs)—widely regarded as attractive color-conversion layers for micro-light-emitting-diode (μLED) displays—is vital for augmented- and virtual-reality (AR/VR) near-eye systems. In these applications, both optical efficiency and angular confinement strongly affect visual fidelity and comfort. Although photonic crystals (PhCs) and CQD emitters have individually received extensive attention, most prior CQD–PhC combinations have concentrated on enhancing photoluminescence (PL) intensity through slow-light or band-edge effects, typically by coating continuous CQD films on patterned substrates. Such geometries, however, inevitably support guided modes that allow parasitic in-plane propagation, which undermines emission directionality and limits light-extraction efficiency (LEE). In this work, we introduce an all-dielectric silicon nitride (Si_3N_4) PhC platform incorporated with the CQD. CdSe/ZnS CQDs are selectively infiltrated into the grooves of one- and two-dimensional PhCs, while avoiding the formation of an overlying film on top of the PhC. This undercoated geometry suppresses guided-mode formation, mitigates in-plane optical losses, and ensures efficient vertically out-coupled emission. The CQD placement is realized via a PDMS squeegee-sweeping technique assisted by acetone pre-wetting, which promotes uniform infiltration into the grooves of the PhC without residual film deposition. Experimentally, the resulting CQD-embedded PhCs exhibit an 8.5-fold increase in PL intensity together with angular narrowing of the emission full width at half maximum (FWHM) to below 10° under guided-mode resonance conditions near the band edge. In addition, we establish a phase-matching model quantitatively relating PhC period to emission angle, verified through both photonic band-structure mapping using finite-difference time-domain (FDTD) simulations and angle-resolved PL (ARPL) measurements.

[P15-13]

공침법 기반의 (Sr, Ba)2SiO4:Eu2+ 나노형광체 합성 조건에 따른 발광 특성 제어: 홍명환, 박경수*(고등기술연구원)

Keywords: 나노형광체, 마이크로LED, 공침법, 발광특성

차세대 디스플레이 기술로 각광받는 마이크로 LED(Micro-LED)는 탁월한 발광 효율, 낮은 전력 소모, 장수명, 높은 명암비, 빠른 응답 속도 등의 우수한 특성으로 인해 모바일 기기, AR/VR, 차량용 디스플레이, 대형 디스플레이 등 다양한 응용 분야에서 큰 잠재력을 지니고 있다. 그러나 기존의 RGB 개별 칩 배열 방식은 소형화와 대량 생산 과정에서 여러 기술적 한계에 직면하고 있다. 특히 마이크로미터 이하의 정밀한 픽셀 정렬이 필요하며, 칩 수 증가로 인해 제조 비용이 상승하고, 신뢰성 확보가 어렵다는 문제가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 청색 LED 칩 기반의 색변환 방식이 제시되고 있다. 이 방식은 청색 LED 칩 위에 적합한 적·녹색 형광체 또는 양자점을 코팅하거나 미세 패터닝하여 RGB 색을 구현하는 기술로, 칩 수를 크게 줄일 수 있고 공정 단순화와 고해상도 확보가 가능하다. 특히 형광체 기반 색변환은 양자점에 비해 높은 열적 안정성, 내구성, 장수명, 고색재현성을 제공하는 장점이 있어 상용화 가능성이 크다. 그러나 기존 형광체는 수십 마이크로미터(μm)에 달하는 큰 입도 때문에 마이크로 LED 소자의 수백 나노미터 수준의 픽셀 크기와 호환되지 않으며, 미세 패터닝 공정에도 부적합하다. 따라서 500 nm 이하의 나노 입도를 가지면서도 높은 양자효율, 낮은 열적 소광, 우수한 수분 안정성, 공정 호환성을 동시에 만족하는 나노형광체의 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 마이크로 LED용 색변환 소재로서 유망한 녹색 형광체 (Sr, Ba)2SiO4:Eu2+를 공침법(co-precipitation)을 이

용해 합성하였다. 합성 과정에서 Sr과 Ba의 몰비 및 NaOH 농도를 변화시키며 전구체의 형성과 구조적 안정성을 제어하였고, 이후 소성 공정에서 온도와 시간을 조절하여 결정상 형성과 입자 크기 제어, 발광 특성 최적화를 시도하였다. 합성된 시료는 X선 회절(XRD)을 통해 결정상의 형성 여부와 상전이 거동을 분석하였으며, 주사전자현미경(SEM)으로 입자의 크기, 형태, 분산도를 관찰하였다. 광학적 특성은 광발광(PL) 분석을 통해 여기파장(365 nm)에서의 발광 중심 파장, 발광 강도 및 내부 양자효율을 측정하였다. 실험 결과, Sr:Ba 비율에 따라 발광 중심 파장이 청색 영역에서 녹색 영역으로 이동하는 조성 의존적 특성을 확인하였으며, NaOH 농도와 소성 조건 변화는 입자의 크기, 구형도, 분산성에 큰 영향을 미쳤다. 이에 따라 발광 강도 및 열적 안정성 역시 변화하는 것이 관찰되었다. 특히 최적 조성 및 조건에서 합성된 형광체는 기존 상용 황색·녹색 형광체 대비 우수한 발광 강도와 나노 수준의 입도 분산성을 확보하여, Micro-LED의 색변환 소재로 적용 가능성을 확인하였다.

[P15-14]

RF Sputtering을 이용한 고경도·저반사 디스플레이 커버글라스용 SiO_2/ZrO_2 다층 박막의 기계적·광학 특성: 백원종, 진우찬, 이상훈, 김종규, 이태우(서울대학교), 안수빈(홍익대학교), 박찬*(서울대학교, 신소재공동연구소)

Keywords: sputtering, ZrO_2, SiO_2, 저반사, 고경도

차세대 디스플레이 산업의 발전에 따라 고화질 구현과 기계적 내구성 향상을 동시에 만족시키는 커버글라스 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히, 반사로 인한 시인성 저하와 외부 충격에 의한 손상을 줄이기 위한 저반사(AR) 코팅 및 고경도 표면 처리가 핵심 기술로 주목받고 있다. 현재 개발된 AR 코팅은 반사율 저감에는 효과적이나, 경도 확보에는 한계가 있어 광학적 특성과 기계적 특성을 동시에 개선할 수 있는 다층 구조의 정밀 설계 및 공정 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 굴절률 차이를 활용한 SiO_2/ZrO_2 다층 박막을 스퍼터링 방식으로 증착하여, 고경도이면서 저반사 특성을 갖는 AR 코팅을 구현하고자 하였다. 최적화된 구조 설계를 통해 반사율 2% 이하, 표면 경도는 기준 대비 15% 이상 향상된 다층 박막을 제작하였으며, 반사율 및 색차 측정, 나노인덴터 경도 측정을 통해 박막 특성을 정량적으로 평가하였다.

P16 : 가공-용접 및 접합
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P16-1]
예열/후열 온도가 SMR 압력용기용 마르텐사이트계 스테인리강의 저온 균열 및 기계적 물성에 미치는 영향: 최정현, 최병욱(부산대학교), 이윤상(두산에너빌리티), 강남현*(부산대학교)
Keywords: 마르텐사이트계 스테인리스강, 저온 균열, 열영향부, 예열, 후열

소형 모듈 원자로(SMR) 압력용기는 안전 확보를 위해 높은 강도와 내부식성을 동시에 요구한다. 이를 만족하기 위한 한 방법으로 고강도 강재 표면에 오스테나이트계 스테인리스강을 클래딩(cladding)하는 공정이 사용되나, 제작 기간과 비용 상승의 한계가 있다. 이에 대한 대안으로, 높은 Cr 함량에 기인한 내부식성과 마르텐사이트 기지 조직에 따른 고강도를 겸비한 마르텐사이트 스테인리스강이 SMR 압력용기 소재로 주목받고 있다. 그러나 조립 과정의 아크 용접 동안 열영향부(HAZ)에는 가열–냉각 열이력이 부여되며 마르텐사이트 변태가 수반되어, 경화된 HAZ에서 underbead cracking 과 같은 저온 균열이 유발될 수 있다. 언더비드 균열은 수소 존재, 마르텐사이트 변태에 의한 체적 변화와 그로 인한 잔류응력, 취성 조직의 공존 하에서 발생하며, 원자로 압력용기와 같은 안전 최우선 부품에서 반드시 배제되어야 한다. 본 연구는 압력용기 제작에 일반적으로 적용되는 아크 용접 조건에서 예열 및 후열 온도가 마르텐사이트계 스테인리스강의 저온 균열 민감성과 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 예열·후열 조건이 탈수소 여부 및, 냉각속도와 마르텐사이트 상변태 거동에 미치는 상관관계를 분석하고, 그에 따른 HAZ 미세조직·경도 분포와 언더비드 균열 발생 사이의 연계를 규명하고자 하였다. 또한 예열 및 후열 조건이 인장 및 충격 특성 등 기계적 특성에 미치는 영향까지 고려하여 마르텐사이트계 스테인리스강의 적절한 예열 및 후열처리의 중요성을 논의하고자 함.

[P16-2]
항복강도 900MPa급 초고강도 multi-variant 베이나이트 조직 기반 강도-인성 특성 고찰: 백종민, 김종훈(국립창원대학교), 손명락(고려용접봉), 김용진(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)
Keywords: Weld metal, Composition, Bainite, Microstructure, Strength-toughness balance

고강도 용접금속에서 강도–인성의 동시 확보는 여전히 중요한 기술적 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 coalesced bainite (Bc) 억제와 multi-variant bainitic 미세조직이 유도된 항복강도 900 MPa급 용접금속을 대상으로 미세조직 인자와 강도/인성과의 상관성을 고찰하고자 한다. 열역학·확산 계산을 통해 제안된 0.09C–3.0Ni–0.9(Cr+Mo+V) (wt.%) 성분계에 대해, dilatometer 시험을 통해 450–460 °C 에서 carbide-free bainite의 autocatalytic 변태가 유도됨을 확인하였다. Multi-pass 용접부의 최종 미세조직은 late bainite ＞90%, Bc+마르텐사이트 ＜4%로 제어되었다. TEM 분석 결과, lath 경계의 탄화물 석출 및 잔류 오스테나이트가 관찰되지 않았고, APT 분석에서는 lath 경계의 탄소 편석과 Cr–Mo–V rich한 나노 클러스터의 균일한 분포가 확인되었다. 방위 분석 결과, Kurdjumov–Sachs(KS) 방위관계에 대응하는 24개 variant가 균등하게 분포하여 40°를 초과하는 고각입계 기반의 interlocking한 미세조직이 형성되었으며, 이는 균열 경로의 굴절과 변형 분산에 기여하는 것으로 해석된다. 이러한 합금 조성과 최적의 미세조직 조합을 통해 항복강도 950 MPa와 −51 °C에서의 Charpy 충격치 대략 50 J를 동시에 달성하였다. 본 결과는 베이나이트 variant 다양화, 원소의 편석 및 나노 클러스터를 고려한 고강도 용접금속이 강도–인성 trade-off 완화에 효과적임을 제시한다.

[P16-3]
EBW–FSP 공정이 듀플렉스 스테인리스강 용접부 내식성에 미치는 효과: 백종민, 이아름(국립창원대학교), 하종문(두산에너빌리티), 홍현욱*(국립창원대학교)
Keywords: Duplex stainless steel, Electron Beam Welding, Friction Stir Processing, U-bend, CISCC

듀플렉스 스테인리스강(duplex stainless steel)은 페라이트계 및 오스테나이트계 스테인리스강보다 우수한 기계적 특성 및 내식성의 조합으로 인해 해양 구조물에 널리 사용된다. 이러한 해양 구조물들은 보통 해안가에 위치하기 때문에 염분으로 인한 염화물 응력 부식 균열(Chloride Induced Stress Corrosion Cracking, CISCC)이 발생할 가능성이 있다. 따라서 CISCC에 대한 저항성이 매우 중요한데 CISCC는 보통 용접부의 열영향부(Heat-affected-zone)에서 탄화물(carbide)이나 시그마(σ) 상이 생겨 Cr이 고갈되어 발생하게 된다. 본 연구에서는 canister의 전자빔 용접부(EBW) 표면이 마찰교반가공(FSP)에 의해 미세조직이 어떻게 개선되는지, 그리고 CISCC에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 모재의 미세조직은 페라이트와 오스테나이트의 상분율이 동일하게 확인되었고, 전자빔 용접부의 미세조직은 페라이트, grain boundary austenite(GBA), intra-granular austenite(IGA), Widmanstatten austenite(WA)로 구성되었다. 용접부의 상분율은 페라이트 58.4 %, 오스테나이트 41.6 %로 확인되었다. 이에 대해 FSP 처리 후, 상분율은 오스테나이트 70.0 %, 페라이트 29.9 %, 시그마상 0.1 %로 확인되었다. 그리고 표면부의 미세조직은 동적재결정에 의해 결정립이 미세화(base metal≒17.3 μm, weld metal≒51.9 μm, FSP 영역≒2.6 μm) 되고 높은 strain이 분포함을 확인할 수 있었다. 미세화로 인해 Cr이 입내에서 입계로 확산되는 거리가 짧아져 입계를 따라 표면으로 확산되기 쉬워 표면에 보다 두꺼운 passive film을 형성해 CISCC 저항성을 향상시켜줄 것이라 판단된다. 또한, FSP tool의 마모에 의해 FSP 영역에서 텅스텐에 의한 강화효과도 확인되었다. 이후, FSP 처리를 통한 결정립 미세화가 실제로 CISCC 저항성을 향상시키는지를 평가하기 위해 U-bend 염수 분무 시험을 수행하였다. EBW WM의 표면에서는 다수의 pitting corrosions과 EDS 분석 결과(Cr 증가 & Fe 감소) 미세 CISCC도 확인되었다. 하지만 FSP 처리된 표면에서는 부식으로 인한 pitting이나 CISCC가 관찰되지 않았다. 이러한 결과를 바탕으로, FSP 처리를 통해 미세조직을 제어하여 CISCC 저항성을 향상시킬 수 있음을 검증하였다.

[P16-4]

Cu 중간재 두께 변화가 Ti/SUS 브레이징 접합부 확산 거동 및 기계적 특성에 미치는 영향: 노주림, 이진규*(국립공주대학교)

Keywords: 이종 접합, 브레이징, 비정질, 확산

이종 재료의 접합은 서로 다른 소재의 장점을 융합하여 우수한 성능을 구현할 수 있는 효과적인 방법으로 주목받고 있다. 그러나 티타늄 합금과 스테인리스강의 경우, 고온 접합 과정에서 취성 금속간화합물이 형성되어 접합부의 기계적 특성을 저하시키는 한계가 존재한다. 브레이징(brazing)은 모재의 용융 없이 삽입재를 이용해 접합을 수행하는 공정으로, 저융점 비정질 삽입재와 중간재(interlayer)를 적용하여 취성상의 생성을 억제하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 비정질 Zr-Ti계 합금을 삽입재로 활용하고, 원소 확산 거동을 제어하기 위해 Cu 중간재의 두께를 변화시켜 그 영향을 체계적으로 분석하였다. 모재로는 CP-Ti(Grade 2)와 STS304를 사용하였으며, 브레이징 후 일정 온도에서 유지하여 확산에 의한 등온응고(isothermal solidification)를 유도하였다. 삽입재의 용융 거동은 시차열분석(DTA)을 통해 확인하였고, X선 회절분석(XRD)을 통해 삽입 금속의 비정질 구조를 확인하였다. 또한 접합부의 미세조직, 원소 확산 거동 및 상 변화를 규명하기 위해 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산형 X선 분광분석(EDS)을 실시하였다. 마지막으로, 인장 시험을 수행하여 Cu 중간재 두께 변화가 접합부의 기계적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P16-5]

Ti 첨가 및 용접 공정에 따른 저방사화강 용접부의 고온 크리프, 피로 및 크리프-피로 특성 비교: 박정현, 한재연, 이상현(국립창원대학교), 김치원, 이창훈(한국재료연구원), 정승진(조선선재), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: Reduced-Activation Ferritic/Martensite (RAFM) steel, EBW, GTAW, Heat-Affected-Zone (HAZ), Thermal stability, MX precipitate

핵융합 발전은 환경오염 물질 발생이 없고, 자원 고갈 위험이 없어 미래 청정에너지원으로 주목받고 있다. 핵융합로 운용 환경은 높은 중성자속 및 열속의 극한 환경으로, 저방사화강(Reduced activation ferritic/martensitic steel)이 유력한 후보 소재로 고려되고 있다. 그러나 저방사화강 용접부는 높은 변형 불일치도, 준안정 석출물 조대화 및 유해상 석출 등의 열화 저항성이 우려되는 실정이다. 본 연구에서는 MX 석출물 분율 증가를 위해 Ti을 첨가하였고 높은 전위 밀도를 위해 낮은 tempering 온도(730 ºC)를 적용하였다. 또한 열영향부(Heat-affected-zone) 폭을 줄이기 위해 EBW 공정을 적용하였고 특성 평가를 위한 비교재는 GTAW 공정을 적용하였다. 모재 미세조직 분석 결과, 0.013 wt% Ti 첨가는 MX 석출물의 분율을 증가시켰고(2.0 → 4.6 %), 또한 $M_{23}C_6$ 석출물의 평균 크기를 감소시켰다(148.9 → 119.3 nm). 저방사화강의 운용 온도인 550 ºC 에서 Ti 첨가 강재와 EBW 적용재가 인장, 크리프 및 피로 시험에서 우수한 특성을 나타내었다. EBW 적용재의 우수한 인장, 크리프 및 피로 특성은 EBW 공정으로 인한 HAZ의 좁은 폭에 기인한 것으로 판단된다. EBW 적용재의 Ti 첨가 및 미첨가 저방사화강의 크리프 파단 및 피로 파단된 시편에 대해 TEM 미세조직 분석을 진행하였고, 그 결과 Ti 첨가 저방사화강에서 크리프 및 피로 시험 이후에도 lath 구조가 부분적으로 유지되고 있으며, 더 높은 전위밀도가 관찰되었다. 크리프-피로 시험 결과 Ti첨가에 따른 수명의 차이는 뚜렷하지 않았다. 하지만 GTAW 적용재의 파단부 반대쪽 OTHAZ에서 EBSD 분석을 진행한 결과 재결정이 확인되었으며, Ti 첨가 저방사화강에서 더 낮은 분율의 재결정이 나타났다. 또한 EBW 적용재의 EBSD 분석 결과 더 높은 분율의 HAGB이 유지되었으며, 회복에 의한 LAGB의 형성이 억제된 것이 확인되었다. 이는 Ti 첨가에 따른 높은 MX 분율에 기인한 것으로 판단된다. 더 낮은 변형률 조건에서 크리프-피로 시험 진행 시 Ti 첨가 저방사화강에서 더 우수한 크리프-피로 특성이 나타날 것으로 예상된다. 본 연구결과를 통해 핵융합로 구조용 저방사화강에 대한 Ti 첨가 및 EBW 공정은 열화 저항성 향상에 기여하는 것으로 판단된다.

[P16-6]

API X70 Pipe의 용접부 위치에 따른 미세조직 및 기계적 특성의 변화: 곽종현, 성효경*(국민대학교)

Keywords: 고강도 저합금강 (HSLA steel), API X70, 용접부 (WM, HAZ, BM), 응력부식균열 (SSRT), 저온 피로, 수소취성

API X70 라인파이프강은 고압 및 극한 환경에서의 안정적 유체 수송에 널리 사용되며, 특히 용접부의 기계적 안정성과 부식 저항성은 구조 신뢰성 확보에 중요한 요소이다. 본 연구에서는 API X70 용접부(WM, HAZ, BM)의 미세조직과 기계적 거동을 분석하고, 공기 및 수소 유입이 촉진된 부식 환경에서의 응력부식균열(SSRT)과 저온(–50 °C) 고주기 피로 특성을 평가하였다. 미세조직 관찰 결과, HAZ는 조대한 베이나이트와 MA 상이 혼재하여 국부적인 취성화가 발생했으며, BM은 세립화된 QPF–P 조직으로 가장 우수한 연성과 내식성을 나타냈다. SSRT에서는 세 영역 모두 성능 저하가 확인되었고, 특히 HAZ는 연신율 감소율(RTE) 29.4%로 가장 큰 열화를 보였다. 저온 피로 시험에서는 WM과 HAZ 모두 응력 진폭 증가에 따라 수명이 감소하는 전형적 S–N 거동을 보였으며, 고응력 조건에서 조기 파단이 나타났다. 특히 HAZ는 상대적으로 짧은 수명 분포가 우세하였고, 장수명(run-out) 시편은 제한된 응력 범위에서만 관찰되었다. 본 연구는 API X70 용접부의 미세조직 불균질성이 수소 환경 기계적 거동과 저온 피로 신뢰성에 미치는 영향을 규명하여, 극저온·부식 환경에서의 용접부 설계 및 평가에 기초 자료를 제공한다.

[P16-7]

해양용 H형강의 기계적 특성 및 부식 환경 모사 후 피로 특성 고찰: 박정현, 한재연, 이상현(국립창원대학교), 이창훈(한국재료연구원), 정준호(현대제철), 김재성(조선선재), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: H-Beam, FCAW, Fatigue, Corrosion

본 연구는 해양용 개발 강재의 용접 공정의 실용성 확인을 위해 구조용강 용접 시 주로 이용되는 플럭스 코어드 아크용접 (Flux Cored Arc Welding, FCAW)에 의해 제작된 용접부 및 모재의 상온 저주기 피로 특성을 고찰하고, 미세조직학적으로 해석하고자 하였다. FCAW 용접을 위해 FCAW-460S(작업 개선용) 용접 와이어를 사용하였다. 용접금속은 Acicular ferrite와 bainitic ferrite가

혼합된 조직이 나타났고, 열영향부(Heat-Affected zone, HAZ)에서는 피크 온도에 따른 상이한 조직이 나타났다. CGHAZ(Coarse Grained Heat-Affected-Zone)에서는 베이나이트 조직이 나타났으며, FGHAZ(Fine Grained Heat-Affected-Zone)에서는 베이나이트와 페라이트가 혼합된 조직이 나타났고, ICHAZ/SCHAZ(Inter Critical Heat-Affected-Zone/Sub Critical Heat-Affected-Zone)에서는 페라이트와 시멘타이트가 분절되어 있는 Degenerated pearlite가 혼합된 조직이 확인되었다. 모재에서는 페라이트와 펄라이트 조직이 나타났다. 또한, 용접된 강재의 건전성 평가를 위해 경도 traverse를 측정한 결과, 모재에 비해 용접금속의 경도가 높은 overmatching 경향이 나타났다. 인장 시험 시 모재 대비 용접 시험편의 경우 더 높은 강도가 나타났으며, 이는 용접 시험편의 경우 상대적으로 경화된 조직에 의해 높은 강도를 나타낸 것으로 판단된다. 저주기 피로 시험 결과, 용접 시험편의 경우 모든 변형률 조건에서 모재시험편에 비해 더 낮은 피로 수명이 나타났으며, 이는 용접 시험편에서 상대적으로 연질의 페라이트 및 펄라이트 조직이 응력 집중에 더 취약하게 작용하였기 때문으로 사료된다. 해양용 형강은 일반적으로 염수 환경에 노출되는 동시에 해파에 의한 영향을 받으므로 splash zone을 모사하기 위해 염수 분무 시험을, submerged zone을 모사하기 위해 염수 침지 시험을 진행하였고 이후 피로 시험을 진행하였다. 부식 환경 모사 시험 전과 비교하였을 때 모재 시험편의 경우 침지 시험 이후에도 유사한 피로 수명이 나타났으며, 염수분무 시험 이후 뚜렷한 수명의 감소가 나타났다. 용접부 시험편의 경우 침지 시험 및 용접부 시험 모두 뚜렷한 수명의 감소가 나타났다. 이후 피로 파면 및 파단면에 대한 미세조직 분석 결과 침지 시험에 비해 염수 분무 시험 이후 피로 파면에서 조대한 피트가 확인되었으며, 파단면 분석 결과 표면에서 산화 스케일 및 입계를 따라 secondary crack이 다수 형성되었다. 또한 EPMA 결과 표면의 Secondary crack은 피로 과정이 아닌 부식 시험 중 형성된 secondary crack이라고 판단된다. 상기 결과를 통해 해양용 H형강재의 용접부 피로 특성을 향상시키기 위해서는 용접 공정 최적화가 필요하다. 또한 부식 과정 및 부식-피로 취약 인자에 대한 규명을 위해 추가적인 연구가 필요하다.

[P16-8]

고강도 저합금강 용접금속의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 용접자세의 영향: 배민혁(한국재료연구원, 부산대학교), 강용준*, 송상우(한국재료연구원), 박준영, 손명락(고려용접봉), 강남현(부산대학교)

Keywords: Welding position, Weld metal, Acicular ferrite, Multi-pass, Impact toughness

최근 조선·해양, 강관, 자동차 등 다양한 산업분야에서 사용되는 강재의 고강도화 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 고강도, 고인성의 용접금속을 확보하기 위한 용접재료 개발도 지속적으로 이루어지고 있으며, 용접금속의 기계적 특성, 특히 저온인성에 미치는 미세조직의 영향을 규명하기 위한 연구도 활발히 수행되고 있다. 본 연구에서는 플럭스 코어드 와이어와 메탈 코어드 와이어를 이용하여 다양한 용접자세에서 다층 용접금속을 제작한 후, 용접금속 위치별로 화학조성 분석과 기계적 특성 평가를 수행하였다. 다층 용접금속의 매크로 조직은 용착 그대로 상태의 영역과 후속 패스에 의한 열영향으로 상변태가 발생한 재가열부로 구분된다. 용접금속의 기계적 특성은 주로 미세조직 분율과 결정립 크기 등 다양한 요인에 따라 결정되며, 이러한 요인들은 합금성분과 용접조건 등에 영향을 받을 뿐만 아니라, 용착 그대로 상태 및 재가열된 영역에서 상이하게 나타난다. 본 연구에서는 시험자세 및 용접금속 위치에 따라 모재 희석률과 냉각속도가 달라짐으로 인해 용접금속의 기계적 특성 변화가 관찰되었으며, 미세조직 거동과의 상관관계를 분석하였다.

[P16-9]

AMB 공정을 이용한 Si_3N_4/Cu 방열 기판 제작: 권홍기(포항소재산업진흥원), 김준태, 이경훈(주식회사 코웰), 박상원*(포항소재산업진흥원)

Keywords: 방열 기판, Active Metal Brazing(AMB), 질화규소(Si_3N_4), 구리(Cu)

전기자동차 및 전력 반도체 소자의 고출력화·고집적화가 가속화되면서, 안정적인 열 관리와 장기 신뢰성을 확보할 수 있는 고성능 방열 기판의 필요성이 급격히 증가하고 있다. 보고에 따르면 전자 소자의 주요 고장 원인 중 약 55% 이상이 과열에 기인하며, 이에 따라 효율적인 열 방출 기술은 소자의 성능 유지와 수명 연장에 핵심적인 역할을 담당한다. 세라믹 기반 방열 기판은 높은 전기 절연성과 우수한 열전도 특성을 동시에 갖추고 있어 전력 반도체 모듈 및 고신뢰 전자 소자의 기판 소재로 적합하다. 특히 질화규소(Si_3N_4)는 우수한 기계적 강도와 높은 열전도도를 동시에 확보할 수 있어, 기존 Al_2O_3, AlN 기판 대비 기계적 신뢰성과 열 확산 능력 측면에서 장점을 가진다. 본 연구에서는 Si_3N_4를 기판 소재로 적용하고, Active Metal Brazing(AMB) 공정을 이용하여 구리(Cu)와의 이종 접합 방열 기판을 제작하였다. 다양한 공정 조건을 제어하여 접합 시편을 제조한 후, 계면 미세구조 분석을 수행하였다. 이를 통해 계면 반응층을 비교·검토하여 최적의 접합 조건을 도출하고자 하였으며, 향후 고신뢰 방열 소재의 설계 와 응용 확대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P16-10]

일반 TIG 및 진동 와이어 TIG 용접을 이용한 Ti Grade 11 클래드층 용입성 평가: 김지수, 김경민(중소조선연구원), 유경훈(우양에이치씨), 이희근, 안현준*(중소조선연구원)

Keywords: TIG 용접, 타이타늄, 클래드재, 진동 와이어 TIG 용접

티타늄(Ti)은 표면에 안정한 부동태 피막을 형성하여 우수한 내식성을 가진다. 이러한 특성으로 해양플랜트, 화학설비, 오일·가스 산업 등 고부식 환경의 구조 부재로 널리 적용된다. 그러나 높은 소재 단가로 인해 상용화에 제약이 있으며, 이를 보완하기 위해 경제성이 뛰어난 탄소강 기반 Ti 클래드재가 개발되어 활용되고 있다. Ti 클래드재를 압력용기와 같은 고신뢰성 구조물에 적용하기 위해서는 건전한 용접부를 확보할 수 있는 용접 공정 검토가 필수적이다. 한편, Ti 클래드층 용접 시 과도한 입열은 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)의 결정립 조대화와 α-case 형성을 유발하여 취성을 높이고 내식성을 저하시킬 수 있다. 또한, 용입이 클래드층을 넘어 모재인 탄소강까지 깊어질 경우, Ti와 탄소강이 혼합되어 TiFe, $TiFe_2$와 같은 취성 금속간화합물이 생성되어 기계적 물성

저하를 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 와이어에 기계적 진동을 가하여 송급하는 진동 와이어 TIG(Tungsten Inert Gas) 용접 공정을 검토하였다. 해당 용접 공정은 진동 와이어를 통해 용융풀 교반 효과를 얻을 수 있으며, 이를 통해 비드 형상 및 용입 깊이 균일화에 기여할 수 있다. 특히, Ti Gr.11 클래드층에서는 용입 깊이 제어가 핵심으로, 와이어 진동 주파수 및 진폭 제어를 통해 용입의 변동을 억제하고 재현성을 높이는 데 유리하다. 따라서 본 연구에서는 Ti Gr. 11 클래드층을 대상으로, 일반 TIG 용접과 진동 와이어 TIG 용접 공정을 비교·분석하였다. 전류, 전압, 용접 속도, 와이어 진동 주파수 및 진폭 등 주요 변수를 체계적으로 변화시키며 입열량과 용입 깊이의 상관관계를 정량적으로 분석하였다. 이를 바탕으로 금속간화합물 형성 및 결정립 조대화를 억제하면서 건전한 용접부를 확보할 수 있는 용입 깊이 최적화 조건을 도출하고자 하였다.

[P16-11]

AI를 이용한 용접 시뮬레이션 하중 조건 도출: 표창민*, 김지선, 신광용, 이기용(한국생산기술연구원)

Keywords: AI, 시뮬레이션, 레이저 용접

용접 시뮬레이션을 위해서는 정확한 하중조건이 요구된다. 용접에서 가장 중요한 하중은 에너지가 조사되는 과정이며 이동 열원으로 구현된다. 이동 열원의 에너지 크기와 그 형상은 정합성 높은 용접 시뮬레이션에 필수적인 요소이며, 그것을 찾기 위한 많은 연구가 선행되었다. 레이저 용접의 경우 다양한 조건에서 다양한 형상이 제시되고 있는데, 이는 범용적인 활용에는 매우 어려운 한계가 있다. 그에 본 연구에서는 다양한 형상을 하나로 통합해서 설명할 수 있는 멀티레이어 열원모델을 바탕으로 용접 조건에 적합한 열원의 형상을 도출할 수 있는 방법을 FEA와 AI를 연동하여 진행하였다.

[P16-12]

유한요소해석 기반 SA508 저합금강 전자빔용접부 미세조직 및 경도 예측: 안동현*, 김민철, 현세미(한국원자력연구원)

Keywords: 유한요소해석, SA508강, 전자빔용접, 미세조직, 미세경도

소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR) 압력 용기 제작을 위한 혁신 기술로 주목받는 전자빔용접(Electron Beam Welding, EBW)은 높은 에너지 밀도와 급속 냉각 특성으로 인해 정확한 용접부 물성 예측이 필수적이다. 본 연구는 유한요소해석(Finite Element Analysis, FEA)을 통해 SA508 Gr.3 저합금강의 EBW 공정을 모사하고, 용접 후 미세조직 및 경도를 예측하는 방법론을 제시하였다. 이를 위해 ABAQUS 상용 소프트웨어를 활용하여 용접 중 온도 이력을 분석하였으며, 상변태 및 결정립 성장 동역학 모델을 적용한 사용자 함수를 개발하여 미세조직 분포를 정량적으로 예측하였다. 해석 모델은 용융부(Fusion Zone, FZ)와 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)에 마르텐사이트가 주로 형성될 것으로 예측하였으나, 이는 실험에서 주로 형성된 베이나이트 및 위드먼스태튼 페라이트, 그리고 조대 결정립 열영향부에서 일부 형성된 마르텐사이트와 차이를 보였다. 해석 변수 분석 결과, 냉각 속도와 오스테나이트 결정립 크기 모델의 정확성이 미세조직 예측에 결정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 경계 조건을 조절하여 냉각 속도를 낮추자, 베이나이트 형성이 촉진되고 HAZ 부위에 마르텐사이트가 상대적으로 더 많이 형성되는 등 실험과 유사한 경향을 보였다. 경도 분포 역시 실험 결과와 유사한 경향으로 예측되었다. 본 연구에서 개발된 FEA 모델 및 예측 방법론은 SA508 저합금강 용접부 특성 분석 및 공정 최적화에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

[P16-13]

개선된 용접장치를 이용한 하나로핵연료 Grapple head 용접에 대한 고찰: 소원재*, 도정민, 신진건, 김종환, 김기남, 정용진(한국원자력연구원)

Keywords: 핵연료집합체, Grapple head, TIG, GTAW

한국원자력연구원에서는 다목적 연구용 원자로인 하나로의 구동핵연료를 제조하고 있다. 하나로핵연료는 구성하는 핵연료봉의 개수에 따라 36봉형집합체와 18봉형집합체로 구분되며, 각각의 핵연료봉은 집합체 부품과 함께 핵연료 집합체로 조립되며 하나로 원자로에 장착된다. 하나로핵연료 집합체를 이루는 부품 중 하나인 Grapple head는 지르칼로이-4 소재로써 핵연료집합체를 원자로에 장착할 수 있도록 하는 구조물이며 이는 Grapple head lock 부품과 용접되어 핵연료집합체가 분해되지 않도록 하는 역할도 수행한다. Grapple head와 Grapple head lock 의 용접은 TIG용접이라고도 불리는 GTAW(가스텅스텐아크용접) 기법을 사용하며, 침투탐상검사를 수행하여 용접부의 결함을 검사한다. 하나로핵연료 집합체 용접장치는 집합체 장착부와 용접기 및 조작부로 구성되어 있으며 최근 집합체 장착부와 조작부의 인터페이스에 일부 개선이 이루어졌다. 개선된 용접장치를 이용한 용접 절차 및 용접 결과를 이전의 용접과 비교하여 개선점과 향후 개선이 필요한 점에 대하여 고찰해 보고자 한다.

P17 : 집합조직
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P17-1]
2.xD 반도체 패키징용 기판의 마이크로 비아 충진을 위한 유기첨가제 기반 구리 전해도금 기술과 미세조직·집합조직 분석: 오은기, 신한균, 박현*, 김정한*(동아대학교)
Keywords: 2.xD Semiconductor Packaging, Cu Electrodeposition, Microvia, Organic Additives, Microstructures, Textures

반도체 패키징을 위해 실리콘 인터포저 대비 생산성과 비용 측면에서 경쟁력을 갖춘 2.xD 타입 유기 기판의 제조 기술이 주목받고 있으며, 이를 위해 미세 비아 (via) 패턴에 대한 구리 충진 공정 확보가 필수적이다. 이에 본 연구에서는 2.xD 패키지 기판의 약 30 μm 크기 비아 패턴에 대해 유기첨가제를 이용한 구리 전해도금 공정을 개발하고, 이의 충진 거동과 도금층의 미세조직 및 집합조직의 특성을 조사하였다. 먼저, 도금 용액에 포함되는 유기첨가제인 가속제 (accelerator), 억제제 (suppressor), 그리고 평활제 (leveler) 각각의 전기화학적 거동을 회전 전극(rotating disk electrode, RDE) 기반의 정전류 실험 (galvanostatic measurement)을 통해 평가하였으며, 이를 바탕으로 비아 충진에 적합한 유기첨가제 조합을 선정하였다. 선정된 조건에서 가속제 또는 평활제 농도를 변화시키며 충진 거동을 광학현미경 및 집속이온빔 (focused ion beam) 분석법을 이용하여 관찰하였다. 또한, 4-point probe 방법을 이용해 시간에 따른 면저항 (sheet resistance or Rs) 변화를 측정함으로써, 유기첨가제 조합에 따른 도금층의 상온 미세조직 변화를 확인하였다. 더불어, electron backscatter diffraction (EBSD) 분석을 통해 구리 도금층의 결정립 크기, 형상, 그리고 각 결정립의 결정방위 및 결정립계 특성을 평가하고, 이들 미세조직학적 특성에 미치는 각 유기첨가제 조건의 영향을 정량적으로 분석하였다. 본 연구 결과, 구리의 바텀업 (bottom-up) 충진 거동이 상온 어닐링 (self-annealing) 현상과 연관되어 있음을 확인하였고, 이를 바탕으로 수십 μm급 비아의 구리 충진 도금 시 위치별 도금층 형성 메커니즘과 이에 미치는 각 유기첨가제의 역할을 체계적으로 규명하고자 하였다.

[P17-2]
DED 탄소강 적층재의 미세조직 발현에 대한 평형 및 Scheil 예측과 실험 결과의 비교 검증: 박건우, 박성수(울산과학기술원), 전종배*(동아대학교)
Keywords: Directed Energy deposition, Non-equilibrium solidification, Elemental partitioning, Thermodynamic calculation

Directed energy deposition(DED)은 에너지 밀도가 높은 레이저를 열원으로 사용하기 때문에 국부적으로 높은 에너지가 집중되며, 빠른 스캔 속도와 작은 용융영역으로 인해 melt pool은 매우 높은 응고 및 냉각 조건을 가진다. 따라서, 응고 과정에서 제한된 확산 시간으로 인해 고상과 액상 사이의 elemental partitioning이 뚜렷하게 나타나고, solute segregation이 발생하여 고상 내 조성이 국부적으로 불균일해진다. 이러한 현상은 탄소강 적층 시 설계 목표와 맞지 않는 미세조직이 발현될 수 있으며, solute segregation에 따른 국부적 상변태 차이를 유발하여 기계적 물성의 불균일성을 초래할 수 있다. DED 공정의 급속 응고 조건은 기존의 주조 및 용접 공정과는 다른 응고 거동을 나타낸다. 이러한 비평형 응고 조건을 해석하기 위해 Scheil-Gulliver solidification이 널리 활용되고 있다. Scheil-Gulliver solidification은 응고 과정에서 액상이 항상 완전히 혼합되어 있다고 가정하는 반면, 고상 내 확산은 무시된다. 그 결과 고상은 초기 조성을 유지하며, 액상에는 용질 원소가 농축되어 조성 불균일성이 발생한다. 이러한 특성 때문에 Scheil-Gulliver solidification은 DED의 급속 응고 조건으로 인한 미세조직 발현과 용질 원소 분포를 모사하는 데 효과적인 도구가 될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 탄소 함량이 다른 두 종류의 탄소강을 DED 공정으로 적층하고, 급속 응고 조건과 분말 조성이 미세조직 발현과 적층성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, CALPHAD 기반의 equilibrium 및 Scheil-Gulliver solidification 계산을 수행하여 상분율 변화와 용질 분포를 예측하고, 이를 실험 결과와 비교함으로써 실제 DED의 응고 거동이 두 모델 중 어느 조건에 더 근접한지를 규명하였다. 또한, 각 모델에 따른 hot cracking susceptibility를 계산하여 응고 결함 발생 가능성을 평가하였으며, martensite start temperature 경험식을 적용하여 냉각 과정에서의 상변태 거동을 모사하였다. 뿐만 아니라, 고용강화 모델을 적용함으로써 응고 모델이 미세조직 뿐만 아니라 기계적 물성에 미치는 영향까지 평가하고 실제 분석 결과와의 유사성을 평가하였다.

[P17-3]
전기화학 및 미세조직적 분석을 통한 구리 전해도금 유기 첨가제의 흡착 동역학 연구: 최재훈, 신한균, 김정한*(동아대학교)
Keywords: Electrochemistry, Copper electrodeposition, Organic additives, Adsorption kinetics

구리 전해도금은 반도체 패키징에서 RDL(Redistribution Layer), TSV(Through-Silicon Via), 마이크로범프(micro-bump) 등 다양한 배선 구조 형성에 필수적으로 적용된다. 이러한 고종횡비 구조를 결함 없이 충진하기 위해서는 금속 표면에서 유기 첨가제의 흡착을 통한 국소 전착 속도와 결정 성장 거동의 정밀한 제어가 요구된다. 특히 구리 표면에서 Cl^-–polyether의 특이적 흡착은 증착을 억제하여 전착 속도를 국소적으로 지연시키며, 단독 작용 또는 가속제와의 경쟁적 상호작용을 통해 균일한 충진을 가능하게 한다. 따라서 공정 최적화를 위해서는 첨가제의 시간 의존적 흡·탈착 거동을 포함한 흡착 동역학에 대한 정량적 이해가 필수적이다. 본 연구에서는 억제제로 널리 활용되는 poly(ethylene glycol) (PEG)의 흡착 동역학을 규명하기 위하여, 전기화학적 분석 결과를 Langmuir 흡착 모델에 기초하여 해석하였다. 이를 통해 PEG의 계면 흡착·탈착 속도 상수와 표면 피복률의 시간 의존성을 도출하고자 하였으며, 나아가 극 저농도의 PEG 첨가 시 구리 박막의 미세조직 변화를 분석하여, PEG 흡착 동역학이 전착 과정의 결정 성장 메커니즘에 반영되는 양상을 규명하였다. 이러한 연구 결과는 반도체 패키징 공정에서 구리 배선 및 전극 형성에 대한 공정 최적화 및 신뢰성 향상에 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

[P17-4]

다결정 금속의 결정학적 방위에 따른 전기화학적 특성 연구: 김영서, 신한균, 김정한*(동아대학교)

Keywords: 결정 방위, 전기화학, EBSD, KPFM, SECCM

다양한 산업 분야에서 사용되는 금속 재료는 제품의 안정성을 위해 수명 및 신뢰성 평가가 필수적이다. 금속은 금속간 화합물, 개재물, 결함 등의 다양한 요소에 의해 재료의 특성이 결정되는데, 그 중 하나인 결정학적 방위는 재료의 전기화학적 특성을 좌우할 수 있으며, 재료에서 발생하는 부식의 메커니즘을 이해하는데 중요한 지표가 될 수 있다. 본 연구에서는 다결정 금속의 결정학적 방위가 재료의 전기화학적 특성에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 시편의 미세조직 및 결정 방위 분포을 확인하기 위해 EBSD (Electron backscatter diffraction) 분석을 실시하였으며, 동일 위치에 대해 KPFM (Kelvin probe force microscopy)을 통해 재료 표면에서의 볼타 전위를 확인하였고, SECCM (Scanning electrochemical cell microscopy)을 이용하여 결정 방위에 따른 순환 전압전류법 (Cyclic voltammetry, CV)을 적용함으로써 전기화학적 반응성 차이를 확인하고자 하였다. 결정 방위와 전기화학적 특성의 상관관계에 대한 본 연구는, 단일 금속 내 국부적 영역에서 발생하는 부식의 초기 대한 메커니즘을 이해하는데 기여할 수 있다. 나아가, 특정 집합조직 제어를 통해 내부식성이 향상된 금속 재료 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P17-5] Canceled

Hastelloy 금속섬유의 제조 및 열처리에 따른 조직 변화: 윤지민, 염진석, 박정빈, 김권후*(국립부경대학교)

Keywords: Hastelloy, 집합조직, 금속섬유, 재결정

Hastelloy는 Ni계 초합금으로 우수한 내식성을 지니며, 특히 C-22합금은 산화 및 환원 환경 모두에서 높은 화학적 안정성을 보인다. 이러한 특성으로 인해 화학 반응기, 저장 탱크, 탈황 장치 등 고부가가치 산업에서 널리 활용되고 있으나, Ni, Mo, W와 같은 고가 원소로 구성되어 있어 응용 범위의 확장을 위한 연구가 요구된다. 최근 금속 재료 연구는 합금 설계뿐 아니라 기하학적 형상 제어를 통한 기계적 특성 향상 및 조직 발달 거동 규명으로 확대되고 있으며, 특히 금속섬유는 항공기 흡기·배기, 엔진 사일렌서, 초경량 메시 필터 등 다양한 분야에서 활용 잠재력이 크다. 그러나 Hastelloy 합금 기반 금속섬유에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 Taylor 공법을 통해 Hastelloy C-22합금을 금속섬유 형태로 제조한 뒤, 인발 공정을 통해 직경 약 5 μm의 금속섬유를 확보하였다. 이후 섬유의 집합조직 특성과 열처리에 따른 조직학적 변화를 분석하였다. 그 결과, 인발 과정에서 형성된 가공 조직은 열처리를 통해 소멸하였으며, 금속섬유 내부는 균일한 결정립 분포를 갖는 완전 재결정 조직으로 전환됨을 확인하였다. 이러한 결과는 Hastelloy C-22금속섬유의 조직 안정성과 향후 내식성 응용 소재로의 활용 가능성을 제시한다.

[P17-6]

화학적 에칭 공정을 통해 종횡비가 일정한 STS316L 단섬유 제조: 염진석, 윤지민, 장성모, 김권후*(국립부경대학교)

Keywords: STS316L, 금속 섬유, 반도체 가스 필터, 화학적 에칭

최근 AI, 항공·우주 그리고 로봇과 같은 첨단 산업이 급속도로 발전함에 따라 반도체 수요 및 성능을 위한 기술 개발 또한 급속도로 이루어지고 있다. 반도체 시장의 지속적인 고도화에 따라, 생산 공정 내에서 사용되는 고순도 가스 확보가 제품의 수율을 좌우하는 핵심 요인으로 부각되고 있다. 가스 필터 내 섬유 직경이 감소할수록 불순물 여과 속도가 향상된다는 연구 결과가 지속적으로 보고되는 상황에서, 웨이퍼의 품질에 직접적인 영향을 미치는 가스 필터 내 마이크로 금속 섬유의 생산 필요성이 대두되고 있다. 하지만, 마이크로 금속 섬유 생산을 위해 기존의 다발인발법을 적용할 경우, 다중 반복 공정이 불가피하다. 이는 공정 시간 증가로 인해 수율이 저하되며, 균열 또는 파단 발생 시 균일성 확보에도 어려움이 있다. 또한, 다발인발법으로 생산한 마이크로 금속 섬유를 기계적 절단 시, 절단면 형상의 불안정 및 불규칙으로 인해 추가적인 국부적인 결함이 발생할 수 있다. 따라서, 이번 연구에서는, Taylor 공법을 적용을 통해 금속 섬유를 SiO2 튜브로 감싼 상태에서 동시에 연신시켜 다중 반복 공정을 없애고, 이와 더불어 화학적 절단 방식인 에칭 공정을 통해 불안전한 절단면으로 인해 발생하는 국부적인 결함 발생을 줄임과 동시에 입계 부식 절단을 통해 종횡비 편차를 줄여 일정한 종횡비를 가지는 STS316L 단섬유를 제조하고자 한다. Taylor 공법을 이용해 제작한 직경 2.5 μm 및 1.5 μm의 STS316L 장섬유 다발을 HF 용액으로 에칭하여 외부를 감싸고 있는 SiO_2 튜브를 제거하였다. 이후 두 단계의 열처리 공정을 수행하였다. 첫 번째 단계는 800~1000ºC 범위에서 실시한 재결정 열처리로, 직경이 작은 금속 섬유 내에서 새롭게 형성된 결정립계가 일정한 크기 및 방향성을 유지하며 성장하도록 유도하였다. 두 번째 단계는 400~600ºC 범위에서 실시한 민감화 열처리로, 결정립 내부에 존재하던 Cr 원자가 결정립계로 확산하여 $Cr_{23}C_6$으로 석출되도록 유도하였다. 열처리 공정이 완료된 후에는 결정립계에 석출된 Cr23C6를 제거하기 위해 HF 및 HNO_3 용액을 조합한 에칭 용액을 이용하여 종횡비가 일정한 STS316L 단섬유를 제조하였다. 에칭 완료 후, EDS 분석을 통해 섬유 내부와 끝단 사이의 크롬 함량 및 $Cr_{23}C_6$ 존재 여부를 확인하였으며, EBSD 분석을 통해 단섬유의 방위를 측정하여 재결정 여부를 확인하였다. 마이크로 금속 단섬유 제조 기술과 관련된 지식재산권을 확보함으로써, 해외 선진사가 독점하고 있는 소재 부품 시장에서 독자적인 방식으로 가스 필터 활용 장비 및 나노 금속 단섬유 제조 기술을 개발할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어, 이러한 기술 개발은 국내 기업의 기술 자립화를 촉진하여 반도체 공정용 가스 필터 내 금속 섬유 제조의 국산화를 앞당길 뿐만 아니라, 국내 시장은 물론 해외 시장에서도 제품 수요 확대를 견인할 것으로 예상된다.

[P17-7]

Anisotropy in compressive deformation and twinning-induced lattice reorientation of pure titanium at cryogenic temperature: Lee Min-Su, Jeong-Chan Lee, Jun Won Yoon(한국생산기술연구원), Tea-Sung Jun*(인천대학교), Chang-Soo Park*(한국생산기술연구원)

Keywords: Titanium, Texture, Compression, Twinning, Cryogenic

Titanium (Ti) and its alloys have attracted a great deal of attention in industrial fields such as aerospace, automotive and biomedical

applications due to the high strength-to-weight ratio, good corrosion resistance and biocompatibility. Hexagonal close packed (HCP) crystal structure of titanium (i.e., α-Ti) exhibits a significant anisotropy in the elasticity and plasticity at microscale. Because the strong crystallographic texture of polycrystalline α-Ti is formed during the metal forming processes (e.g., rolling and extrusion), the deformation anisotropy is also shown in the macroscopic behaviour. the <a>-dislocation glide on the pirsmatic and basal planes are the most common slip systems in α-Ti, in which the limited number of slip systems is insufficient to accommodate an arbitrary plastic deformation. For that reason, mechanical twinning plays a crucial role in the plastic deformation in α-Ti. Twinning-induced lattice reorientation leads to not only grain refinement but also crytallographic texture evolution. The twinning is promoted by decreasing temperature, and the nansize twins were formed during the cryogenic deformation of α-Ti. Previous studies have been devoted to the development of cryogenic processing techniques, focusing on the production of nanocrystalline Ti materials with excellent properties. However, the texture evolution and inherent anisotropy of α-Ti have not been explored in terms of the twinning-induced reorientation at cryogenic temperature In the present study, we investigated the anisotropy in compressive deformation behaviour and textire evolution of commercially pure titanium (CP-Ti) at room (298K) and cryogenic (150K) temperature. Two samples with different initial textures were cut from the rolled CP-Ti plate, using electro discharge machining. As the result, the compression loading was applied parallel (RD) and normal (ND) to the rolling direction. Electron backscatter diffraction (EBSD) was used to analyse the twinning-induced lattice reorientation. Our fininding reveals that the crystallographic texture can be tailored by combinding the applied compressive loading axis and temperature. This is closely related with the initial orientation- and temperature-dependent twinning systems' reorientation angles.

[P17-8] Canceled

아크-레이저 하이브리드 용접 적용 후 고망간강 소재 특성 분석 및 결함 방지 방안 연구: 장호성(한국생산기술연구원), 박건우(울산과학기술원), 전종배*(동아대학교), 지창욱, 신선미*(한국생산기술연구원)

Keywords: 고망간강, 용접부, 용융부

본 연구는 극저온용 고망간강에 아크-레이저 하이브리드 용접 공정을 적용한 후, 모재, 용융부, 열영향부 등 부위별로 상이한 특성을 체계적으로 분석하고, 이를 기반으로 결함 방지 및 소재 신뢰성 확보 방안을 모색하는 데 목적이 있다. 이를 위해 화학성분 분석과 열역학 시뮬레이션을 통해 합금 조성과 상분율 변화를 예측하였으며, 미세조직 관찰 및 EBSD 분석으로 용융부의 응고 거동과 결정립 특성을 평가하였다. 또한, 경도 측정 및 XRD, Dilatometry을 통해 기계적 특성과 상변태 및 열팽창 거동을 확인하였고, EPMA 기반 조성 분석과 Stacking Fault Energy(SFE) 계산을 통해 변형 메커니즘을 추정하였다. 아울러, 자기적 특성 측정을 통해 용접부의 자화 거동을 평가하여, 극저온 환경에서의 안정성과 결함 발생 가능성을 검토하였다. 이러한 다각적 분석을 통해, 아크-레이저 하이브리드 용접부는 부위별로 조성, 미세조직, 기계적 및 자기적 특성이 상이하게 나타나며, 이는 극저온 인성 저하와 자화 증가 등 잠재적 결함 요인으로 작용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구는 하이브리드 용접부의 국부적 특성을 정량적으로 이해하고, 이를 바탕으로 극저온용 LNG 저장용기 제작 시 용접 결함을 방지하기 위한 최적 공정 조건 설계 및 합금 설계 방향을 제시하는 데 기여하고자 한다.

P18 : 인공지능 재료과학
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P18-1]
설명 가능한 인공지능을 활용한 DED 적층 Fe-Ni 합금의 형상 및 결함 유형 예측: 서혜진, 이정아(포항공과대학교), 사공만재(포항공과대학교, 대한민국 공군), 정재면(한국재료연구원), 김은성(포항공과대학교), 김형섭*(포항공과대학교, 연세대학교)
Keywords: 설명 가능한 인공지능을 활용한 DED 적층 Fe-Ni 합금의 형상 및 결함 유형 예측

레이저 금속 증착(LMD) 공정에서 공정 변수가 최종 제품의 특성에 미치는 복잡한 상관관계를 이해하고 예측하는 것은 금속 적층 제조 기술 발전의 핵심 과제이다. 본 연구에서는 Fe-Ni 합금을 대상으로 레이저 출력, 스캔 속도, 분말 공급속도를 변수로 하여 135개의 시편을 제작하고, 머신러닝 기반 예측을 수행하였다. 높이 및 기공도 예측을 위해 가우시안 공정 회귀 모델(GPR)을 사용하였으며, 높이 예측에서 3.98%, 기공도 예측에서 7.37%의 평균 상대 오차를 달성하였다. 이후 서포트 벡터 머신(SVM)을 활용하여 결함 유형을 기공도(gas porosity), 키홀 결함(keyhole defects), 용착부족 결함(lack of fusion)으로 분류하였다. 실제 기공도와 GPR 예측 기공도를 각각 입력으로 사용한 두 SVM 모델을 비교한 결과, 각각 94%, 93%의 분류 정확도를 보였다. 마지막으로, 설명 가능한 인공지능(Explainable AI, XAI) 기법인 Shapley Additive Explanations(SHAP)을 활용하여 각 예측에서의 특성 중요도를 평가하였다. 높이 예측에서는 분말 공급속도가 가장 중요한 변수로 나타났으며, 기공도 예측에서는 레이저 출력이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 결함 유형 예측에서는 모든 결함 유형이 레이저 출력의 영향을 주로 받았으며, 분말 공급속도가 결함 유형을 구별하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 본 연구는 공정 변수가 제품의 최종 품질에 미치는 영향을 파악함으로써, 적층 제조 공정 최적화를 위한 해석 가능한 예측 방법론을 제시하였다.

[P18-2]
합성곱신경망(CNN) 기반 미세조직 이미지 학습을 통한 Ti-6Al-4V 합금 기계적 물성 예측: 박재형, 한희주, 최재영, 남다연, 박노근*(영남대학교)
Keywords: Ti-6Al-4V 합금, CNN(Convolutional Neural Network), Robustness, CAM(Class Activation Map)

금속 재료의 성능 향상 및 공정 최적화를 위해 미세조직과 기계적 물성 간의 상관관계를 이해하는 것은 매우 중요하다. 기존에는 경도나 인장 강도와 같은 기계적 물성을 평가하기 위해 실제 실험이 필수적이었으나, 이는 많은 시간이 소요되고 대량의 데이터를 한번에 확보하기 어렵다는 한계가 있다. 이러한 배경에서 최근 인공지능(AI) 기반 이미지 분석 기법을 활용하여 미세조직 이미지를 학습하여 물성 예측을 시도하고 있다. 특히 합성곱 신경망(CNN, Convolutional Neural Network)은 이미지 내 국소적 특징을 효과적으로 포착할 수 있어 미세조직 분석에 널리 활용되고 있다. 이를 활용하면 복잡한 미세조직 패턴을 학습하여 물성을 간접적으로 예측할 수 있으며, 실험 의존도를 줄이면서도 대규모 데이터 처리가 가능하다는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 가장 기본적인 CNN 모델을 기반으로 단조 정도가 다른 Ti-6Al-4V 합금 시편의 광학현미경 미세조직 이미지를 학습 데이터로 활용하여 기계적 물성을 예측하는 모델을 개발하였다. 특히 200배, 500배, 1000배의 다양한 배율에서 촬영된 이미지를 사용하여 단일 배율에 국한되지 않고 배율 변화에도 대응할 수 있도록 모델을 구축하였다. 그러나 배율이 달라지면 촬영 조건 차이에 따른 밝기·대비 변화, 초점 및 표면 상태에 따른 노이즈 발생, 세부 미세조직의 확대·축소 차이 등이 나타나 모델이 단순한 표면 특성에 의존할 위험이 존재한다. 이를 위해 brightness, blur, zoom 변형을 포함한 robustness 평가를 수행하여 각 요인이 학습에 미치는 영향을 검토하고, 모델이 구조적 특징을 중심으로 학습하도록 하였다. 또한 실제로 미세조직 정보를 기반으로 학습했는지 검증하기 위해 Class Activation Map(CAM) 분석을 실시하였다. 본 연구 결과를 통해 광학현미경 이미지를 활용한 기계적 물성 예측 가능성을 제시하며, 향후 다양한 합금계와 물성 예측으로 확장될 수 있는 데이터 기반 연구의 기초를 마련한다.

[P18-3]
대체 모델을 활용한 IN625의 고에너지 직접 적층 공정 다중목표 최적화: 김성원, 유진영, 천세호, 이성호(부산대학교), 김정기(경상국립대학교), 이태경*(부산대학교)
Keywords:

니켈 기반 초합금은 우수한 내열성, 내산화성, 내식성을 가지며 해양, 우주, 에너지 산업 등에 중요하게 사용되는 소재이다. 니켈 기반 초합금의 제작에 있어 적층 제조 기술을 적용하고자 하는 시도가 활발하다. 금속 적층에 흔히 사용되는 고에너지 직접 적층(direct energy deposition)의 경우 적층 조건에 따라 기공들의 결함이 발생할 수 있으며 추가적으로 니켈 기반 초합금의 경우 낮은 적층성으로 인하여 공정 조건의 최적화가 요구된다. 다중 목표 최적화에 흔히 사용되는 유전 알고리즘과 입자 군집 최적화의 경우 최적화 과정에서 특정 공정 조건에 대한 적층재 물성이 요구된다. 적층 물성 획득 수단 중 적층 제조와 시뮬레이션의 경우 높은 신뢰성을 가지나 긴 소요 시간을 가져 최적화 과정에는 부적합하며 그에 비해 대체 모델의 경우 물성 예측에 짧은 시간이 소요된다. 본 연구에서는 200 W, 300 W, 400 W, 500 W의 레이저 출력, 550 mm/min, 700 mm/min, 850 mm/min, 1000 mm/min의 적층 속도 및 2.0 g/min, 2.5 g/min, 3.0 g/min의 분말 공급 속도 조건을 조합하여 제조된 총 48개의 IN625 시편의 밀도, 강도, 형상 정확도를 확보하였다. 48개의 데이터 중 검증을 위한 3개의 데이터를 제외한 뒤 45개의 데이터를 기반으로 quadratic form에 xyz항을 추가한 모델을 기반으로 $\alpha = 0.05$ 기준의 후진 제거(backward elimination)를 적용하여 최종 모델을 구축하였다. 구축된 최종 모델과 NSGA-II를 활용하여 Pareto front를 도출하였으며 추가적으로 다중 기준 의사결정 기법인 TOPSIS을 적용하여 Pareto front내 우선순위를 부여하였다. 본 연구에 사용된 방법론은 적층 제조에 국한되지 않고 다양한 분야의 공정 최적화에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P18-4]

첨단 타이타늄 합금의 설계를 위한 LangChain 기반 대형언어모델 알고리즘 개발: 서기완(서울대학교), 이진우, 이동우(성균관대학교), 박은수*(서울대학교)

Keywords: 대형 언어모델, Olson Flow-Block Diagram, Human-in-the-loop, 타이타늄

항공우주 및 생체의료 분야에서 우수한 기계적 특성과 생체적합성을 겸비한 첨단 타이타늄 합금에 대한 수요가 증대됨에 따라 합금계 고유의 복잡성이 그 설계에 있어서 중대한 도전을 야기하고 있다. 이에 따라 공정 변수–미세조직–물성–성능 간 상호작용을 명확히 규정하는 체계적 합금 설계 방법론이 필수적이다. 본 연구는 LangChain 기반 대규모 언어모델(LLM) 알고리즘을 개발하였으며, 휴먼 인 더 루프(HITL) 및 프롬프트 엔지니어링 기법을 활용해 고품질 학습 데이터를 구축함으로써 정확성과 신뢰성을 확보하였다. 본 연구에서 개발한 대형 언어모델 알고리즘은 상기 공정-미세구조-물성 (P-S-P)간의 계층적 관계를 Olson flow-block diagram의 형태로 시각화해주어, 복잡한 합금계를 이해하고, 그 설계를 최적화하는 절차를 크게 단순화할 수 있다. 본 포스터는 생성된 Olson flow-block diagram에 대한 정밀한 분석을 통해 알고리즘의 운용 능력과 효율성을 입증하며, 특히 실험적인 측면에서 타이타늄 합금 설계의 효율성과 정밀도를 향상시키는 응용 효과를 강조한다.

[P18-5]

New Strategy of Surface Defect Detection in Metallic Coatings Using a Machine Learning-Based Hyperspectral Imaging Approach: 김민균(Pohang University of Science and Technology), 김기수, 노승희, 노동환(DEEPAI), 염화성*(Pohang University of Science and Technology)

Keywords: Hyperspectral Imagnig, Secondary battery, Nickel-plated steel, Non-Destructive Testing, Machine Learning, Surface Defect Analysis

Metallic coatings, such as nickel layers on low carbon steel, play a critical role in enhancing durability, mechanical stability, and resistance to environmental degradation, including oxidation and corrosion. In secondary battery applications, nickel-plated steel is widely used to improve corrosion and oxidation resistance of the base steel, offering superior long-term performance. The thickness and uniformity of Ni coatings are essential quality indicators but are traditionally evaluated through non-destructive testing methods. These techniques often involve high equipment costs, long processing times, and spatial constraints, resulting in trade-offs between reliability and productivity in industrial environments. This study proposes a new strategy for surface defect detection by integrating hyperspectral imaging with machine learning to enable precise and efficient surface defect analysis. Hyperspectral imaging provides significantly richer spectral information than conventional RGB-based inspection, capturing subtle variations in surface properties that may not be visible in standard images. Our ongoing work focuses on adapting existing RGB-based inspection frameworks to hyperspectral data, aiming to improve defect classification accuracy while reducing inspection time. A comparative evaluation is being conducted using nickel-coated low carbon steel samples, applying identical inspection protocols to both RGB and hyperspectral datasets. The machine learning pipeline incorporates preprocessing, feature extraction from both spectral and spatial domains, and classification using models such as convolutional neural networks. Performance metrics include accuracy, precision, recall, and processing efficiency. Preliminary investigations indicate strong potential for this approach to provide a cost-effective, scalable, and rapid quality assurance solution for industrial thin coating evaluations. Future work will expand the dataset to diverse defect types and environmental conditions, with the goal of establishing a deployable inspection framework that leverages the advantages of hyperspectral imaging in metallic coating quality assurance.

[P18-6]

AI–Based Extraction of CO_2 Capture Process Data from Large-Scale Literature Datasets: Jeong So Yun(Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University), Choi Kyuri, Moon Kisung, Kang Byeol, Choi Yeol Kyo, Lee Hong Woo (POSCO N.EX.T Hub.), Yeo Byung Chul *(Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University)

Keywords: CO_2 capture, natural language processing, automatic extraction, artificial intelligence, big data

Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) has emerged as a key solution for reducing CO_2 emissions and mitigating greenhouse gas concentrations. However, the effectiveness of carbon capture technologies varies depending on CO_2 concentration, energy requirements, and economic feasibility, making it difficult to apply a single technology across diverse carbon-emitting industries such as steel, cement, and chemical production. To address this challenge, we developed an AI-driven Natural Language Processing (NLP) framework for the automated extraction and classification of CO_2 capture–related information from large-scale literature datasets. The framework comprises three main stages: (1) Keywords-based web crawling, (2) Latent Dirichlet Allocation (LDA)–based topic classification, and (3) targeted text extraction using a fine-tuned matBERT model. The framework achieved over 90% accuracy in information extraction. The analysis was conducted on 8, 484 articles published between 2004 and 2024 in Elsevier journals, selected using the Keywords "CO_{22} capture" in titles, abstracts, or author Keywordss. LDA identified major capture technology categories, with the optimal topic number determined by coherence and perplexity metrics, while matBERT extracted key entities such as solvents, performance metrics, and operational conditions. This approach enables scalable, data-driven decision-making for selecting optimal carbon capture technologies in future CCUS systems.

[P18-7]

Design and Analysis of Ni-Based Cation-Disordered Rocksalt Cathodes via Machine Learning Interatomic Potential: Kim Bokyeong, Kang Joonhee*(Pusan National University)

Keywords: Li-ion battery, Cathode, Cation-disorderd rocksalt, Short-range ordering, Machine Learning Interatomic Potential

Due to the limitations in capacity and energy density of commercial cathode materials in lithium-ion batteries, cation-disordered rocksalt (DRX) compounds have emerged as promising next-generation cathodes. These materials can achieve enhanced capacities through lithium excess and the activation of both cationic and anionic redox processes. In this study, we employed the Crystal Hamiltonian Graph Neural Network (CHGNet) to model Ni-based DRX compounds, and investigated how short-range ordering (SRO) evolves with varying Li-excess concentrations, thereby influencing lithium diffusion pathways.

[P18-8]

CrMnFeCoNi계 고엔트로피합금 형상기억특성 예측 기계학습모델 개발: 임진수랑(부산대학교), dongwon shin*(오크리지 국립연구소), 이제인*(부산대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Shape memory alloy, Machine learning

CrMnFeCoNi계 고엔트로피합금은 높은 물성과 더불어 형상기억특성이 관찰되며 차세대 구조 및 기능소재로 주목을 받고 있다. 다만, 활발히 진행된 물성 연구와 달리 형상기억특성과 관련한 연구가 미흡한데, 이를 진행하는데 있어 넓은 탐색 조성 범위는 실험으로 확인하는데 시간적, 물리적 비용을 야기하는 걸림돌로 작용한다. 이러한 문제점의 효율적인 해결 방안으로 기계학습 등이 주목받고 있지만, 형상기억합금의 조성 변화가 초기 미세조직, 열역학적 구동력, 합금 강도 등의 요인들이 종합적으로 바뀌게 되어 적은 수의 데이터로는 형상기억특성의 복잡한 관계를 예측하는데 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에선 형상기억합금의 TMA 곡선을 학습시킴으로써 전술한 복잡성 문제를 효과적으로 해결하고, 적은 수의 데이터로도 넓은 조성 범위에서의 형상기억특성을 예측할 수 있는 모델 및 방법론을 개발했다. 구체적으로, 초기 146개 합금의 압축 변형에 대한 TMA 곡선 데이터를 가열/냉각 구간으로 분리해 기계학습 모델에 학습시키고, 미지 조성의 TMA 곡선을 예측함으로써 형상기억특성을 도출했다. 개발한 모델을 활용해 heuristic design과 data-driven design을 각각 수행하며 두 설계 접근이 비슷한 결과를 도출함을 확인함으로써, 본 개발 모델 및 방법론이 효과적임을 확인했다. 본 개발 모델과 방법론은 고성능의 CrMnFeCoNi계 형상기억 신합금 개발을 가속화할 수 있었으며, 더 나아가 합금계 확장 및 타 형상기억합금계 적용 가능성을 시사하며 효율적인 형상기억 신합금 개발방법으로 적용될 것으로 기대된다.

[P18-9]

설계최적화를 위한 딥러닝 기반 대체모델의 불확실성 정량화 및 민감도 분석에 관한 고찰: 한동운*, 김효규, 최동진, 김성탁(한국생산기술연구원)

Keywords: 설계최적화, 유한요소해석, 딥러닝, 대체모델, 불확실성 정량화, 민감도 분석

최적의 성능을 만족하는 동시에 기계적 요구사항을 충족하는 적절한 설계를 개발하는 것은 제품의 품질을 보장하는데 있어 매우 중요하다. 본 연구에서는 딥러닝을 활용하여 개발된 유한요소 대체모델에 대한 불확실성 정량화와 최적인자 도출기법의 가중치에 대한 민감도 분석 방법을 제안한다. 사례 연구로 차량용 이너 타이로드 최적화를 위해 개발된 모델에 적용하였으며, 먼저 SHAP 분석을 통해 인자의 영향과 인자 간 교호작용에 대해 평가하였다. 이후 인식적 불확실성에 대해 변분 추론 기반 베이지안 접근법인 드롭아웃 기법을 채택하여 편향-분산 관점에서 추정하였다. 또한 다양한 가중치 조합에 대해 최적화기법의 민감도 분석을 수행하여 엄밀성을 높이고자 하였다.

[P18-10]

지도 학습 기반의 압흔 탐지 및 브리넬 경도 측정 인공지능 모델 개발: 서남혁, 곽봉석, 박지우, 김민수*(한국생산기술연구원)

Keywords: 인공지능, 지도학습, 스마트랩, 객체 탐지, 브리넬경도

최근 금속 소재 산업은 고성능 합금 개발 및 특성 발현을 위한 제조 공정 최적화에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이러한 연구개발 과정을 가속화하고 효율성을 극대화하기 위해, 실험 계획, 수행, 데이터 수집 및 분석까지 자동화하는 스마트랩(Smart Lab) 기술의 중요성이 대두되고 있다. 스마트랩의 핵심 기술 중 하나는 소재 주요 물성을 사람의 개입 없이 신속하고 정확하게 측정하고 이를 디지털 데이터로 축적하는 것이다. 한편, 기계적 특성 중 경도는 소재의 강도, 내마모성 등 다른 특성과 높은 상관관계를 가지는 가장 기본적인 지표이다. 특히 브리넬 경도는 다양한 금속 소재 및 부품에서 널리 측정되지만, 압입자가 생성한 압흔의 직경을 작업자가 현미경으로 직접 관찰하고 측정해야 하므로 시간이 많이 소요되고 측정 과정에서 개인 오차가 발생할 수 있는 한계가 있다. 본 연구에서는 스마트랩 요소 기술 개발의 일환으로서 저비용-범용 하드웨어와 인공지능을 결합하여 경도 측정용 압흔을 자율 탐지하고 인식된 압흔의 브리넬 경도를 자율 측정하는 인공지능 모델을 개발하였다. 먼저 객체 탐지 모델인 YOLO를 기반으로 실시간 영상에서 복수의 압흔을 탐지하는 압흔 탐지 모델을 개발하였으며, 탐지된 압흔의 크기와 시편-카메라 간 거리를 바탕으로 브리넬 경도값을 예측하는 경도 측정 모델을 개발하였다. 다양한 표준 경도 시편을 활용하여 인공지능 모델 학습 및 검증을 진행하였으며, 실제 주철/주강 소재 및 부품에서 자동 측정된 경도값과 수작업으로 측정된 경도값을 비교하여 개발된 인공지능 모델의 정확도를 확인하였다.

[P18-11]

Machine Learning-Based Strategy for Designing Organic Ligands for Uranium Extraction from Seawater: 신영호*, 손성준, 전민구, 김성욱, 윤인호, 김형주(Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Uranium, Seawater, Ligand, Design Strategy, Extraction

Since the launch of the Calder Hall nuclear power station in 1956—the world's first facility to supply electricity to a commercial

grid—nuclear power has served as a critical baseload energy source. Uranium, the indispensable raw material for nuclear reactors, is currently obtained almost exclusively from terrestrial ore deposits. Economically recoverable resources generally contain more than 0.1% uranium, with total reserves at this grade estimated at approximately 8 million tonnes. Given the present global consumption rate of 60, 000–70, 000 tonnes per year, such reserves may be depleted within a century, underscoring the need for alternative uranium sources. Seawater contains an estimated 4 billion tonnes of dissolved uranium, sufficient to supply the world for over 60, 000 years. However, its ultra-low concentration (~3 ppb) and the overwhelming presence of competing cations at much higher concentrations pose significant extraction challenges. Amidoxime-based ligands, identified in the 1980s after screening more than 200 materials, remain the only class to achieve meaningful uranium uptake from seawater. Nevertheless, even when incorporated into various substrates—fibers, inorganic oxides, polymers, and porous powders—extraction yields have remained insufficient for commercial-scale deployment. This study introduces a machine learning-driven framework to design novel organic ligands capable of surpassing amidoxime in uranium-binding performance. The approach leverages uranium's electronic structure and reactivity to identify molecular-level parameters governing uranium–ligand interactions. A predictive model will be developed to evaluate binding affinity across ligand candidates. The proposed roadmap includes: 1) Defining characteristic indices for electronic structures of uranium ions and ligands; 2) Selecting quantitative characteristic indices that define uranium–ligand binding 3) Collecting and validating literature-reported values for these quantitative indices 4) Constructing an initial dataset and generating ligand descriptors; 5) Refining descriptors to remove redundancy; 6) Correlating binding strength with descriptors; 7) Selecting high-importance descriptors; 8) Implementing an active learning loop integrating public databases and batch-scale experimental data; 9) Developing a GNN-based predictive model leveraging pre-trained architectures. By integrating data-driven modeling with targeted experimental validation, this strategy aims to accelerate the discovery of next-generation ligands for efficient uranium recovery from seawater.

[P18-12]

Domain Knowledge and Technical Stack for Machine Learning-based Design of Organic Ligands for Uranium Extraction from Seawater: 신영호*, 손성준, 전민구, 김성욱, 윤인호, 김형주(Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Uranium, Seawater, Extraction, Machine-Learning, Technical stack, Domain-knowledge

Since the 1980s, when German and Japanese researchers first reported that the organic ligand amidoxime binds to uranium in seawater at a significant level, amidoxime has remained the most widely used ligand for uranium extraction from seawater for more than four decades. However, the technology has largely remained at the laboratory scale, with one of the fundamental limitations attributed to amidoxime's restricted selectivity and binding strength toward uranium species in seawater. The urgent need for novel organic ligands to replace amidoxime coincides with the rapid advances in machine learning (ML), which offer a promising route to address this challenge. A key obstacle to developing ML models for the design of uranium-binding ligands in seawater—common also to other engineering disciplines—is the scarcity of high-quality data. Therefore, prior to model development, it is essential to clearly identify and classify: (1) domain knowledge describing the chemical interactions between uranium and organic ligands, and (2) the available technical stack (e.g., open-access databases, pre-trained models, and Python libraries) that can be utilized for model construction. In this study, these two components were systematically categorized as follows: 1) Domain knowledge - Electronic structure of uranium and its implications for chemical bonding with organic ligands - Contribution of ligand molecular structural features to uranium binding affinity - Thermodynamic behavior of uranium ions in aqueous systems and relevant theoretical theories - Adsorption characteristics of uranium in seawater and surface complexation models 2) Technical stack - Open-access databases containing molecular information - Pre-trained models trained on large-scale organic molecular datasets - Python libraries applicable to chemical and molecular machine learning This classification provides a foundation for integrating domain-specific chemical knowledge with modern ML tools to accelerate the discovery of high-performance ligands for uranium extraction from seawater.

P19 : 마그네슘
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P19-1]
Mg–Al–Zn–Ca–Y alloy with high tensile and fatigue strengths and enhanced corrosion resistance: Je Hyeong An (Kyungpook National University), Joung Sik Suh, Jae Yeon Kim, Jae Hoon Jang(Korea Institute of Materials Science), Sung Hyuk Park *(Kyungpook National University)

Keywords: Magnesium alloy, Extrusion, T6 treatment, High-cycle fatigue, Corrosion resistance

Magnesium alloys are attractive candidates for lightweight structural applications owing to their low density and high specific strength. However, their relatively low mechanical strength and poor corrosion resistance have hindered widespread use. In this study, an Mg–Al–Zn–Ca–Y alloy was developed and subjected to hot extrusion followed by T6 heat treatment (solution treatment and artificial aging) to simultaneously achieve high tensile strength, superior fatigue strength, and enhanced corrosion resistance. The alloy composition was optimized by combining precipitation strengthening from Al, solid-solution strengthening from Zn, and corrosion resistance enhancement through Ca and Y additions. Ingots were cast, homogenized at 450 °C for 24 h, extruded at 400 °C with an extrusion ratio of 25:1 and a ram speed of 1 mm/s, and subsequently T6 treated. The resulting microstructures—including grain morphology, crystallographic texture, and second-phase distribution—were characterized using optical microscopy, scanning electron microscopy, and electron backscatter diffraction. Room-temperature uniaxial tensile tests were performed along the extrusion direction to clarify the strengthening and fracture mechanisms. In addition, high-cycle fatigue properties were assessed under stress-controlled loading (stress ratio = 0) to determine fatigue strength and identify crack initiation sites. These results provide critical insights into alloy design strategies for achieving a balanced combination of tensile strength, fatigue resistance, and corrosion performance in magnesium alloys for advanced lightweight structural applications.

[P19-2]
Mechanical properties of bicontinuous Mg–Ti composites fabricated via liquid metal dealloying: effect of immersion time: Hyun Jun Youn, Bo Hyun Park, Su Rin Cho(Kyungpook National University), Soo–Hyun Joo(Dankook University), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

Keywords: Liquid metal dealloying, Mg–Ti composites, Digital image correlation, Tensile properties, Microstructure

Magnesium–titanium (Mg–Ti) composites are metal–metal composites that combine the low density and excellent damping capacity of magnesium with the high mechanical strength and corrosion resistance of titanium. Owing to these advantageous properties, they have attracted considerable attention for structural and biomedical applications. In this study, Mg–Ti composites with a three-dimensional bicontinuous structure were fabricated via the liquid metal dealloying (LMD) process, in which elements with high solubility in molten metal are selectively dissolved and removed from a precursor alloy. The LMD process was carried out by immersing a Ti–Cu precursor alloy into molten Mg, producing a composite with finely and uniformly distributed Mg and Ti phases at the micrometer scale. This refined bicontinuous structure provides strong interfacial bonding and excellent load transfer characteristics. To investigate the effect of processing parameters, 3D bicontinuous Mg–Ti composites were fabricated with immersion times of 10, 20, and 30 min in the Mg melt, and uniaxial tensile tests were conducted to evaluate their mechanical properties. The results revealed that both the yield strength and ultimate tensile strength of the composites increased with increasing immersion time, whereas their elongation exhibited a decreasing trend. The relationships between the microstructural characteristics and tensile properties are analyzed and discussed.

[P19-3]
Enhanced corrosion resistance of 3D bicontinuous Mg–Ti composite via post-LMD Al alloying treatment: Bo-Hyun Park, Youn Hyun-Jun(Kyungpook National University), Kim Jae-Yeon(Korea Institute of Materials Science), Joo Soo-Hyun(Dankook University), Park Sung-Hyuk*(Kyungpook National University)

Keywords: Liquid metal dealloying, Mg–Ti composite, Al alloying, Microstructure, Corrosion

Three-dimensional (3D) bicontinuous Mg–Ti composites can be fabricated through the liquid metal dealloying (LMD) process, offering strong potential for structural and biomedical applications. However, the large electrochemical potential difference between the Mg and Ti phases makes these composites highly susceptible to galvanic corrosion in chloride-containing environments. To address this issue, in this study, an LMD-fabricated Mg–Ti composite was subjected to brief immersion (β-$Mg_{17}Al_{12}$ phase and the formation of Ti–Al intermetallic layers on the Ti matrix surface, both of which contribute to improved corrosion resistance. Corrosion behavior was evaluated through ex-situ immersion tests in NaCl solution, with corrosion initiation and propagation monitored at selected time intervals. Microstructural and compositional analyses were conducted using SEM, EDS, XRD, and EBSD. In addition, scanning Kelvin probe force microscopy (SKPFM) was employed to evaluate potential differences at phase boundaries. By correlating time-resolved corrosion progression with interfacial electrochemical characteristics, this study confirms the effectiveness of post-LMD Al alloying in improving corrosion resistance of 3D bicontinuous Mg–Ti composites.

[P19-4]

Effect of extrusion temperature on low-cycle fatigue properties of SEN6 magnesium alloys: Kim Hyung Jun, Je Hyeong An, Gun Woong An(Kyungpook National University), Jun Ho Bae(Korea Institute of Materials Science), Sung Hyuk Park*(Kyungpook National University)

Keywords: SEN6 alloy, Extrusion temperature, Microstructure, Low-cycle fatigue, Life prediction model

SEN (Stainless, Environmentally friendly, and Nonflammable) magnesium alloys—developed by incorporating minor additions of Ca and Y (.% each) into commercial Mg–Al-based alloys—exhibit a unique combination of high ignition resistance, superior corrosion resistance, and improved mechanical properties. In particular, the SEN6 alloy (Mg–6Al–1Zn–0.3Ca–0.2Y, wt.%) forms a dense multi-oxide layer comprising MgO, CaO, and Y_2O_3, and contains thermally stable Al_2Ca, Al_2Y, and Al_8Mn_4Y particles, which promote dynamic recrystallization and grain refinement during extrusion. These characteristics enable the SEN6 alloy to overcome long-standing limitations of conventional Mg alloys, making it a strong candidate for lightweight structural components. To optimize processing routes for such applications, it is essential to clarify how extrusion parameters influence both the microstructure and fatigue properties. In this study, the low-cycle fatigue (LCF) behavior and tensile properties of extruded SEN6 alloys were systematically investigated as a function of extrusion temperature (300, 350, 400, and 450 °C). Comprehensive microstructural characterization—focusing on grain size, texture, and the distribution of second-phase particles—was correlated with tensile properties and cyclic deformation response. An energy-based damage model was employed to predict LCF life, revealing that the total strain energy density—comprising plastic strain energy density and tensile elastic strain energy density—serves as an effective damage parameter for extruded SEN6 alloys, which exhibit asymmetric hysteresis loop behavior. The findings provide a robust basis for establishing the process–structure–property–fatigue relationship in the SEN6 alloy.

[P19-5]

Effect of Bi content on microstructure and mechanical properties of Mg–Bi–Al alloys under high-temperature, high-speed extrusion: Nguyen To Hai Ha, 안건웅(경북대학교), 하정홍(한국생산기술연구원), 박성혁*(경북대학교)

Keywords: Mg–Bi–Al alloy, Bi content, High-speed extrusion, Microstructure, Mechanical properties

Mg–Bi–Al alloys have attracted considerable attention as promising candidates for high-temperature, high-speed extrusion owing to their excellent extrudability and mechanical properties. The Mg_3Bi_2 phase formed by Bi addition exhibits high thermal stability, enabling the production of defect-free extrudates without hot cracking even under elevated temperatures and high extrusion speeds. This phase also suppresses grain growth during extrusion, resulting in a relatively fine-grained microstructure and enhanced strength through grain boundary and particle strengthening effects, thereby ensuring both high productivity and superior mechanical performance. For industrial applications, optimizing the alloy composition is essential, particularly to elucidate how variations in Bi content influence the amount and distribution of Mg_3Bi_2 particles and, in turn, the resulting microstructure and mechanical properties. In this study, Mg–xBi–2Al alloys (BAx2, x = 3, 5, and 7 wt.%) were cast and homogenized, followed by high-temperature, high-speed extrusion at 400 °C with a die-exit speed of 42 m/min. Microstructural characteristics and tensile/compressive properties were systematically analyzed with a focus on the effects of Bi content on grain structure, basal texture, phase distribution, and overall mechanical performance of the extrudates. The findings provide a strong foundation for compositional design of Mg–Bi–Al alloys for high-temperature, high-speed extrusion applications.

[P19-6]

고온 변형 시 Mg-Pb 합금의 미세조직 및 집합조직 발달에 미치는 Pb 함량의 영향: 염진석(국립부경대학교), 최한글(한국폴리텍대학교), 장성모, 김권후*(국립부경대학교)

Keywords: 마그네슘 합금, Pb 함량, 평면 변형 압축, 집합조직 발달, 적층 결함 에너지

마그네슘(Mg) 합금은 가벼운 무게와 우수한 기계적 특성으로 인해 자동차, 항공, 우주 산업에서 경량 소재로 주목받고 있다. 그러나 육방정계(HCP) 구조 특성상 상온에서 활성 슬립계가 부족하여 성형성이 낮으며, 이로 인해 실용화에는 한계가 있다. 또한 고온 가공 중에도 주로 기저면 집합조직이 발달하여 소성 이방성과 균열 등 기계적 결함을 유발함으로써 상업적 응용에 제약을 준다. 일반적으로 고온 변형, 미세 결정립 형성, 그리고 합금 원소 첨가는 성형성을 개선할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 하지만 Mg–Pb 합금에 대한 연구는 아직 활발히 이루어지지 않았으며, 이에 따라 본 연구에서는 Pb 첨가량이 고온 변형 시 미세조직과 집합조직 발달에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 실험에는 Pb 함량이 각각 8, 11, 15 wt.%인 마그네슘 주조재를 사용하였다. 시편은 673 K에서 25% 압하율로 열간 압연 후, Ar 가스로 봉입하여 773 K에서 1시간 동안 열처리 및 수냉을 통해 단상 구조를 형성하였다. 이어서 평면 변형 압축 시험을 723 K, 변형속도 5.0×10−2 s−15.0 \times 10^{-2}\ \text{s}^{-1}5.0×10−2 s−1 조건에서 수행하였으며, 진변형률 −0.4, −0.7, −1.0까지 변형시켰다. 변형 후에는 수냉을 실시하여 잔열로 인한 추가 조직 변화를 방지하였다. 미세조직은 주사전자현미경(SEM)으로, 집합조직은 X선 회절(XRD)과 전자후방산란회절(EBSD)로 관찰하였다. 응력–변형 곡선을 비교한 결과, 모든 합금은 변형 초기에 급격한 응력 상승을 보였고, 이후 연화로 인해 감소하다가 진변형률 약 −0.4 부근에서 다시 응력이 증가하였다. 최대 응력은 Pb 함량이 증가할수록 높게 나타났다. (0001) 극점도를 비교한 결과, Pb 함량이 높을수록 기저면 집합조직의 강도가 뚜렷하게 증가하였다. 특히 Mg–11 wt.% Pb 및 Mg–15 wt.% Pb 합금은 Mg–8 wt.% Pb에 비해 기저면 집합조직 강도가 세 배 이상 높았다. 또한 Mg–8 wt.% Pb 합금에서는 특정 방향으로 기저면이 기울어진 집합조직이 관찰되었다. 변형

후 모든 시편에서 연속 동적 재결정(CDRX)이 발생하였으며, 재결정으로 인해 (0001) 집합조직이 발달하였다. 이는 변형 전 결정의 방위에 따라 결정립이 성장하거나 소멸되는 경향으로 설명할 수 있었다. Pb 첨가는 적층결함에너지(SFE)를 낮추어 교차슬립을 억제하였고, 그 결과 기저면 집합조직 강화로 이어졌다. 그러나 SFE 변화는 테일러 인자에도 영향을 미쳐, 특정 조건에서는 기저면 집합조직 발달을 억제할 가능성 또한 내포하고 있다.

[P19-7]

고온평면변형 압축 중 Ag 함량이 마그네슘 합금의 미세조직 발달에 미치는 영향: 윤지민, 염진석, 박정빈, 김환, 김권후*(국립부경대학교)

Keywords: 마그네슘, 평면변형압축, 미세조직, 집합조직, 은

마그네슘 및 그 합금은 높은 비강도와 우수한 진동 감쇠 능력으로 인해 경량 구조재료로 주목받아 왔다. 그러나 육방조밀격자(HCP) 결정 구조는 구조적 대칭성에 의해 상온에서 활성 슬립면의 수가 제한적이기 때문에, 성형성이 떨어지고 가공 과정에서 결함 발생 가능성이 증가하는 제한점이 있다. 이를 해결하기 위해 추가 슬립면을 활성화하고자 고온 가공이 일반적으로 활용되지만, 가공 과정에서 발달하는 날카로운 기저면 집합조직은 소성 이방성을 유발하므로 이를 위한 정밀한 집합조직 제어가 요구된다. 따라서 마그네슘 합금의 산업적 응용 확대를 위해서는 집합조직 변형 메커니즘에 대한 이해가 필수적이다. 최근 연구에서는 희토류(rare earth, RE) 원소 첨가를 통해 기저면 집합조직을 약화시켜 마그네슘 합금의 기계적 특성을 개선하는 데 집중해왔다. 이 중 은(Ag)은 국소적인 클러스터를 형성하여 추가 핵생성 부위로 작용하고, 이를 통해 기계적 성능을 향상시키는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 단일상 Mg–Ag 합금에서 Ag 첨가가 미세조직 진화 및 변형 메커니즘에 미치는 영향은 아직 명확히 규명되지 않았다. 본 연구에서는 고온 평면 압축 변형(plane-strain compression) 과정에서 다양한 Ag 농도가 Mg–Ag 합금의 미세조직 진화와 집합조직 발달에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. Mg–(3, 6, 9) wt%Ag 조성을 갖는 세 가지 합금 시편을 제작하였으며, 화학 조성과 상 구성을 확인하기 위해 XRF와 XRD 분석을 수행하였다. DSC 및 상평형도를 통해 용체화 열처리 조건을 확립하였다. 잉곳은 673 K에서 25% 두께 감소율로 열간 압연되었으며, 산화를 방지하기 위해 아르곤 가스를 채운 석영관에 밀봉하여 773 K에서 1시간 용체화 처리하였다. 이후 고온 평면 압축 시험을 수행하여 Ag 함량이 집합조직 발달에 미치는 영향을 평가하였다. 미세조직과 동적 재결정(DRX) 거동은 FE-SEM과 EBSD로 분석하였으며, 압축 시험 후에는 XRD를 통해 집합조직 발달을 명확히 확인하였다. 열처리 후 Mg–Ag 합금에서는 석출물이 관찰되지 않았으며, 균질화된 상태임이 확인되었다. 평면 압축 시험에서 얻어진 응력–변형 곡선은 Ag 함량 증가에 따라 고온 강도가 향상됨을 보여주었으며, 이는 고용 강화(solid solution strengthening) 효과로 설명될 수 있다. Ag 함량과 관계없이 변형 중 미세한 등축 결정립이 형성되었으며, 이는 동적 재결정이 활발히 일어났음을 시사한다. 또한 (0001) 기저면 집합조직의 발달 양상이 Ag 함량에 따라 다르게 나타나, Ag가 고온 변형 중 집합조직 발달에 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 결론적으로, Ag 첨가는 Mg 합금의 강도를 향상시키며, 이는 고용 강화 메커니즘으로 설명될 수 있다. 또한 Ag 함량에 관계없이 동적 재결정에 의해 미세 등축립이 형성되었으며, 기저면 집합조직의 강도와 발달은 Ag 농도에 따라 달라졌다. 이는 Ag가 Mg 합금의 변형 메커니즘과 집합조직 진화에 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다.

[P19-8]

Mg-SiC 복합재의 부식 특성에 미치는 기지 합금의 영향: 강동현(한국재료연구원, 경북대학교), 배준호, 김영민, 문영훈(한국재료연구원), 박성혁(경북대학교), 김재연*(한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 부식, 복합소재

마그네슘은 낮은 밀도와 높은 비강도로 인해 수송기기용 경량 소재로 사용되어 왔다. 특히, UAM 등 미래 모빌리티에 적용성을 확대하기 위해 기계적 특성, 열적 특성, 내식성 등의 다중 물성이 요구되고 있다. 이러한 요구 물성의 고도화에 따라 특성의 한계를 극복하기 위해 강화재를 사용한 마그네슘 복합재료가 많은 관심을 받고 있다. 강화재는 복합재의 기계적 특성과 열적 특성을 향상시키지만, 기지와의 극심한 갈바닉 부식을 유발하는 것으로 알려져있다. 강화재의 종류 및 분율이 마그네슘 복합재료의 내식성에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 복합재의 내식성 저하를 최소화하기 위한 기지 합금의 최적화 연구는 수행되지 않았다. 본 연구에서는 합금 기지의 종류가 Mg-SiC 복합재의 내식성에 미치는 영향을 연구하였다. 기지 합금 설계시 중요한 점은 강화상과 갈바닉 포텐셜을 감소시키는 것이다. 따라서 기지 합금원소로써 Mg (−2.372 V vs SHE) 보다 전기화학적 포텐셜이 높은 합금원소 3종 Al (−1.662 V vs SHE), Zn (−0.7618 V vs SHE), Sn (−0.13 V vs SHE)을 선정하였다. 기지는 Mg-Sn, Mg-Zn, Mg-Al의 2원계 합금이 적용되었으며, 강화상으로서 40 μm 크기의 SiC 강화상을 사용하였다. 복합재는 교반 주조법을 활용하여 제조되었으며, 10 wt%의 SiC 강화상이 첨가되었다. 부식속도는 수소포집 시험법, 무게감소법을 통해 측정하였다. 부식 전위는 동전위 분극 시험 및 SKPFM을 활용하여 평가되었다. 그 결과, 기지의 부식전위가 증가함에 따라 부식 속도가 감소하는 경향을 보였으며, 기지의 합금원소 최적화를 통해 기지의 부식전위를 향상시킴으로서 복합재의 내식성을 개선할 수 있음을 확인하였다.

[P19-9]

Effects of Bi and Al Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of Ultralight Mg-Li-Zn Alloys: BYEONGKWON LEE, EUNCHAN KO(Chonnam national university, Korea Institute of Industrial Technology), YONGHO KIM, HYOSANG YOO, HYEONTAEK SON*(Korea Institute of Industrial Technology), TAEHOON KIM(Chonnam national university)

Keywords: Magnesium, Lithium, Bismuth, Aluminum, Mechanical properties

This study investigates the influence of Al and Bi additions on the microstructural evolution and mechanical properties of ultralight Mg-8Li-0.5Zn alloys. Alloys were fabricated by gravity casting followed by hot extrusion, and their phase fractions and microstructures were analyzed using XRD, FE-SEM, and EDS. Al addition promoted the α-Mg phase fraction and induced lattice distortion, which

enhanced strength but reduced ductility, reflecting the typical strength–ductility trade-off. In contrast, Bi addition significantly increased the β-Li phase fraction, leading to microstructural homogenization and improved ductility. Notably, the combined addition of 2 wt.% Bi to the Mg-8Li-0.5Zn-6Al alloy enabled simultaneous improvement of strength and elongation, thereby mitigating the strength–ductility trade-off. These findings demonstrate that the synergistic effect of Al and Bi offers an effective alloy design strategy for optimizing the mechanical performance of ultralight Mg-Li-Zn alloys.

[P19-10]

Mg 합금의 광학현미경 이미지를 활용한 CNN 기반 결정립 크기 예측 모델 개발 및 검증: 김가은, 김재인, 원윤정, 임창동*(한국재료연구원)

Keywords: Mg alloys, Convolutional Neural Network, Quantitative metallographic analysis

미세조직의 정량적 분석은 재료의 기계적 및 물리적 특성을 예측하고 규명하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 결정립 크기는 금속의 강도, 연성, 부식 특성 등을 결정하는 핵심 인자로, 평가자에 따른 편차나 방법론적 오류 없이 일관된 데이터 확보가 중요하다. 최근 인공지능의 활용이 활발해짐에 따라, 다양한 합금 조성과 공정 조건에서 생성되는 대규모 데이터를 신속하고 정확하게 처리할 수 있는 예측 모델 개발의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 다양한 Mg 합금의 광학현미경(OM) 이미지를 활용하여 합성곱 신경망(CNN) 기반 결정립 크기 예측 모델을 개발하였다. 학습용 데이터셋은 다양한 조성 및 공정 조건의 OM 이미지를 전처리하고, 데이터 증강기법을 적용하여 구축하였다. 모델 구조 및 하이퍼파라미터는 미세조직적 특징을 효과적으로 학습할 수 있도록 최적화하였다. 개발된 모델의 일반화 성능은 서로 다른 열처리 조건을 적용한 Mg, Mg-Zn, Mg-Ca계 합금의 실험 측정값과 모델 예측값을 비교 분석하여 검증하였다. 최종적으로, 해당 모델은 GUI 기반 프로그램으로 구현되어 향후 Mg 합금 데이터베이스 구축 및 인공지능 기반 미세조직 분석 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P19-11]

생체분해성 마그네슘 합금의 스퍼터링 타겟 소재 특성 및 부식 거동 평가: 김재인, 김가은, 원윤정, 임창동*(한국재료연구원)

Keywords: Mg alloys, Biodegradable, Sputtering target

Mg 및 Mg 합금은 우수한 생체적합성과 생체분해성을 지녀 뇌심부자극기, 인공심박동기, 인공 와우 등 차세대 삽입형 의료소자용 소재로 주목받고 있다. 이러한 의료소자에 적용하기 위해서는 체내 환경에 적합한 맞춤형 생분해 속도 조절과 더불어, 유연하며 복잡한 체내 부위에 부착 가능한 박막 제조 기술이 요구된다. 대표적인 박막화 공정인 스퍼터링 공정에서 핵심 요소인 타겟 소재의 특성은 박막의 품질 및 성능에 직접적인 영향을 미치므로, 타겟 소재의 균일성뿐 아니라 기계적 성질, 전기적 특성, 부식 거동 등 기능적 특성에 대한 종합적인 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 생체분해성 Mg 및 Mg-X (X=Zn, Ca)계 합금을 제조하여, 미세조직, 기계적 성질, 전기전도도, 그리고 체내 모사 환경에서의 부식 거동을 체계적으로 평가하였다. 이를 통해 생체분해성 Mg계 합금의 소재-공정-특성 간의 상관관계를 규명하였으며, 본 연구 결과는 향후 삽입형 의료소자 적용을 위한 Mg계 기반 박막의 소재 설계 및 공정 최적화에 중요한 기초적 근거를 제공할 것으로 기대된다.

P20 : 복합재료
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P20-1]
비금속 원자를 활용한 Al-Zn-Mg-Cu-O 합금의 MWCNT 첨가로 인한 석출물 거동에 따른 미세조직과 기계적 성질의 변화: 박현우, 공서윤, 김대호, 이희성(국립순천대학교), 배동현, 이진원(연세대학교), 신세은*(국립순천대학교)
Keywords: Al-Mg-Zn-Cu, 비금속 원소, CNT, 석출물
자동차 산업 분야에서 연비 향상을 위해 높은 비강도와 우수한 기계적 성질을 지닌 소재 개발이 지속적으로 요구되고 있다. 본 연구에서는 비금속 원소가 포함된 새로운 조성의 알루미늄 합금 기지 (Al-Zn-Mg-Cu-ZnO)에 약 3 vol.%의 CNT 강화상을 기계적 밀링을 통해 균일하게 분산시켜 복합 분말을 제조하였다. 이후 상용 합금인 Al 7075와 새로운 조성의 모재 합금을 비교 대상으로 하여, Spark plasma sintering으로 소결체를 제작하였다. 소결 후 기계적 성질과 석출물 거동 분석을 위해 T6를 수행하였다. 미세조직 관찰 결과 세 시편 모두 소결 과정에서 석출물이 성장 및 조대화 되었으며, T6 후 석출물 크기가 감소하고 균일하게 분포하여 경도가 최대 2배 향상되었다. 새로운 조성의 합금에서 비금속 원소 산소가 첨가와 합금 원소 첨가량의 증가로 인해 Al 7075 대비 경도가 향상되었으나, CNT를 첨가한 복합재는 CNT 첨가 시 Mg가 CNT-기지 간 계면으로 확산하여 $MgAl_2O_4$ 상을 형성하여 석출물 ($MgZn_2$)의 수가 감소하고, 이에 따라 경도와 탄성계수가 저하되었다.

[P20-2] Canceled
HP 및 SPS로 제조한 Al/B_4C 복합재료의 기지/입자 계면 및 강화기구 분석: 권택규, 조의제*(국립순천대학교)
Keywords: Al/B_4C 복합재료, HP, SPS, 계면, 강화기구
B_4C 입자를 강화재로 사용한 Al 복합재료는 뛰어난 강도, 강성, 내마모성, 열전도도 및 경량성을 지닌다. 분말야금으로 제조 시 열간 가압 소결(hot pressing, HP)과 방전 플라즈마 소결(spark plasma sintering, SPS)이 사용되며, 균일한 압력 전달을 통해 잔류 기공과 미세균열을 제거할 수 있다는 장점을 갖는다. HP는 외부 가열로 인해 공정 시간이 긴 반면, SPS는 균일한 줄 발열로 소결 시간이 짧다. 이러한 소결 공정 차이에 의해 기지와 강화재간 계면 반응을 위한 시간이 서로 다르기에, 반응물의 생성과 두께의 차이가 관찰될 수 있다. 또한, 미세조직 형성 및 치밀화에도 영향을 미치므로 복합재료의 주요 강화기구도 다를 것이라 예상된다. 따라서 Al/B_4C 복합재료의 미세조직 및 특성간 균형을 고려하여, 계면 및 강화기구를 비교하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 Al/B_4C 복합재료의 계면 및 강화기구에 미치는 소결 공정의 영향을 조사하였다. 5–30 wt% B_4C와 Al 분말을 볼 밀링으로 혼합한 후, HP와 SPS를 각각 이용하여 630 ºC에서 소결하였다. 투과전자현미경(TEM)을 통해 복합재료 내부 기지/입자 계면, 결함, 결정구조를 관찰하였고, 제조된 공정에 따른 영향을 비교하였다. 미소 경도 측정기를 통해 기계적 특성을 측정하였다. 복합재료의 강도 예측을 위해 미소 경도 데이터를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 계산 데이터를 활용하여 소결 공정에 따른 강화기구를 하중 전달, 결정립 미세화, Orowan 강화, 열 특성 불일치, 기공도 등을 통해 분석하였다.

[P20-3]
플라즈마 공법을 활용한 카본코팅 금속 나노분말 제조방법: 성덕규*, 이제인*(Pusan National Univ.)
Keywords: Metal, Nano powder, Nickel alloy, Copper, Silicon, Carbon coating, Plasma
나노 분말은 이차전지 소재를 비롯하여 촉매, 반도체, 바이오 센서, 고분자 복합재, 전도성 필러 등 다양한 첨단 산업 분야에서 핵심적으로 사용되고 있다. 그러나 기존의 나노 분말 제조는 고가의 장비와 복잡한 공정을 필요로 하며, 낮은 수율과 높은 원가로 인해 상용화에 어려움이 존재한다. 특히 표면에 카본 코팅을 더 할 경우 공정이 추가되어 경제성이 더욱 낮아지는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 플라즈마 공법을 응용하여 합리적인 비용으로 나노 분말을 제조하고, 동시에 표면 카본 코팅을 구현할 수 있는 방법을 개발하였다. 우선 실리콘 나노 분말에 대해 카본 코팅을 적용하였으며, 제조된 분말을 SEM, EDX 등을 통해 분석한 결과, 구형의 실리콘 나노 입자 표면에 여러 겹의 균일한 카본 코팅이 형성됨을 확인하였다. 또한, 제조된 실리콘-카본 복합 나노분말은 이차전지 음극활물질로 활용 가능한 전기화학적 특성과 사이클 안정성을 확보하였음을 실험을 통해 확인하였다. 현재는 니켈, 구리 등 다양한 금속을 대상으로 플라즈마 공법을 기반으로 한 나노 분말 제조 및 다중 카본 코팅 조건을 탐색하는 연구를 진행 중이며, 이를 통해 높은 성능과 경제성을 동시에 갖춘 나노 코팅 분말 제조 공법을 제시하고자 한다. 본 연구는 차세대 첨단 기능성 소재 개발에 기여할 수 있는 유의미한 제조 방법으로 활용될 것으로 기대된다. 발표분야: 복합재료

[P20-4]
Development and application of WC-based cemented carbide bonded with Co based multi-component alloy binder: Jinwoo Seok(Korea Institute of Industrial Technology, Kyung Hee University), Juree Jung, Jongtae Kim, JeSun On, MI HYE LEE(Korea Institute of Industrial Technology), Bin Lee(Kyung Hee University), Junhee Han, Leeseung Kang*(Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Cemented carbide, Spark Plasma Sintering(SPS), Powder metallurgy, Microstructure, Alloy Design
Cemented carbide composed of Tungsten Carbide(WC) and cobalt metal binder is a representative material for cutting tools because of its superior mechanical properties. There are strong demands for reduction or replacement of Cobalt in different industries due to the

recent price hike and supply instability. Therefore, Co-based multi-component alloys are developed as alternative binders with Ni, Fe, Al and Hf in order to reduce the content of Co and improve the mechanical properties of cemented carbide. Co-based multi-component alloys powders are produced by gas atomization and subsequently sieved under 53 μm for the binder of cemented carbide. A mixture of WC(1.8 μm) and alloy binders are sintered by Spark Plasma Sintering(SPS) at vacuum atmosphere after ball milling. Microstructures and mechanical properties are analyzed by X-ray diffraction, Scanning-Electron microscopy, Energy-Dispersive Spectroscope and Vickers Hardness tester(30 kgf). The cemented carbide applied on Co based multi-component alloy showed excellent mechanical properties compared to the conventional WC-Co and this suggests that the alternative alloy binders developed in this study have applicability to a new type of cemented carbide for cutting tool materials.

[P20-5]

Switchable Thermochromic Transparent Wood Incorporating PDLC for UV-Shielding and Energy-Efficient Smart Windows: Jin Jae Eun, Kim Jang Hee, Jeong Hyeon Ji, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai*, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

Keywords: Transparent wood, Thermochromic polymer-dispersed liquid crystals, UV blocking, Smart windows

Ultraviolet (UV) radiation poses serious risks to both human health and the longevity of household materials, prompting an urgent demand for smart window technologies with effective UV-shielding capabilities. Conventional glass suffers from limited UV and thermal insulation performance, highlighting the need for alternative materials that combine high optical transparency, low thermal conductivity, and superior UV protection. In this work, we introduce, for the first time, switchable thermochromic transparent wood (TWs) for smart window applications by incorporating a UV-curable polymer-dispersed liquid crystal (PDLC) into surface-modified wood. The resulting PDLC/TW structures regulate visible light transmittance in a temperature-dependent manner without external power input. Specifically, balsa-based PDLC/TW shows a tunable transmittance at 550 nm, increasing from 28% at ambient temperature to 78% at 40 °C. In addition, the material delivers exceptional UV-blocking performance and a thermal conductivity of only 0.197 W m^{-1} K^{-1} nearly five times lower than that of glass (0.911 W m^{-1} K^{-1}). During daylight hours, the PDLC/TWs allows visible light to pass through while filtering UV radiation, promoting natural indoor illumination and reducing health risks; at night, its opacity ensures privacy protection. These results underscore the strong potential of PDLC/TWs as a next-generation, energy-efficient glazing material for sustainable architecture.

[P20-6]

금속용탕 탈성분법에 의해 제작된 Ti-6Al-4V/Mg 복합재료의 장입조건에 따른 미세조직 변화: 성지혜(단국대학교), 김정기(국립경상대학교), Hidemi Kato(동북대학교), 홍순직(국립공주대학교), 박성혁(국립경북대학교), 주수현*(단국대학교)

Keywords: Liquid Metal Dealloying, Ti-6Al-4V/Mg composite, microstructure

금속용탕 탈성분법(Liquid Metal Dealloying, LMD)은 전구체 합금 내 원소들과 금속용탕 간의 선택적 혼화성을 이용하여 특정 원소를 제거하고, 남은 원소들의 재배열을 통해 새로운 미세조직을 형성하는 새로운 공정이다. LMD는 고온 금속 용탕을 매질로 활용하므로 반응 속도가 빠르고, 비귀금속을 포함한 다양한 합금 조성 및 조건에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금을 전구체로 Mg 용탕에 장입하여 Ti-6Al-4V 합금 표면에 생성되는 3차원 연속연결구조를 관찰하였다. 온도–시간 조건은 (i) 800 ºC에서 20, 40, 60, 80 min, (ii) 800 ºC에서 40 min 처리 후 700 ºC에서 5 min, (iii) 800 ºC에서 10 min 처리 후 700 ºC에서 5 min으로 설정하여 온도와 시간의 영향을 평가하였다. SEM 분석 결과, 800 ºC에서 40분 조건은 표면에 3차원 연속연결 구조가 가장 뚜렷하게 발달하였으나, 60과 80분 후에는 연결성이 크게 감소하는 경향을 보였다. 또한 LMD 반응 온도를 실험 중간에 변경한 (ii)번 조건(800→700 ºC)에서는 단일 온도 장입에 비해 상대적으로 미세하고 균일한 표면 미세조직이 형성되었으며, 표면과 내부 간에도 구조적 차이가 관찰되었다. EBSD 분석에서는 장입 조건에 따른 결정방위 분포 차이가 확인되었고, 특히 (ii)번 조건에서 보다 균질한 결정학적 특성이 나타났다. XRD 분석을 통해 시간 조건에 따른 결정 구조 변화를 확인하였으며, 마이크로 비커스 시험을 통해 장입 조건에 따른 경도 변화도 관찰되었다. 본 결과는 Ti-6Al-4V/Mg 복합재료의 미세조직 형성이 단순히 장입 시간에 따라 조대화되는 것이 아니라, 특정 시간에서 최대 발달 후 감소하는 비선형적 거동을 보임을 시사하며, LMD 공정 최적화 및 복합재료 성능 향상에 중요한 기초 자료를 제공한다.

[P20-7]

Antioxidative, conductive and Super tough MXene/graphene hybrid porous films with metal ion linker for efficient electromagnetic interference shielding: Jeong Hyeon Ji, Kim Jang Hee, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Jin Jae Eun, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

Keywords: MXene, Reduced graphene oxide, Electromagnetic interference shielding, Divalent metal ion linker

The increasingly serious electromagnetic radiation and electronic waste pose a significant threat to public health and the operation of electronic devices. For this, ingenious microstructure design and a suitable multicomponent strategy are challenging for advanced electromagnetic wave absorbing materials with strong absorption and a broad effective absorption bandwidth. However, the construction of three-dimensional (3D) and lightweight MXene macroscopic assemblies with excellent electrical conductivity and mechanical performances has not been realized due to the weak structural formation capability of MXene sheets. Herein, a 3D dielectric $Ti_3C_2T_x$

MXene/reduced graphene oxide (MX-rGO) structure anchored with magnetic Fe nanochains was constructed via a vacuum filtration method followed by the hydroiodic acid (HI) chemical reduction process. The continuous interfacial bridging approach involves incorporating hydrogen, ionic, covalent bondings and π-π bridging, and was developed to fabricate ultrastrong hydroxylated graphene oxide and $Ti_3C_2T_x$ MXene films with superior mechanical properties, electrical conductivity and electromagnetic interference (EMI) shielding performance. Furthermore, Fe^{2+} ions were introduced to enhance cross-linking degree and stabilize the structural matrixes, which endowed the films with superior mechanical flexibility and durability. These findings demonstrate the potential of MX-rGO films as innovative EMI shielding materials for diverse applications, including aerospace, flexible supercapacitors, and advanced smart electronic devices.

[P20-8]

Nature-Inspired Binder-Free SiO_x/rGO/CNT Fiber Electrodes with Hierarchical Architecture for efficient wire-shaped high-energy lithium-Ion batteries: Kim Jang hee, Jeong Hyeon Ji, Lee Ryun Kyeong, An So Yeon, Jin Jae Eun, Song Jun Ui, Ahn Jae Gyu, Li Cheng Ai, Song Sung Ho*(Kongju National Univ.)

Keywords: SiO_x/rGO/CNT composite, CNT Fiber, Wet-Spinning, Flexible electrode, Fiber shape lithium-ion batteries

The ongoing development of wearable and flexible devices has necessitated the exploration of lightweight and robust energy storage systems capable of maintaining power and energy density under a variety of mechanical deformation conditions. Carbon nanotube fibers (CNTFs) generated via a liquid crystalline (LC) wet-spinning process demonstrate outstanding electrical conductivity, mechanical strength, and flexibility. This study was developed the binder-free, freestanding SiO_x/rGO/CNT fiber electrodes featuring a hierarchical structure inspired by the natural spatial arrangement of fruits on branches. Within this architecture, SiO_x/rGO particles are homogeneously embedded in a continuous CNTFs network, enabling efficient charge transport and enhanced stability. Porous SiO_x/rGO microspheres have been prepared by the spray drying and subsequent carbonization process using the polyvinyl alcohol (PVA) as cross-linking agent for the volume change of Si during the charge-discharge process. These were subsequently combined with single-walled CNTs in chlorosulfonic acid (CSA), processed into continuous fibers through wet spinning, and annealed at 700 °C to optimize reduction and mechanical integrity. As anodes in lithium-ion batteries, the fibers exhibited a high energy density and could effectively work after bending. This scalable, bio-inspired fabrication route offers a promising pathway toward next-generation, flexible, and high-performance fiber-based energy storage systems.

[P20-9]

고온-고진공 액적형상 분석 장비를 활용한 액상 금속의 고온 습윤성 평가: 김태윤, 최정원, 이제인*(부산대학교)

Keywords: Contact angle, wettability, surface tension, metal-matrix composites

에너지 효율 향상과 극한환경에서 안정적으로 구동 가능한 신소재 개발에 대한 수요가 증가함에 따라, 기존 상용합금을 대체할 수 있는 차세대 신합금을 세라믹과 접목한 금속 기지 복합소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 금속-세라믹 복합소재는 항공우주, 가스터빈, 전자 패키징과 같은 고온, 고내식성이 요구되는 환경에서 활용되는 구조재 및 접합 부품 개발에 필수적이며, 금속-세라믹 간의 계면 특성은 나아가 구조재료의 기계적 특성에 큰 영향을 미친다. 따라서, 특정 온도 및 분위기 조건 아래 정량적인 습윤성 및 부식 특성 평가가 요구되며, 특히 합금원소 첨가 및 조성 변화에 따른 접촉각, 표면장력 측정이 필수적이다. 하지만 알루미늄, 마그네슘, 타이타늄 그리고 비정질 합금 등의 비철 금속의 경우, 높은 산소친화도로 인해 고온 분위기에서도 고진공 분위기가 요구되어 정확한 습윤성 평가에 제약이 존재한다. 본 연구는 실험실 내 구축된 최대 1800 ºC 승온 및 1×10^{-6} mbar 진공도 제어가 가능한 고온-고진공 접촉각 장비를 활용해, 기존 연구 시 제약이 있던 알루미늄, 비정질 합금은 물론 여태까지 보고되지 않았던 신합금의 세라믹에 대한 습윤특성을 정량적으로 평가하였다. 또한, 열역학적 데이터베이스를 기반으로 CuAg계 합금을 설계하고 실제로 알루미나에 대한 습윤성을 측정하여 세라믹에 대한 반응성 및 침투성을 정량적으로 평가하였다.

[P20-10]

MoO2 분말의 소결 과정이 미세구조 변화, 결정립 및 결정립 성장에 미치는 영향: 이종범, 정재훈, 정하국*(한국생산기술연구원)

Keywords: MoO2, 소결, XRD, SEM, 결정립 성장

평균 기공 크기가 3.4 nm이고 비표면적이 2.5 g/cm^{3}인 MoO_2 미세 분말을 건식 압착 방식으로 압축한 후, 질소(N_2) 분위기에서 무가압 소결을 진행하였다. 소결 조건은 1000–1150 ºC에서 2시간 동안, 그리고 1050 ºC에서 0.5–12시간 동안이었다. 이후, 시료의 형상, 결정립 및 결정립 성장과 관련된 미세구조 변화를 조사하였다. 특정 온도 및 시간 조건에서 소결을 진행한 결과, 불규칙한 형태의 MoO_2 분말이 표면 에너지로 인해 등축정 구조로 상전이되었으며, 이는 소결 초기 단계에서 더 빠른 결정립 성장에 기여하였다. 결정립 크기 및 결정립 크기는 소결 시간이 증가함에 따라 지수함수적으로 증가하였으며, 성장 지수(n)는 각각 약 2.8과 4로 나타났다. 이는 결정립 성장이 전위 매개 격자 확산에 의해 지배되고, 결정립 성장은 표면 확산 제어 기공 이동성에 의해 결정됨을 의미한다. 소결 온도 증가는 결정립 크기 및 결정립 크기 모두를 증가시켰으며, 이는 Arrhenius 방정식을 따르는 경향을 보였다. 결정립 성장 및 결정립 성장에 대한 활성화 에너지는 각각 95.65 kJ/mol과 76.95 kJ/mol로 결정되었다.

[P20-11]

복합소재를 적용한 선박 의장품 실증에 대한 연구: 최건한*(유니버셜마린테크 주식회사)

Keywords: 복합소재, 경량화, 친환경, ESG, 선박의장품

전 세계 약 5만 척 이상의 상선들이 운항 중이며, 해운물동량은 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 상황에서 IMO 환경 규제 강화와

ESG 경영 확산은 선박의 연료 효율 향상과 온실가스 저감을 필수 과제로 부각시키고 있다. 이에 따라 선박 부품의 경량화는 연료 절감과 탄소배출 저감에 직결되는 핵심 기술로 주목받고 있다. 본 연구는 선박의장품(AIR VENT, HATCH COVER, WATER TIGHT DOOR 등)에 복합소재를 적용하여 기존 강재 대비 60~70%의 중량 절감과 함께 우수한 구조 강도, 내구성, 내식성을 확보하는 가능성을 제시한다. 복합소재는 높은 비강도와 부식 저항성, 진동 감쇠 특성을 바탕으로 해양 환경에서의 수명 연장과 유지보수 비용 절감에 기여하며, 이는 곧 연료 소비 감소와 CO_2 배출 저감 효과로 이어진다. 또한 복합소재는 설계 자유도와 가공성이 뛰어나 다양한 선박 규격과 형상에 적용이 가능하고, 표준화·모듈화된 생산체계 구축에도 적합하다. 본 초록에서는 복합소재의 주요 물성치(인장강도, 탄성계수, 내식성 지수 등)와 실증 데이터를 토대로, 선박의장품의 경량화·친환경화·경제성 향상을 동시에 달성할 수 있는 기술적 타당성을 제안한다.

P21 : 철강-압연, 강종개발, 후처리
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P21-1]
잠호아크용접된 파이프라인강의 내수소취성 분석: 서재완*, 이승준(한국공학대학교), 김성웅(세아제강)
Keywords: 수소취성, 잠호아크용접, X65
본 연구에서는 잠호아크용접 (Submerged arc welding)을 이용한 X65급 파이프라인강의 용접부와 모재부의 내수소취성을 연구하였다. 상온에서 전기화학적 수소주입을 진행한 후 V-노치 인장시편을 이용하여 slow strain rate tensile test (SSRT, crosshead speed: 0.084 mm min^{-1})를 통해 기계적 특성 및 내수소취성을 비교하였다. Silver (Ag) decoration 실험을 통해 수소트랩 및 확산 거동을 확인하였으며, 주사전자 현미경을 통해 모재와 용접부의 미세조직을 확인하고 파단면 및 수소 유기 크랙 관찰을 통해 미세조직과 상관관계를 분석하여 내수소취성이 달라진 원인을 밝혀내고자 한다.

[P21-2]
SNCM440 강의 합금원소 첨가를 통한 기계적 특성 향상 연구: 한수빈, 이유리, 김지욱, 조용재, 이호진, 송혜진*(한국생산기술연구원)
Keywords: SNCM440, 열처리, 미세조직, 기계적 특성
SNCM440은 우수한 강도와 인성과 같은 기계적 특성을 가진 크롬-몰리브덴계 저합금강으로 자동차 및 기계부품 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 열처리 조건에 따른 미세조직 변화 및 기계적 특성 저하 등의 한계가 존재한다. 이에 본 연구에서는 다양한 합금원소를 첨가하여 열처리를 진행한 후 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 열처리는 QT(quenching-tempering) 과정을 통해 진행하였으며, 미세조직 분석은 광학현미경(OM) 및 주사전자현미경(SEM) 등을 통해 수행되었다. 또한, 기계적 특성 평가는 경도시험 및 인장시험 등을 통해 정량적으로 비교 분석하였다. 그 결과, 특정 합금원소의 첨가가 결정립 미세화 또는 석출 강화 등과 같은 효과를 유도함으로써 기계적 특성을 향상시켰다. 본 연구는 기존 SNCM440 소재의 한계를 극복하고, 고 신뢰성 부품 소재로서의 적용 가능성을 확장하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P21-3]
Step cooling 열처리를 통한 3.5NiCrMoV 강의 템퍼 취성 경향 분석: 김중훈(한국생산기술연구원, 울산과학기술원), 강수성(한국생산기술연구원, 부경대학교), 김형찬, 김병준(한국생산기술연구원), 박성수*(울산과학기술원), 김병구*(한국생산기술연구원)
Keywords: Step cooling heat treatment, 3.5NiCrMoV steel, DBTT & FATT, Temper brittlement
가스터빈은 고온·고압의 연소가스를 이용하여 터빈을 구동하는 회전형 내연기관으로, 발전용 복합발전 및 열병합발전소의 핵심 장치로 널리 사용된다. 압축기에서 생성된 고온·고압의 공기에 연료를 분사하여 연소시킴으로써 발생하는 연소가스는 터빈을 회전시키고, 이를 통해 기계적 에너지가 전기에너지로 변환된다. 발전용 가스터빈은 1980년대 출시된 1세대 D모델을 시작으로, 가동 온도·효율·출력의 지속적인 향상을 거쳐 2010년대에는 4세대 H모델이 세계 시장을 주도하고 있다. 특히, 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 2018년 대비 44.4%의 온실가스 감축이 요구됨에 따라, 친환경 에너지 정책의 일환으로 LNG 발전 비중이 확대될 것으로 전망된다. 이에 따라, 가스터빈 기술 고도화와 핵심 부품의 국산화는 국가 에너지 안보와 산업 경쟁력 확보를 위해 필수적이다. 가스터빈은 약 450개 이상의 내부 블레이드를 포함하여, 약 4만여 개의 부품으로 구성되어 있다. 운전 환경은 약 1500 ~ 1700ºC에 이르는 고온에 노출되며, 이를 견디기 위해 초내열합금 소재, 정밀 주조 기술, 고효율 축류형 압축기 설계, 배출가스 저감 기술, 그리고 연소기·압축기·터빈의 핵심 구성품을 통합하는 고난도의 시스템 설계 역량이 요구된다. 이 중 압축기는 약 400ºC 이상의 온도에서 고속 회전하며, 운전 중 지속적인 진동과 응력을 받는다. 따라서 압축기 부품 소재에는 우수한 내진동 특성, 템퍼 취성 저항성, 그리고 높은 청정도가 동시에 요구된다. 그러나 고온 터빈 부품과 달리 압축기 부품에 대한 연구와 개발은 상대적으로 제한적이며, 특히 소재의 장기 신뢰성 확보를 위한 체계적인 연구가 부족한 실정이다. 가스터빈 분야는 미국, 독일, 일본 등 주요 선진국에서 전략 산업으로 지정되어 있어, 핵심 기술의 이전이 제한적이다. 이에 따라 국내에서는 핵심 기반 기술의 독자 개발과 자립이 절실히 요구된다. 또한, 가스터빈 기술은 분산 발전, 열병합 발전, 차세대 연료전지와의 하이브리드 시스템 등 다양한 에너지 분야에 응용 가능하며, 민수용뿐만 아니라 군수용에서도 활용도가 높다. 본 연구는 가스터빈 압축기용 소재인 3.5NiCrMoV 강의 템퍼 취성 경향을 파악하기 위해 step cooling 열처리와 ductile to brittle transition temperature (DBTT) 및 fracture appearance transition temperature (FATT) 평가를 통해 분석하였다. Step cooling 열처리는 233시간만에 소재의 템퍼 취성을 평가할 수 있는 효율적인 방법으로, 장시간의 노출 시험을 대체할 수 있다는 장점이 있다. 열처리 마스터 커브를 작성하여 열처리 최적 조건 (830ºC 퀜칭 후 605ºC 템퍼링)을 확정하였다. 이후 해당 조건으로 총 27개의 시편을 제작하였으며, 5단계로 구성된 step cooling 열처리를 상온에서 전기로를 통해 진행하였다. 열처리 완료 후에는 총 9개의 온도 조건에서 충격 시험을 수행하여 DBTT 및 FATT 분석을 진행하였고, 해당 결과를 바탕으로 소재의 템퍼 취성 경향을 정량적으로 분석하였다.

[P21-4]
Batch annealing된 3Mn의 냉간압연 후 단시간 열처리가 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향: 임용수, 김진경*(한양대학교)
Keywords: 중망간강, 이상영역 열처리, TRIP 효과, 오스테나이트 안정도
3~12 wt.%의 망간이 첨가된 중망간강(Medium Mn steel)은 우수한 기계적 물성을 나타내며 차세대 고강도 자동차용 강판 소재

로서 활발히 연구되고 있다. 중망간강의 기계적 성질은 C와 Mn 등 오스테나이트 안정화 원소에 의한 오스테나이트 안정도에 크게 의존하며, 따라서 우수한 기계적 특성을 확보하기 위해서는 오스테나이트 안정도를 적절히 조절하는 공정이 필수적이다. 본 연구에서는 Fe–3Mn–0.2C–1Al (wt.%) 조성의 중망간강을 열간압연한 후, 680 °C에서 10시간 동안 이상영역 열처리를 실시하여 형성되는 오스테나이트에 Mn이 최대한 농축되도록 하였다. 이후 냉간압연을 거쳐 660–740 °C 범위에서 5분간의 이상영역 열처리를 수행하였다. 720 °C에서 5분간 열처리한 시편을 XRD로 측정한 결과 18.2%로 가장 높은 오스테나이트 분율을 나타내었다. 열처리 후 미세조직은 조대한 페라이트 결정립과 오스테나이트 결정립으로 구성되었으며, 인장시험 결과 항복강도, 인장강도, 연신율이 각각 378.1 MPa, 691.0 MPa, 16.6%로 나타났다. 낮은 항복강도는 조대한 페라이트 결정립 형성에 기인한 것으로 판단되며, 결정립 성장을 억제하면서 동시에 오스테나이트 분율을 확보할 수 있는 추가적인 열처리 조건 최적화를 진행하였다. 이후 미세조직과 기계적 성질 간 상관관계를 고찰하였다.

[P21-5]

열처리와 바나듐 첨가가 고망간강의 표면 및 내부 미세조직에 미치는 영향: 양승우, 송호정(동아대학교), 박시욱, 김용진(국방과학연구소), 박건우(울산과학기술원), 소태일(포스코), 김병준(한국생신기술연구원), 장재훈(한국재료연구원), 전종배*(동아대학교)

Keywords: 고망간강, 바나듐, 열처리 효과, 미세조직 변화, 재결정

고망간강 (High-Mn Steel)은 20~30 wt.% 수준의 망간(Mn)을 포함한 오스테나이트계 강으로 높은 항복 및 인장강도와 내마모성을 갖추고 있어 건설, 조선 및 자동차 산업 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 또한 고망간강의 기계적 물성을 향상시켜 더 많은 산업 분야에 적용하려는 많은 연구들이 진행되고 있고, 특히 후물재 및 열연재의 기계적 성질 개선에 대한 연구가 최근 주목받고 있다. 고망간강의 기계적 성질은 미량 합금 원소 첨가와 공정 열처리 이력에 의해 향상될 수 있으며 이에 따른 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 열간압연 고망간강의 바나듐 함량(0.4, 0.5, 1.0 wt.%) 및 열처리 조건(As-rolled, 900ºC, 1000ºC)에 따른 표면과 심부의 미세조직 변화를 분석하였다. 열처리 샘플은 10x10x10 mm의 cube형태이며 대기 분위기 하 900ºC, 1000ºC에서 30min 열처리를 진행하였으며 이후 water quenching을 진행하였다. 표면과 심부로 나누어 열처리 효과를 분석하기 위해 열처리가 완료된 cube 샘플은 5×10×10 mm 크기로 절단하였다. 미세조직 분석을 위해 EBSD(electron backscattered diffraction)를 사용하여 위치에 따른 주요 상, 재결정 분율, 결정립의 형상 및 크기 등을 분석하였다. EBSD 분석 결과, ε-martensite는 0.4V 및 0.5V 시편에서 900ºC와 1000ºC 열처리 후 표면에서만 관찰되었으며, 심부 및 1.0V 시편에서는 관찰되지 않았다. 열처리 온도가 증가할수록 ε-martensite 분율과 재결정 분율은 증가하였으나, 바나듐 함량이 높아질수록 두 분율이 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 재결정은 심부보다 표면에서 더 높은 분율을 보였다. 이러한 결과는 바나듐 첨가가 고망간강의 ε-martensite 형성과 재결정 거동을 억제하는 동시에, 열처리 조건과 위치에 따른 미세조직 변화 양상이 달라짐을 보여준다. 이는 바나듐 함량과 열처리 조건을 조절함으로써 고망간강의 미세조직 안정성과 상 거동을 제어할 수 있는 가능성을 보여준다

[P21-6]

위성 구조체용 인바/마르텐사이트강 클래드 합금 개발: 송건호, 김채영, 한정호*(한양대학교)

Keywords: 클래딩, 인바, 마르텐사이트강

우주 환경에서 운용되는 위성은 일식, 일광에 따른 극심한 온도 변화(-150°C ~ 100°C), 유성체 및 우주 파편과의 충돌 위험 등 가혹한 조건에 노출된다. 이러한 이유로 위성의 구조 부품은 극한 환경을 견디기 위해 경량성, 저열팽창성, 고강도, 고인성 등 상반되는 특성을 동시에 요구한다. 현재 위성의 구조체는 용도별 요구 특성에 따라 다양한 합금이 복합 적용된다. 예를 들어, 높은 비강도가 요구되는 부품에는 Ti-6Al-4V 합금, 저열팽창 특성과 높은 인성이 필요한 부품에는 인바 합금, 경량성이 필요한 부품에는 알루미늄 7000계 합금이 사용된다. 그러나 이러한 방식은 제조 공정의 복잡성을 증가시키며, 생산 비용 증가를 초래한다. 본 연구에서는 단일 소재를 제조하기 위한 대안으로 클래딩 공정을 제안하며, 상반 물성을 확보하기 위해 고인성, 저열팽창 특성을 갖는 인바 합금과 고강도를 갖는 마르텐사이트강을 클래딩하였다.

[P21-7]

Fe-Cr-Mn-Ni 4원계 합금의 이차상 석출 거동에 따른 강도–부식 상관성 규명: 김려현, 곽종현, 성효경*(국민대학교)

Keywords: Fe-Cr-Mn-Ni 4원계 합금, FCC 강, 석출 거동, σ상, 기계적 특성, 부식 저항성

Fe–Cr–Mn–Ni 기반 내식강은 우수한 기계적 특성과 내식성을 바탕으로 극한 환경 구조 재 및 원자력 설비 분야에서 주목받고 있다. 그러나 고강도 확보와 내식성 유지 간의 균 형은 여전히 해결해야 할 핵심 과제이며, 특히 방사선 반감기가 긴 Ni의 함량을 저감하 면서도 기계적 성능을 유지하려는 연구가 지속되고 있다. 본 연구에서는 Fe–6Cr–12Mn–9Ni 조성을 기반으로, 800°C 및 1000°C 열처리 조건에 따 른 σ상(시그마 상) 석출 거동, 어닐링 쌍정(annealing twin) 형성, 그리고 그에 따른 미세 조직 변화와 기계적·내식 특성 간의 상관관계를 분석하였다. EBSD 및 인장 파단면 분석 결과, 800°C 열처리 시편에서는 잔류 격자 변형이 유지되며 σ상이 세립 조직 내에 미세 하게 석출되었고, 저각입계 증가 및 높은 GOS 분포가 관찰되었다. 반면 1000°C 열처리 를 통해 재결정이 활성화되면서 Σ3 쌍정계의 분율이 증가하고, σ상은 결정립계 또는 결 정립 내부에 국소적으로 잔류하는 형태로 전환되어 인장강도 1.2GPa 및 46%의 연성을 가지는 우수한 강도-연성 조합을 보였다. 전기화학적 부식 실험을 통해 내식 특성은 열처리 조건보다는 조성에 보다 큰 영향을 받 는 것으로 확인되었으며, σ상 분율이 높은 800°C 열처리 시편에서는 Cr 결핍 영역 증가 및 입계 부식 민감도가 증가하였다. 반면, 재결정 및 쌍정 형성이 우세한 1000°C 열처리 시편에서는 보다 안정적인 수동 피막이 형성되어 부식 전류 밀도가 감소하였다. 본 연구는 열처리에 따른 twin–σ상 간의 경쟁적 관계와 그로 인한 미세조직–기계적–내 식 특성 간의 상관구조를 규명하였으며, 향후 Fe 기반 내식합금의 내환경 특성 향상을 위한 열처리 설계 전략에 기초 자료를 제공한다.

[P21-8]

열처리 압력 조건에 따른 초오스테나이트계 스테인리스강(XM-19)의 기계적 물성변화 분석: 윤준원, 박성민(한국생산기술연구원, 고려대학교), 이민수(한국생산기술연구원), 손석수(고려대학교), 박창수*(한국생산기술연구원)

Keywords: XM-19, Heat treatment pressure, Microstructure, Relaxation Tension test

XM-19초오스테나이트계 스테인리스강(SASS, Nitronic 50)은 우수한 내식성과 높은 강도를 동시에 갖추어 화학 플랜트, 해양 구조물 등 고부식·고하중 환경에서 널리 사용되며, 고온 안정성을 바탕으로 소형 모듈형 원자로(Small Modular Reactor, SMR)와 같은 차세대 원전 부품 소재로의 적용 가능성이 주목받고 있다. 이러한 응용 환경에서는 내부 결함 제거 및 조직 치밀화를 통한 기계적 성능 향상이 필수적이며, 이를 위해 본 연구에서는 주단조 XM-19SASS를 대상으로 열처리 압력 조건 변화(0.1, 20, 100, 200 MPa)에 따른 미세조직과 기계적 특성의 상관관계를 비교하였다. HIP(Hot Isostatic Pressure) 열처리 시편을 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), 전자후방산란회절(EBSD)을 이용하여 결정립 크기와 석출물 분포 등 조직 변화를 정량적으로 분석하고, 상온 인장시험과 Relaxation Tension Test를 통해 기계적 특성 평가를 수행하였다. 그 결과, 열처리 압력이 증가함에 따라 미세조직의 치밀화가 뚜렷하게 진행되고 내부 결함이 감소하였으며, 일부 조건에서 인장 특성이 최적화되었다. 또한 응력 완화 속도 역시 압력 조건에 따라 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 XM-19 SASS의 고온 및 복합 환경에서의 신뢰성 향상을 위해 열처리 압력 조건을 최적화할 수 있는 실험적 근거를 제공하며, SMR을 비롯한 고부식·고방사선 환경용 핵심 부품 설계에 활용 가능함을 시사한다.

[P21-9]

DIC 기법을 이용한 인장시험 제어 조건별 항복 시 불균일 변형 거동 분석: 정혜은, 박지원, 강신곤*(동아대학교)

Keywords: Digital image Correlation, discontinuous yielding, strain rate control, displacement control, TWIP steel

다결정 금속 재료의 인장시험에서는 불연속 항복 (discontinuous yielding), serration, necking 등 다양한 형태의 불균일 소성변형이 발생한다. 이 중 불연속 항복은 초기 소성 변형 단계에서 나타나는 대표적인 불균일 소성 변형 거동으로, 재료가 탄성 변형을 마치고 소성 변형이 시작되는 시점에서 발생한다. 이는 응력-변형률 곡선에서 상·하 항복점 및 응력 강하를 동반하며, Lüders band라 불리는 deformation band의 생성과 전파를 유발한다. 이 과정에서 국부적인 변형 집중을 수반하며, 이러한 국부 변형 거동의 정량적·시각적 분석을 위해 디지털 영상 상관법 (Digital Image Correlation, DIC)과 같은 비접촉식 변형 측정 기법이 활용되고 있다. 기존 연구들은 대부분 단일 시험 조건에서만 항복점 현상을 분석하여, 변형 밴드 전파 거동과 제어 조건 간의 관계를 종합적으로 이해하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 인장시험 제어 조건과 항복점 현상의 상관관계를 파악하기 위해 TWIP steel을 사용하여 변위 제어 (Displacement Control, DC) 및 변형률 속도 제어 (Strain Rate Control, SRC) 두 조건 하에서 일축 인장시험을 실시하여 항복점 현상 거동을 분석하였다. DIC 기법을 적용하여 시편 전체 영역의 deformation band 전파 거동을 실시간으로 분석하였으며, 이를 통해 인장시험 제어 조건에 따른 항복점 현상의 특성을 비교·평가하였다.

[P21-10]

DIC 기반 고망간강의 15 K 극저온 인장시험을 통한 변형률 속도별 serration 거동 및 미세조직 분석: 이선(한국생산기술연구원, 부산대학교), 하정홍*(한국생산기술연구원)

Keywords: 극저온 물성, 국부 변형, DIC 분석, 고망간강

극저온 환경에서 사용되는 구조재는 강도와 인성을 동시에 확보해야 한다. 고망간강은 면심입방격자(FCC) 구조를 기반으로 상변태 및 쌍정 변형 메커니즘이 활성화되어, 20 K 이하의 조건에서도 높은 강인성을 유지할 수 있다. 본 연구에서는 15 K 극저온 환경에서 다양한 변형률 속도 조건으로 고망간강의 인장시험을 수행하고, 디지털 이미지 상관 기법(DIC)을 적용하여 세레이션(serration) 거동을 실시간으로 추적하였다. 이를 통해 각 변형률 속도 조건에서 serration이 발생하는 초기 위치, 변형 집중 영역의 확산 양상, 그리고 응력-변형률 곡선의 불연속 패턴을 시각적으로 비교하였다. 또한, 인장시험 후 시편의 파단면과 변형 영역을 SEM, EBSD 관찰하여 인장 거동과 미세조직 간의 상관관계를 분석하였다.

[P21-11]

고압수소용 라인파이프강의 인장 및 충격 특성, 수소취성에 미치는 Nb 및 V 첨가의 영향: 정민섭, 오재석, 오동규(서울과학기술대학교), 이정훈, 이창희(포항산업과학연구원 분석평가센터), 황병철*(서울과학기술대학교)

Keywords: Linepipe steel, Hydrogen embrittlement, Slow strain-rate test, MC carbide

최근 수소사회로 발전하면서 수소 사용량이 증가함에 따라 수소의 저장과 운송 인프라 구축에 대한 중요성이 커지고 있다. 대표적인 수소 운송 인프라 요소로는 고압수소 압력용기, 고압수소 운송용 라인파이프강 등이 있으며, 그 중 라인파이프강은 현재 천연가스 운송망으로 활용되고 있는데, 이를 수소 운송용으로 전환한다면 추가적인 설비나 비용을 최소화하면서 빠르게 수소 운송 인프라를 구축할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 라인파이프강과 같은 금속재료는 수소환경에 노출될 경우 수소가 금속 내부로 확산되어 기지 내 결함과 상호작용함으로써 재료의 강도와 연성을 저하시키는 수소취성 현상이 발생할 수 있다. 고압 수소 환경에서의 구조용 강재 안정성을 확보하기 위해서는 수소취성 저감 기술이 필수적이며, 주요 전략으로는 마이크로합금화와 제어 압연을 통한 결정립 미세화, 비가역적 수소 트랩 사이트의 도입 등이 있다. 그 중에서도 나노 크기의 MC 탄화물 석출은 내수소취성 향상을 위한 핵심적인 기술로 주목받고 있다. MC 탄화물은 비가역적 수소 트랩 사이트 형성에 기여하는 주요 석출물로 알려져 있으며, 크기와 분포, 정합성 등 다양한 미세조직적 인자가 수소의 트랩 및 확산 거동에 복합적인 영향을 미친다. 그러나 미량합금원소 함량 변화에 따른 MC 탄화물 특성과 수소취성의 변화를 체계적으로 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 Nb 및 V 함량 비율을 달리한 고강도 API 라인파이프강 3종을 제조하였으며, 각 강재에 대해 전기화학적 수소 환경 하에서 수소주입과 동시에 저속변형률시

험을 수행하였다. 노치인장강도비(RNTS, relative notch tensile strength)를 통해 수소취성 저항성을 평가하였으며, 이후 MC 탄화물의 미세구조적 특성과 수소 트랩 거동 간의 상관관계를 고찰하였다.

[P21-12] Canceled

양방향 인발 적용 Fe-Mn 비조질강의 기계적 특성 거동에 관한 연구: 임재한*(현대제철연구소, 인하대학교 신소재공학과), 이규호, 노현배(현대제철연구소), 이종혁, 장병록*(인하대학교)

Keywords: 비조질강, 가공경화, 미세조직, 연성, 양방향 인발

전 세계적인 환경 규제 강화로 CO_2 저감 및 에너지 절감을 위한 비조질강 개발이 활발히 이루어지고 있다. 비조질강은 열처리 없이도 우수한 기계적 특성을 확보할 수 있어 자동차 조향부품 등 다양한 부품에 적용 가능하며, 열처리 생략으로 에너지 소비를 최소화할 수 있다. 일반적으로 비조질강은 신선 공정에서의 높은 단면 감면률을 통해 가공경화를 유도하여 기계적 특성을 확보하지만, 고강도화에 따라 연성과 인성이 저하되는 문제가 나타난다. 본 연구에서는 이러한 한계를 개선하기 위해 양방향 인발 공정을 적용하였다. 양방향 인발은 1차 인발 후 반대 방향으로 전환하여 추가 인발을 수행하는 방식이다. 기계적 특성 평가 및 3점 굽힘 시험 결과, 양방향 인발된 시편은 일방향 70% 인발재와 유사한 인장강도를 유지하면서도, 연신율은 약12% 향상되었고 굽힘응력은 3% 저감되었다. 이는 양방향인발이 비조질강의 연성을 부여하며, 성형성과 품질향상에 기여할 수 있음을 보여준다.

P22 : 가공-소성가공
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P22-1]
나노인덴테이션을 이용한 Ni-WC 분말의 미세조직과 내마모 특성 연구: 이은세(국립순천대학교), 김학윤((주)미르테크), 최시훈*(국립순천대학교)
Keywords: WC/Ni-based, Laser Cladding, Hardness, Microstructure, Nanoindentation

최근 레이저 클래딩 공정은 Directed Energy Deposition(DED,) Plasma Transferred Arc Welding(PTAW)등 국부적인 열원 제어 및 모재의 손상을 최소화하면서도 고경도, 고내마모성의 표면층을 형성할 수 있어 고부가가치 산업용 부품의 표면 개질에서 주요 기술로 주목받고 있다. 이때 사용되는 Ni-WC 분말은 대표적인 고내마모성 표면 코팅 재료로 분말 입자 자체의 경도, 탄성계수 등 기계적 물성이 형성되는 코팅층 내의 기계적 특성을 결정짓는 핵심 인자이다. 특히 WC와 같은 경질상이 얼마나 균일하게 분포하고, 각 입자가 기계적 특성을 유지하고 있는지가 최종 코팅층의 내마모성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 불균일한 분포나 물성 저하를 보이는 WC 입자는 국부적인 응력 집중이나 기지와의 계면 결함을 유발하여 마모 저항성을 저하시킬 수 있다. 이러한 특성은 분말의 입자 형상, 입도 분포, 표면 산화 유무, 내부 균열 등 초기 상태와 연관되며 응집 상태를 결정짓는 중요한 변수로 작용한다. 이에 따라 본 연구에서는 나노인덴테이션(nanoindentation)을 활용하여 Ni-WC 분말의 국소적인 기계적 물성의 측정을 통해 분말 내 Ni 기지상과 WC 경질상의 경도 및 탄성계수를 분석하고자 하였다. 미세조직 내 기계적 특성 분포 분석을 통해 표면의 미세조직 특성이 내마모성 향상과 어떻게 연결되는지 고찰하고자 하였다.

[P22-2]
Mg 합금의 기계적 성질 향상을 위한 보강재 첨가 마찰교반가공 연구: 고경민(국립순천대학교), 양경선(매시브랩(주)), 최시훈*(국립순천대학교)
Keywords: Magnesium alloy, FSP, Particle reinforcement, Microstructure, Mechanical properties

마그네슘 합금은 낮은 밀도와 우수한 비강도 특성으로 인해 항공, 자동차, 방산 등 경량 구조재 산업에서 주목받고 있다. 그러나 기존 마그네슘 합금은 기계적 성질에서 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 SiC 보강재를 첨가한 FSP를 적용하였다. 시편은 직사각형 판재 형태로 준비하였으며, 보강재는 SiC 분말을 사용하였다. 보강재는 홈 충진 방식을 통해 합금 표면에 도포하였으며, FSP는 회전 속도, 이송 속도, 침투 깊이를 변수로 설정하여 수행하였다. 가공된 시편의 미세조직은 OM, SEM, EBSD로 분석하였고, 기계적 성질은 경도 시험과 인장시험을 통해 평가하였다. 또한 공정 중 보강재의 분산 거동과 계면 결합 특성을 조사하였으며, 이를 기반으로 마그네슘 합금의 표면경화와 기계적 성능 향상 메커니즘을 고찰하였다. 본 연구 결과는 마그네슘 합금의 기계적 성질 개선을 위한 FSP 기반 표면개질 공정의 활용 가능성을 제시한다.

[P22-3]
와이어 인발 공정 조건 최적화를 위한 유한요소해석 기반 표면 거칠기 예측: 홍현빈, Raj Narayan Hajra(국립한밭대학교), 유종환, 오민규(세아특수강), 손동민(세아창원특수강), 오용준, 김정한, 조훈휘*(국립한밭대학교)
Keywords: Finite element analysis, surface roughness, wire drawing, drawing condition

합금강 선재의 제조 공정에서 인발 중 발생하는 표면 특성을 정량적으로 분석하고, 공정 변수에 따른 표면 품질 변화를 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 DEFORM 유한요소해석 소프트웨어를 활용하여 와이어 인발 공정을 해석하고, 소재별 공정 조건에 따른 표면 거칠기를 예측하는 모델을 구축한다. 마찰 계수, 인발 속도, 다이 각도 등 주요 공정 변수는 실험계획법(Design of Experiments, DOE)을 적용하여 체계적으로 분석한다. 인발 공정에서 발생하는 표면 특성을 정량적으로 예측하기 위해 유효변형률과 표면 거칠기 간의 상관관계를 고찰하고, 기존 문헌의 경험식을 기반으로 한 새로운 표면 거칠기 예측식을 수립한다. 유한요소해석을 통해 표면부 유효변형률 값을 도출하고, 이를 활용하여 소재별 다양한 공정 조건 하에서의 표면 거칠기를 정량적으로 계산한다. 해석 결과, 마찰 계수와 다이 각도가 증가할수록 표면 거칠기가 증가하고, 인발 속도가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 본 연구는 이종소재 부품 체결용 합금강 선재의 제조 공정 개발을 위한 정량적 평가 및 공정 최적화에 기초 자료로 활용될 수 있다.

[P22-4]
Microstructure-Enabled Enhancement of Room-Temperature Formability in Mg–Li Foils: Hee-Tae Jeong, Jun Oh Jung, Woo Jin Kim*(Hongik Univ.)
Keywords: Magnesium-lithium alloys, Foils, Rolling, Grain size, Grain boundary sliding

Ultrathin metallic foils often exhibit limited room-temperature ductility because a low thickness-to-grain-size ratio (t/d) promotes early necking and severely restricts uniform elongation. In this study, we fabricate ultrafine-grained (UFG) Mg–10Li foils 100 μm thick by high-ratio differential speed rolling (HRDSR) at room temperature, followed by annealing at 423 K for 1 h to achieve an average grain size of ~1.1 μm with ~74% high-angle grain boundaries. The resulting UFG microstructure and high t/d yields markedly improved room-temperature ductility (~30–40%) in sharp contrast to the premature failure of coarse-grained counterparts. Micro-pattern formability tests reveal homogeneous deformation and high surface fidelity in ultrafine-grained foils, contrasting with severe strain

localization in coarse-grained states. Strain-rate jump tests show elevated strain-rate sensitivity (m ≈ 0.25) and low activation volumes (15–30b^3) in ultrafine-grained foils, indicating grain boundary sliding (GBS) operating alongside dislocation climb creep (DCC). A unified constitutive model captures the transition from DCC dominance at practical strain rates to GBS-assisted flow at lower rates. These results establish grain refinement as a viable route to overcome plane-stress and low t/d constraints, enabling Mg–Li foils for flexible electronics, bioresorbable implants, and lightweight energy systems.

[P22-5]

FMM 적용을 위한 Invar 소재의 압연 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성: 이영민, 김동배*, 유가영, 남지윤, 신현정((재)대구기계부품연구원)

Keywords: Invar, FMM, 압하율, 청정도, 잔류응력

고해상도 OLED 패널 제조용 Fine Metal Mask(FMM)는 고강도와 저열팽창 특성을 동시에 만족하는 박판 소재가 요구된다. 최근 연구에서는 FMM 성능 향상을 위해 초박판 Invar 소재 개발과 압연·어닐링 공정 최적화가 활발히 이루어지고 있으나, 박판 제조 과정에서 압연 조건과 열처리에 따른 미세조직, 기계적 특성, 잔류응력 제어가 어려워 소재 성능 편차가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 상용 Invar 합금과 고청정 Invar 소재를 대상으로, 압연 조건(압하율)에 따른 미세조직과 기계적 특성, 잔류응력 거동을 분석하였다. 압연 전후 시편의 미세조직 관찰과 EBSD 분석을 통해 결정립 방향성과 집합 조직 변화, 개재물 특성을 확인하였으며, 인장강도와 경도 변화를 분석하여 압연 조건이 기계적 특성에 미치는 영향을 비교하였다. 또한 XRD 및 계장화 압입시험을 통해 압하율에 따른 압축·인장 잔류응력 분포를 평가하고, 미세조직 및 기계적 특성과의 관련성을 조사하였다

[P22-6]

연구로용 판형핵연료 집합체의 스웨이징 가공 변형에 대한 연구: 문제혁, 김성환, 송화영, 정용진*(한국원자력연구원)

Keywords: 핵연료, 연구로, 스웨이징, 소성변형

한국원자력연구원은 연구용 원자로에 장전되는 5.3 gU/cc의 고밀도 저농축 핵연료를 제조하여 해외 연구로에 수출하기 위한 가공 기술 연구를 수행하고 있다. 1단계 연구에서는 핵연료판의 곡률이 없는 평판형 핵연료 집합체를 제조하였고, 2단계 연구에서는 핵연료판의 R값이 70 mm인 곡면형 핵연료 집합체를 제조하였으며, 본 연구에서 수행한 세 번째 단계에서는 R값이 최소 15.98 mm인 튜브형 판형핵연료 집합체 제조에 대해 서술하였다. 튜브형 판형핵연료 집합체는 곡률이 다른 핵연료판 6종을 각 3장씩 조립하여 제작되며 6개의 링 형태를 이룬다. 총 18장의 핵연료판은 프레임 역할을 담당하는 3개의 Spacer 슬롯에 삽입된 후 가공 툴에 의해 압착되어 단단히 고정되는데 이 공정을 스웨이징이라 한다. 핵연료판이 Spacer에 조립된 이후 양단에 플러그를 끼우고 리벳 가공으로 고정하면 집합체의 최종 형태가 완성된다. 고정된 핵연료판은 최소 27 N/mm의 인장강도를 만족해야 하고 핵연료판 사이의 간격은 3.0±0.3 mm의 공차를 가진다. 이에 따라 본 연구에서는 결합 강도의 변화를 확인하기 위해 가공 툴의 압입 깊이에 따른 인장시험을 수행하였고, 스웨이징 가공중 핵연료판의 평탄도를 측정하여 가공 건전성을 확인하였다.

[P22-7] Canceled

압하 조건에 따른 Invar 합금의 기계적 특성 및 잔류응력에 미치는 영향: 신현정, 김동배*, 이영민((재)대구기계부품연구원), 김대현((주)세아창원특수강), 이영진(현대비앤지스틸(주))

Keywords: Invar 합금, 재료특성, 압연조건, 압하율, 잔류응력

본 연구에서는 상용 Invar 합금의 압연 공정에 따른 미세조직, 기계적 특성, 및 잔류응력 거동을 종합적으로 분석하였다. 두께가 25 μm, 30 μm, 350 μm인 3종의 상용 Invar 합금 샘플을 확보하여 미세조직, 비금속 개재물, 기계적 특성 평가하고 잔류응력 분석을 수행하였다.

[P22-8]

하나로핵연료 피복압출 공정의 생산성 향상을 위한 요인 및 개선방안 연구: 소원재*, 황재준, 김종환, 김기남, 정용진(한국원자력연구원)

Keywords: 동심압출, 알루미늄, 핵연료봉

한국원자력연구원에서는 다목적 연구용 원자로인 하나로의 구동핵연료를 제조하고 있다. 하나로핵연료집합체를 이루는 핵연료봉은 핵연료심의 외부에 알루미늄 피복을 씌운 형태로써 핵연료물질인 핵연료심의 양 끝단에 봉단마개를 삽입하고 그 전체를 열전도성이 우수한 순수알루미늄으로 감싸 원자로 내의 핵연료에서 발생하는 열을 효과적으로 배출시킨다. 또한 알루미늄 피복은 그 둘레에 8개의 핀(fin)이 있어 냉각효율을 향상시키는 형상으로 제작된다. 본 피복압출 공정은 동심압출기에 피복용 알루미늄 환봉과 핵연료심을 작업자가 투입하는 방법으로 수행된다. 이 때 작업 방법과 장비의 상태에 따라 결과물에 차이가 발생할 수 있으며 불량 발생에도 영향을 미친다. 최근의 피복압출 현황을 분석하여 작업 결과에 영향을 미치는 요인을 분석하고 이를 개선할 수 있는 방안에 대하여 고찰하여 피복압출 공정의 생산성 향상에 기여하고자 한다.

P23 : 항공재료
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P23-1]
저궤도 인공위성용 원자산소 내성 소재 개발을 위한 우주환경모사 실험 기반 구축: 조연하, 김세호*(고려대학교)
Keywords: 인공위성, 원자산소, 금속, 광학적 특성
차세대 인공위성 시장은 주로 통신위성의 역할을 하는 저궤도 인공위성이 많은 비중을 차지할 것으로 예상된다. 저궤도 인공위성의 임무 수행 경제성을 떨어뜨리는 주요 요인 중 하나는 원자산소(Atomic Oxygen)이다. 원자산소는 180~650 km 고도에서 가장 풍부한 대기 성분이며 약 5eV의 에너지를 갖고 인공위성과 충돌하는데, 이로 인해 열 제어 소재로 이용되는 알루미늄(Al), 은(Ag) 등의 금속소재의 부식/침식이 발생한다. 이러한 현상은 반사율, 흡수율 등 소재의 광학적 특성을 변화시키고 인공위성의 장기간 운용에 제한요소가 된다. 본 연구는 원자산소와 소재 간 상호작용을 미시적 관점에서 분석하여, 소재의 열화 메커니즘을 규명하고 원자산소 저항성 합금과 보호막 소재를 개발하는 데 그 목적이 있다. 원자산소의 영향을 효과적으로 규명하기 위해, 저궤도 우주환경 모사장비를 설치하여 연구 기반을 구축하였다. 해당 장비는 산소 이온을 발생시킨 후 전자 빔을 조사하여 원자 산소를 만들어낸다. 추가로 온도범위 조절과 자외선 공급으로 실제 저궤도 우주환경과 유사한 실험 환경을 구현할 수 있다. 이러한 조건에서 원자 산소와 재료의 상호작용을 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM), 에너지 분산 X선 분광법(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS), 전자 후방 산란 회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD), 원자 단층 현미경(Atom Probe Tomography, APT)을 활용하여 분석하고자 한다.

[P23-2]
항공기 가스터빈 엔진 고압 압축기 블레이드용 질화 처리된 TiAl 합금의 마모 및 침식 저항성: 정영훈, 김홍민(국립순천대학교), 유주현(한화에어로스페이스), 이동근*(국립순천대학교)
Keywords: TiAl alloy, high-pressure turbine, erosion resistance, gas nitriding
Ti-Al 금속간 화합물을 기반으로 한 TiAl 합금은 Ni-based superalloys 수준의 고온 특성을 보유하면서도 밀도가 낮아 항공기 부품 소재로 적용되고 있다. 그러나 항공기 가스터빈 엔진의 블레이드는 고속 기류와 고체 입자에 의한 침식 손상(erosion damage)에 취약하다. 이러한 침식 손상은 방지가 어려우며, 블레이드의 성능과 수명을 크게 저하시킨다. 따라서, 본 연구에서는 TiAl 합금의 표면에 강화층을 형성하기 위해 가스 질화 처리를 적용하였으며, 표면에 질소 확산에 따른 질화물 형성 메커니즘과 질화물 층이 마모 및 침식 저항성에 미치는 영향을 규명하였다. 질화 처리 조건에 따라 표면에 다양한 질화물 층이 형성되었으며, 마모 및 침식 저항성이 크게 향상되었다. 800ºC의 조건에서는 TiN 층이 단독으로 형성되었으며, 온도가 증가할수록 Ti2AlN 층이 추가적으로 형성되었다. 질화 처리 온도가 증가할수록 더 많은 질소가 기지 내부로 깊게 침투하여 1000ºC, 1h 조건에서 가장 낮은 마모율과 마모부피가 나타났다.

[P23-3]
Material characterization for ductile fracture considering anisotropy, strain-rate, and strain path with extruded aluminum alloy: 심현보(한국재료연구원), 정찬욱(동양AK), 오석근(KAI), 박현일, 석무영, 이동준, 권용남, 최현성*(한국재료연구원)
Keywords: Aluminum alloy, material characterization
Aluminum 2xxx series alloys exhibit excellent strength and fatigue resistance, combined with high thermal stability and outstanding machinability, making them widely used in the production of aircraft components. Extruded aluminum products, in particular, allow efficient manufacturing of complex geometries through subsequent machining, while maintaining superior dimensional accuracy. As a result, they play a critical role in the aerospace industry. Aircraft structural components such as wing ribs, stringers, and frames are typically produced through extrusion and then finished to their final geometry by precision machining. However, machining-induced deformation and residual stresses can significantly affect both the dimensional accuracy and fatigue performance of these components. Therefore, establishing optimized machining conditions that minimize deformation is essential, and this requires accurate prediction of machining-induced distortion and residual stresses. Direct experimental determination of such optimal conditions is often costly and time-consuming, and given that machining involves extremely short-time, high-strain-rate deformation so that finite element analysis (FEA) is widely applied as an alternative approach. To achieve reliable FEA predictions of machining-induced deformation and residual stresses, high-fidelity material modeling is crucial. This necessitates quantitative characterization of material fracture properties under conditions representative of machining, including high temperature, high strain rate, material anisotropy, and complex loading paths. Accordingly, the development of constitutive models incorporating these fracture properties is required for accurate numerical simulation. In this context, the present study aims to experimentally evaluate the fracture properties of 2xxx series aluminum extrusions while accounting for anisotropy and loading path conditions, in order to provide validated material data for constitutive model development and FEA application.

[P23-4]

베타 열처리된 Ti-6Al-4V 합금의 피로균열전파 거동에서 관찰되는 천이 현상: 이서영, 김영빈, 배정빈, 김상식*(경상국립대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V 합금, 베타 열처리, 피로균열전파, 천이 현상

Ti-6Al-4V(Ti64) 합금은 제2영역에서 로그함수적으로 선형적인 관계를 보이는 응력확대계수범위(ΔK)와 피로균열전파속도(da/dN) 간의 기울기가 변하는 천이(transition) 현상을 나타내며, 이는 특정 ΔK 구간에서 균열 전파 기구의 변화를 의미한다. 본 연구에서는 피로균열전파 저항성을 향상시킨 베타 열처리된 Ti64 합금의 특정 영역에서의 da/dN vs ΔK 기울기 변화 원인을 고찰하였다. 균열 경로와 정량적 파면분석을 통해 균열 분기(crack bifurcation) 현상과 침상 알파상을 자르고 가는 경향이 ΔK에 따라 민감하게 변하는 것이 확인되었다. ΔK에 민감한 이러한 균열 전파 기구의 변화는 유효 ΔK에 영향을 주게 되고, da/dN vs ΔK 기울기가 변화하게 되는 것으로 판단된다.

[P23-5]

Low Rhenium 초내열합금의 결정방위에 따른 크리프 거동: 장익제(국립창원대학교), 구지호(한화에어로스페이스(주)), 정중은, 김인수(한국재료연구원), 이재현*(국립창원대학교)

Keywords: **Superalloy, Creep anisotropy, Single Crystal**

니켈기 초내열합금은 가스터빈 블레이드 등 고온 부품에 널리 쓰이며, 그중 Re(레늄)는 합금 세대 구분을 좌우할 만큼 핵심 원소다. 다만 높은 비용과 공급 불확실성 때문에 Re를 줄이면서 성능을 유지하려는 시도가 이어져 왔고, 약 3.0 wt% Re의 2세대 합금 CMSX-4를 바탕으로 Re를 절반 수준 1.5wt%으로 낮춘 CMSX-8이 개발되었다. 터빈 블레이드는 고온·고응력 상태에서 장시간 운용되므로 크리프가 핵심 평가 항목이 결정 방위에 따라 수명이 크게 달라진다. 본 연구에서는 1.5 wt% Re를 포함한 CMSX-8 단결정 합금의 <001> 및 <111> 방위 크리프 거동을 비교했다. 750 ℃에서는 <001> 방위가 1–3차 크리프 단계를 거치며 수명이 길었고, <111> 방위는 1–2차 단계가 매우 짧게 지나 곧바로 3차로 진행되어 수명이 짧았다. 반면 950 ℃에서는 두 방위 모두 3차 크리프가 지배적이었으나, 수명은 <111> 방위가 <001> 방위보다 더 길었다.

[P23-6]

KF-21적용을 위한 Hybrid Type 항공기 유압 피팅 개발 연구: 김병재*, 이동건, 김순재(디케이락(주))

Keywords: 항공기 유압시스템, 유압 피팅, 외부 스웨이징, 빔씰

항공기 유압시스템용 피팅은 유압기기를 튜빙으로 연결하고 유체의 흐름을 제어하는 핵심 부품으로, 고압 및 극한 환경에서도 안정적으로 작동해야 하며 항공기의 신뢰성과 안전에 직접적으로 영향을 미친다. 그러나 현재 국내 시장은 대부분 수입 제품에 의존하고 있어 기술 자립이 시급하다. 본 연구에서는 국내 최초로 항공기 유압시스템용 Flared type fitting을 개발한 디케이락을 중심으로, KF-21전투기에 적용 가능한 Hybrid Type Fitting 개발을 목표로 하였다. Hybrid Type Fitting은 External Swaging과 Beam Seal 기술을 융합한 고난이도 부품으로, 해외 규격서 및 선진사 제품에 대한 분석을 기반으로 항공 기술표준품 설계를 수행하였다. 이를 통해 국내 항공 유압 피팅 기술의 국산화와 자립 기반 확보에 기여하고자 한다. 사사의 글: 본 연구는 산업통상자원부에서 시행한 지역혁신클러스터육성사업(과제번호 P0025288)에서 지원받은 연구수행의 결과입니다.

[P23-7]

항공기 유압용 External Swaging Fitting의 실리콘 도포 및 압착 해석 연구: 이동건*, 김병재, 김순재(디케이락(주))

Keywords: 항공기 유압시스템, 유압 피팅, 스웨이징 공정, 실리콘 도포

항공기의 유압기기는 유압펌프를 통해 기계적 에너지를 유체의 압력에너지로 변환한 후, 압력·유량·방향을 제어하여 유압 실린더나 유압 모터를 구동함으로써 다시 기계적 에너지로 변환하는 역할을 한다. 유압시스템에서 각 유압기기를 연결하기 위해서는 유압용 피팅이 적용되며, 그 체결 기술 중 하나인 스웨이징(Swaging) 공정은 짧은 체결 시간과 적은 재료 손실이라는 장점을 가진다. 금속 재료를 압착하여 씰링하는 스웨이징 공정은 두께, 지름, 길이 등을 감소·증가시키는 성형 방법으로, SAE AS External Swaging Fitting은 이러한 공정을 적용한 항공기 유압용 피팅이다. 해당 분야는 해외 선진업체의 독점성이 높고 NADCAP 인증 및 QPL 등록이 요구되어 해외시장 진출 장벽이 높다. 본 연구에서는 항공기 유압용 피팅 부품을 대상으로 실리콘 도포 해석과 스웨이징 해석을 수행하였다. 실리콘 도포 해석에서는 주입 조건에 따른 도포 형상과 충진량 변화에 따른 씰링 효과를 검토하였으며, 이를 기반으로 스웨이징 시 압착에 따른 실리콘 확산 형상을 분석하였다. 해석 결과를 토대로 피팅 부품별 최적의 실리콘 도포 조건을 도출하여 항공기 유압 피팅의 성능 향상에 기여하였다. 사사의 글: 본 연구는 산업통상자원부에서 시행한 지역혁신클러스터육성사업(과제번호 P0025288)에서 지원받은 연구수행의 결과입니다.

[P23-8]

항공용 PH13-8Mo 합금의 파괴인성(K_1c)에 영향을 미치는 미세조직 특성 분석: 박상규, 나라야나*, 나혜성*, 최재영*((주)에이치브이엠)

Keywords: PH13-8Mo steel, Fracture Toughness, Retained Austenite, Martensite

항공기 부품은 고도 비행 중의 압력 변화, 이착륙 시 충격 하중, 그리고 장시간 운용 과정에서 누적되는 반복 피로 하중 등 다양한 기계적·환경적 응력 조건에 지속적으로 노출된다. 이러한 극한 조건에서는 미세한 결함이나 균열이 발생하기 쉽고, 일단 균열이 형성되면 응력 집중에 의해 급격하게 전파되어 치명적인 파괴로 이어질 수 있다. 따라서 균열이 존재하는 상태에서도 재료가 이를 저지하거나 전파 속도를 지연시켜 구조적 파손을 억제할 수 있는 능력인 파괴인성(K_1c)은 항공 부품의 장기적인 안정성 및 운용 신뢰성을 확보하는 데 필수적인 기계적 특성이다. 본 연구는 PH13-8Mo 석출경화형 스테인리스강에서 파괴인성(K_1c) 변화에 대한 미

세조직적 영향을 확인하기 위하여, 157 MPa√m(높은 K_Ic)과 59 MPa√m(낮은 K_Ic)의 두 시편을 비교 분석하였다. 또한 파괴인성과 더불어 인장 특성과의 상관관계를 고찰하여 기계적 거동을 종합적으로 이해하고자 하였다. 이를 위해 주사전자현미경(SEM)과 전자후방산란회절(EBSD)을 활용하여 particle size, martensite packet 및 lath 크기, carbide 분포, retained austenite 함량 등의 미세조직 특성을 평가하였다. 분석 결과, 높은 K_Ic 시편은 더 미세한 martensite lath, 작은 packet 크기, 높은 retained austenite 함량을 나타내었으며, 이는 향상된 crack-tip blunting과 에너지 흡수에 기여하였다. 반면 낮은 K_Ic 시편은 조대한 lath와 carbide, 낮은 retained austenite 함량을 보여 낮은 파괴 저항성과 상관성을 나타냈다. 인장 시험 결과 또한 이를 뒷받침하였으며, 높은 K_Ic 시편은 강도의 큰 손실 없이 높은 연성과 인성을 확보하였다. 이러한 결과는 고신뢰성이 요구되는 응용 분야에서 성능 향상을 위한 효과적인 공정 설계 전략 수립에 중요한 방향을 제공한다.

P24 : 가공-주조 및 응고
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P24-1]
고용강화 페라이트계 구상흑연주철의 기계적 특성 및 냉각속도에 미치는 붕소(B) 및 타이타늄(Ti)의 영향 : 홍지우, 하진수, 최창영, 장진석, 송혜진, 정유현, 조용재*(한국생산기술연구원)
Keywords: 고용강화 페라이트계 구상흑연주철, 붕소, 타이타늄, 냉각속도, 미세조직

고용강화 페라이트계 구상흑연주철(Solution Strengthened Ferritic Ductile Iron, SSFDI)은 고규소 합금 설계를 기반으로 단일 페라이트 기지를 확보함으로써, 기존 구상흑연주철 대비 높은 강도와 우수한 연성을 동시에 나타내는 차세대 주철 소재로 주목받고 있다. 이러한 특성으로 인해 SSFDI는 경량화와 고성능화가 동시에 요구되는 자동차, 기계 부품 분야에서 강재를 대체할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 그러나 Si 함량이 일정 수준 이상 증가하면 응고 과정에서 청키흑연(Chunky Graphite)의 형성이 촉진되어 구상화율이 저하되고, 결과적으로 기계적 성질의 급격한 감소를 초래하는 한계가 존재한다. 따라서 기계적 특성을 안정적으로 확보하기 위해서는 합금 설계와 주조 공정 조건을 최적화할 수 있는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위한 방안으로 미량 첨가 원소인 붕소(B)와 티타늄(Ti)에 주목하였다. 붕소는 오스테나이트 내 탄소 확산을 촉진하여 흑연 형성을 가속화하고, 페라이트 분율을 증가시키며, 탄화물 석출을 억제하여 기지조직의 안정성을 높이는 원소로 알려져 있다. 또한 티타늄은 응고 과정에서 TiN, TiC 등의 안정한 화합물을 형성하여 흑연의 핵생성 사이트로 작용하고, 구상화율과 흑연의 미세화를 유도함으로써 조직 안정화와 기계적 특성 향상에 기여한다. 이처럼 두 원소는 SSFDI의 미세조직 제어와 물성 개선에 효과적인 인자로 고려된다. 이에 따라 본 연구에서는 붕소(B)와 타이타늄(Ti)을 첨가원소로 선택하고, 냉각속도의 영향을 분석하기 위해 0.5인치, 1인치, 2인치 Y-block을 주조하여 인장시편을 제작하였다. 또한 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 활용하여 흑연의 형상, 크기, 분포와 기지조직 변화에 미치는 영향을 관찰하였다.

[P24-2]
Optimization of Hypereutectic Al-Si Alloy Composition and Counter Pressure Casting Process for Automotive Brake Disc Application: Yoon Pil-Hwan*(한국생산기술연구원)
Keywords: automotive brake disc, hypereutectic Al-Si alloy (A390), counter pressure casting (CPC), thermodynamic calculation, light weight, mechanical property, thermal conductivity

This study aims to develop a lightweight, high-performance aluminum brake disc by optimizing the composition of hypereutectic Al-Si alloy (A390) and applying a counter pressure casting (CPC) process. Thermodynamic calculations and Scheil solidification simulations were performed to predict phase formation behavior depending on Cu content (1–4 wt.%). Casting simulations were conducted using Anycasting software to optimize the mold design and cooling channels, thereby minimizing internal defects such as shrinkage and porosity. Brake disc prototypes were successfully fabricated, and their internal soundness was verified through X-ray CT and gas fusion analysis, achieving an average gas content of 3.8 cc/Al·100g. Mechanical and thermal property evaluations showed that 2 wt.% Cu provided the highest tensile strength (223.5 MPa) and yield strength (155.1 MPa), while 3 wt.% Cu yielded the highest hardness (104.9 HB) and thermal conductivity (159.2 W/m·K), approximately three times higher than that of conventional gray cast iron. The results demonstrate that 2–3 wt.% Cu-added A390 alloy, combined with CPC, is a highly promising approach for manufacturing lightweight and thermally efficient automotive brake discs.

[P24-3]
챔버 감압 차압주조를 통한 중자 반응가스 제어 및 중공 주조 가능성 연구: 강호정, 윤필환*(한국생산기술연구원)
Keywords: 차압주조(Counter Pressure Casting, CPC), 챔버 감압, RCS 중자, 기포 결함, 중공 주조, 기계적 특성

중공 알루미늄 합금 부품은 차량의 경량화와 강성 확보를 동시에 달성할 수 있어 자동차 산업에서 그 수요가 빠르게 증가하고 있다. 그러나 기존 차압주조(Counter Pressure Casting, CPC) 공정에 RCS 중자를 적용할 경우, 중자와 알루미늄 용탕의 반응으로 발생한 가스가 챔버 내부에 잔류하여 기포결함을 유발하는 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 개선하기 위해 챔버 감압(Chamber Decompression) 방식을 적용한 CPC 공정을 도입하고, 기존 공정과의 비교 분석을 수행하였다. 초기 균형압력을 1, 100, 1, 200, 1, 300 mbar로 설정하고 동일한 차압(ΔP)을 적용하여 중공 시편을 제작하였다. 분석 결과, 기존 CPC 시편에서는 중심부 수축결함과 중자 인접부 기포결함이 동시에 관찰된 반면, 챔버 감압 시편에서는 기포결함이 억제되고 중심부 수축결함만 확인되었다. 또한 내부 가스량은 챔버 감압 시편에서 전반적으로 낮게 측정되었으며, 기계적 특성 평가에서는 인장강도와 항복강도가 소폭 향상되고, 연신율이 뚜렷하게 증가하였다. 따라서 챔버 감압 기반 CPC 공정은 중자 반응가스의 외부 배출을 유도하여 기포결함을 효과적으로 억제하고, 중공 알루미늄 부품 제조의 기술적 타당성을 확보할 수 있는 대안 공법임을 확인하였다

[P24-4]
알루미늄 다이캐스팅 공정 자율화를 위한 기초 제조 데이터 구축 및 분석: 이상환*, 김효섭(한국생산기술연구원)
Keywords: 알루미늄 합금, 다이캐스팅, 냉각곡선, 미세조직, 제조 데이터

알루미늄 다이캐스팅 제품의 생산 공정 자율화를 위해 디지털 트윈 기반 공정 시스템, 지능형 품질 검사 시스템, 후처리 공정 자율화 시스템 등 공정 전반에 걸친 핵심 요소 기술을 개발한 뒤, 이들을 연계 융복합화하는 시스템을 개발, 구축하기 위한 연구가 현재 진행되고 있다. 본 연구에서는 해당 제품에 사용되는 아공정 알루미늄 합금의 주조 시, Sr(개량화 처리) 및 Fe(소착 방지) 함량, 주조 압력, 살 두께(냉각 속도) 등 조건에 따른 기초 제조 데이터를 구축하고 분석하였다. 성분 및 압력 조건에 따른 기공, 밀도 등 기초 제조 데이터를 구축, 분석하였다. 성분 및 냉각 속도(살 두께) 조건에 따른 반응 온도, 미세조직 등 기초 제조 데이터를 구축, 분석하였다. 후기 : 본 연구는 기획재정부에서 지원하는 한국생산기술연구원의 Key Tech 사업 중, '멀티 도메인 디지털 트윈과 커넥티드 AI 융합 기반 생산 시스템 지능화 기술' 과제를 통해 진행되었다.

[P24-5]

전처리한 장입재를 활용한 주조 공정 품질 개선: 이상환*(한국생산기술연구원)

Keywords: 주철, 장입재, 회수철, 전처리, 공정 개선

주철 주조 공정 품질 예측 및 관리를 위한 연구 개발이 최근 진행되고 있다. 주철 제품은 고철, 선철, 회수철 등의 재료를 고온으로 용해하여 제조한다. 이 중 회수철은 주재료이면서, 표면, 크기, 형태 및 용해로 내 충전 상태가 공정, 제품 등에 크게 영향을 미친다. 제조 공정을 개선하고, 에너지를 효율화하기 위해서 회수철의 전처리가 매우 중요하다. 본 연구에서 회수철의 전처리는 표면 청정화, 크기 소형화 등을 실시하였다. 전처리한 회수철을 활용하여, 장입 공정, 용해 공정, 슬래그 제거 공정 등의 개선 효과를 평가하였다. 개선 전, 후의 제조 에너지, 공정 시간, 공정 횟수 등을 정량적으로 비교 분석하였다. 후기 : 본 연구는 기획재정부에서 지원하는 한국생산기술연구원의 제조혁신지원사업 중, '인공지능 기반 주조 공정 품질 예측 및 관리 시스템 개발' 과제를 통해 진행되었다.

[P24-6]

세라믹 주형 예열 온도 변화에 따른 TiAl 합금의 중력 정밀 주조 유동성 및 미세조직 특성 분석: 최광수, 공만식*, 정우철, 양현석(고등기술연구원)

Keywords: 정밀주조, TiAl, 주조 유동성, 미세조직

본 연구는 항공용 엔진의 저압 터빈 부품 소재로 적용되는 TiAl 합금을 중력 정밀 주조 공정에 적용하기 위해, 세라믹 주형 예열 온도가 주조 유동성과 미세조직 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 사용 합금은 Ti-48Al-2Cr-2Nb 조성으로, $ZrSiO_4$ 샌드를 이용해 제작한 스파이럴 유동성 평가용 세라믹 주형을 25, 450, 900 ºC으로 각각 예열한 후 아르곤 분위기에서 중력 정밀 주조를 수행하였다. 유동성 시험 결과, 450 °C 예열 조건에서 25 °C 대비 약 66% 향상된 용탕의 유동 거리를 보였으며, 900 °C 예열 조건에서는 25 °C 대비 약 193%까지 증가하였다. 또한, Ø5 브릿지 및 Ø10 스파이럴 시험편의 응고 조직을 비교하여 주형 예열 온도 변화에 따른 온도 구배 및 응고 조직을 고찰하였다. 특히, 900 ºC 예열 조건에서 중력 정밀 주조로 제작된 터빈 블레이드의 위치별 응고 조직을 분석하여, 주형 온도의 응고 및 조직 형성에 미치는 영향을 규명하였다. 본 연구 결과는 원심 주조 또는 고비용 특수주조 공정에 의존하던 TiAl 합금 부품 제조에서, 중력 정밀 주조를 통한 경제성과 제조 안전성 확보를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

P25 : 반도체
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 30일

[P25-1]

펨토초 펄스 레이저 기반 유리 가공 안정성을 위한 조건 최적화 연구: 이재법, 김태식, 김민재(한국생산기술연구원, 한양대학교), 이승환(한양대학교), 박지용*(한국생산기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: 펨토초 펄스 레이저, 유리 가공, 가공 안정성

유리는 열팽창 계수의 조절 가능성, 낮은 유전상수, 높은 기계적 안정성, 비용 효율적인 가공 공정과 같은 특징을 갖기 때문에 반도체 패키징 분야에서 인터포저 기판에 적합한 재료로 주목받고 있다. 유리를 인터포저로 사용하기 위해서는 칩과 패키지 기판 간 전기적 연결을 담당하는 비아의 정밀 가공 기술이 요구되며, 이를 위해 다양한 가공 기술이 연구되고 있다. 그중 펨토초 레이저는 비접촉 방식으로 원하는 패턴을 제작할 수 있으며, 매우 짧은 펄스 폭을 가져 열 확산 이전에 재료와의 상호작용이 끝나기 때문에 열 영향부를 최소화할 수 있다. 이러한 장점 덕분에 펨토초 레이저를 이용한 유리 미세 가공에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다. 지금까지 펨토초 레이저를 활용한 가공 시 가공 효율 및 깊이 향상에 대한 연구는 활발히 진행되었지만 가공 안정성 및 품질에 대한 분석은 아직 충분히 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 펨토초 레이저의 조사 조건에 따라 가공 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 펨토초 레이저 가공에서 펄스 간격이 가공 품질에 영향을 줄 수 있음을 확인하였으며, 이는 레이저와 재료의 상호작용 시간이 미세 가공에 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다. 따라서 본 연구는 유리 기판의 가공 안정성 확보 및 기술 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P25-2]

BEOL-Compatible Integration of Topological Metal MoP for Nanoscale Via Interconnects: Jeong Seoyeon, Mun Gwangsik (한국과학기술원), Han Hyeuk Jin *(성신여자대학교), Jung Yeon Sik *(한국과학기술원)

Keywords: Topological semimetal, MoP, Via filling, ALD, Phosphorization, BEOL interconnect

Continued scaling of integrated circuits increases interconnect resistivity, making via resistance a critical bottleneck for signal delay and power efficiency. Topological semimetals exhibit reduced resistivity at the nanoscale due to unique surface conduction properties, gaining attention as next-generation interconnect materials. However, research on via-filling processes utilizing topological materials remains limited, despite vias playing essential roles in vertical current transport in advanced back-end-of-line (BEOL) interconnects. In this study, we present a via fabrication methodology enabling conformal filling of high-aspect-ratio structures with topological metal molybdenum phosphide (MoP) through a conversion reaction. Nanowell-patterned via templates will be fabricated using thermally assisted nanotransfer printing (T-nTP) and reactive ion etching to achieve vertical sidewalls. Atomic layer deposition (ALD) will be used to fill the via structures with molybdenum oxide, enabling uniform deposition along complex three-dimensional geometries. Subsequent vapor-phase phosphorization converts molybdenum oxide into MoP, a topological semimetal with ultra-low resistivity, high carrier mobility, and electromigration resistance. This liner/barrier-free approach maximizes conductive cross-sectional area and minimizes interface resistance, representing the first demonstration of topological metal integration into via structures. The strategy validates feasibility of topological metal-based via filling and establishes a scalable, BEOL-compatible route toward high-performance interconnect solutions for next-generation semiconductor devices.

[P25-3]

Characterization of Al-Doped HfO_2 Thin Films Using the Discrete Feeding Method: KIM SEOHEE, Park Min Hyuk*(서울대학교)

Keywords: Ferroelectric, Al doped HfO2, HAO

As scaling in 2D structures approaches its physical limits, 3D memory architectures are gaining increasing attention. Al-doped HfO_2 exhibits excellent thermal stability, making it well-suited for applications exposed to high thermal budgets during subsequent processing steps, such as 3D integrated devices. [1, 2] However, conventional atomic layer deposition (ALD) methods often lead to non-uniform dopant distribution, as the optimal Al concentration (~3%) is extremely low. This can result in inhomogeneous phase formation and degraded switching behavior. To address these limitations, we apply a discrete feeding method (DFM) that enables finer control over Al incorporation and spatial distribution. In this study, we compare Al-doped HfO_2 thin films fabricated by conventional ALD and DFM in metal–ferroelectric–insulator–semiconductor (MFIS) capacitors. Despite having similar Hf:Al ratios, DFM-grown films exhibit improved endurance and more uniform switching characteristics. First-order reversal curve (FORC) analysis reveals a narrower distribution of switching fields in DFM samples, suggesting enhanced domain uniformity. Additionally, current–electric field (J–E) measurements reveal merged switching peaks in DFM-grown films, whereas conventionally deposited films at lower doping levels exhibit multiple distinct peaks. This indicates a non-uniform built-in bias in the conventional HAO films, likely originating from an inhomogeneous distribution of oxygen vacancies. Grazing-incidence X-ray diffraction (GIXRD) shows that DFM films contain higher fractions of both orthorhombic and monoclinic phases compared to conventional films. The increased o-phase is likely due to reduced t-to-o phase transition barriers from charged oxygen vacancies, while the m-phase increase may stem from larger grain sizes. Notably, m-

phase is significantly suppressed when the DFM film thickness is scaled down to ~8 nm, highlighting the advantage of precise thickness control not achievable with conventional ALD. The DFM approach enables fine thickness tuning down to 1–2 nm and ensures uniform dopant distribution, offering enhanced endurance and fine process control for 3D scalable ferroelectric applications. References [1] I.J.Kim et al., Small 2024, 20, 2306871 [2] G. Kim et al., 2022 International Electron Devices Meeting (IEDM)

[P25-4] Canceled

Removal of Protective Layer from Micro-Metallic Fibers Fabricated by the Taylor Method: 고건호(서울대학교 미래혁신연구원), 김희성(한국폴리텍대학교), 임영택*(서울대학교 미래혁신연구원)

Keywords: Taylor method, Micro-metallic fiber, Wet etching

In this study, experiments were conducted to remove the protective coating from micro-metallic fibers fabricated by the Taylor method. During the fabrication process, a glass-based coating layer is inevitably formed as a protective shell, necessitating the development of an effective removal technique. The fibers consist of an approximately 10 μm-thick SiO_2-based thin-film protective layer on the surface and an inner metallic core, approximately 9 μm in diameter, composed of SUS 316L or Hastelloy C-22. The SiO_2-based protective layer was removed using a wet etching method, and the effect of the etching solution on the inner metallic core was investigated. Buffered Oxide Etchant (BOE) was employed as the etchant, and the chemical reactivity of the core was observed.

P26 : 나노융합소재
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P26A-1]
그래핀 이용한 고품질 2차원 Mo2C 나노시트 제어 성장: 우윤성*(단국대학교), 문준희*(한국기초과학지원연구원), 최영근, 김보현, 유지민, 장혁(단국대학교)
Keywords: 나노재료

2차원 전이금속 탄화물, 질화물 및 탄질화물(MXene)은 조절 가능한 구조와 다양한 물리적 특성, 넓은 응용 가능성으로 인해 지속적인 관심을 받고 있습니다. 현재는 주로 MAX phase로부터 금속 층을 선택적으로 제거하는 top-down 방식이 널리 사용되고 있으나, CVD(화학기상증착) 기반의 bottom-up 합성법은 고품질 2D 소재의 대면적 성장에 더 적합한 방법으로 주목받고 있습니다. 최근에는 CVD를 이용해 합성한 2D-Mo_2C 나노시트가 초전도 특성 및 수소 발생 반응(HER)에 대한 우수한 촉매 성능을 보이는 것으로 보고되었습니다. 특히 Mo_2C의 결정 성장 특성은 Cu 포일 두께, 가스 유량비, 성장 온도 등에 따라 민감하게 변하며, 이는 Mo와 C 원자의 공급 및 확산이 결정 성장에 중요한 역할을 함을 시사합니다. 이 가운데 그래핀 기반 템플릿을 이용한 Mo_2C 성장 방식이 주목받고 있으며, 그래핀은 메탄(CH_4) 확산을 조절하는 탄소 공급원 및 확산 장벽 역할을 수행하여 얇은 두께의 Mo_2C 나노시트 성장을 유도할 수 있습니다. 그러나, 나노미터 두께의 고품질 Mo_2C 박막을 선택적으로 대면적으로 합성하는 기술은 여전히 도전 과제로 남아 있습니다. 본 연구에서는 그래핀 템플릿을 적용한 CVD 방법을 통해 Mo_2C의 대면적 고품질 성장 및 선택적 합성을 시도하였습니다. 반복적인 그래핀 전사 공정을 통해 제작된 다층 그래핀 템플릿을 Cu 포일 위에 형성하고, 이를 통해 탄소 공급 및 CH_4 확산을 제어함으로써 Mo_2C 박막의 두께를 조절하였습니다. 고분해능 TEM 분석과 초전도 특성 측정을 통해, 불규칙한 결정립을 갖는 고결정성 Mo_2C 박막이 형성되었음을 확인하였으며, 층간 결함도 최소화된 구조를 나타냈습니다. 이러한 결과는 그래핀 템플릿을 활용한 2D 전이금속 탄화물의 정밀 합성 전략으로서의 가능성을 보여주며, 차세대 2D 소재 기반 전자소자나 촉매 응용에 기여할 수 있을 것으로 기대됩니다.

[P26A-2]
Elastomeric-Mask Enabled Optical Lithography Beyond Diffraction Limit: Jaehyeok Seo, Wooyoung Shim*(Yonsei Univ.)
Keywords: Soft photomask

Elastomeric-Mask Enabled Optical Lithography Beyond Diffraction Limit Jaehyeok Seo*, Wooyoung shim* * Department of Materials Science & Engineering, Yonsei university, Seoul, 03722, Republic of Korea Photolithography continues to be the prevailing microfabrication technology as long as it continues to meet the resolution and yields demands at a cost that makes it economically viable. Among these requirements, the fundamental resolution challenge is diffraction of light at the edge of an opaque feature on the mask as the light passes through an adjacent clear area, which has been addressed by 'optical trick' with complex optics, but eventually compromises the cost-effectiveness. Here, we present an unprecedented near-field optical printing approach that uses chromium patterns embedded in elastomer for near-field operation, which routinely generates QUOTE sub-diffraction patterns using existing hardware and prevailing 400-nm light source. Conformal contact with a substrate using an elastomeric photomask overcomes the diffraction issues of light-based printing systems, and also eliminates a depth-of-focus issue, thereby enabling photolithography for non-planar substrate which is important for future wearable electronics. Our method secures high resolution, parallel-writing and cost-effective characteristics of photolithography and provides routine patterning process for non-planar substrate, which should be widely used in academic and industrial production for electronic, optical and metamaterial applications. but secures parallel-writing and cost-effective characteristics, which should be widely used in academic and industrial production for electronic, optical and metamaterial applications.

[P26A-3]
Countern Electrode Structural Optimization for Reversible Metal Electrodeposition: Taehoon Park, Seungwoo Kim, Cheon Woo Moon*(Soonchunhyang Univ.)
Keywords: RME, Counter electrode

Counter electrodes are widely used in industry, such as metal interconnect, surface finishing, electrochemical sensors, and system performance which depends on the counter electrode structure. In reversible metal electrodeposition (RME), geometry and impedance define the potential and current distributions. Leading to recurring problems such as voltage drop arising from (1) finite conductor resistance, (2) spatial gradients evident as edge crowding with central depletion, and (3) localized over or under deposition driven by contact resistance variability. Variance of contact resistance heightened scalability in low reproducibility and yield caused by a structural state and electrolyte degradations. During scale up, access points are limited and return paths grow longer. These conditions cause voltage drops and make control unstable. In addition, manufacturing limits on minimum line width, line spacing, allowable thickness, and layer count restrict the design. Diagnostic ambiguity from parasitic coupling and unintended bypass paths narrows the feasible design space even more. To deal with the problem we provide suggest counter electrode structural modification strategy for the more effective use of counter electrodes. It reframes design as a cooptimization of geometry and electrical access under realistic manufacturing limits.

[P26A-4]

Influence of Ion Diffusivity by Alkyl Chain Length on the Triboelectric Performance of PVDF-HFP+IL Composites: Gwak Sujeong, Lee Ju Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

Keywords: Triboelectric Nanogenerator, PVDF-HFP, Ionic Liquid, Electric Double Layer, Ion Diffusivity

Triboelectric nanogenerators (TENGs) have emerged as a promising energy harvesting technology, capable of converting mechanical energy into electrical energy through contact electrification and electrostatic induction. Owing to their simple structure, low production cost, and broad material compatibility, TENGs are considered ideal candidates for self-powered systems. Among various strategies to enhance the performance of TENGs, the incorporation of ionic liquids (ILs) into polymer matrices has shown potential due to their high ionic mobility and ability to form electric double layers (EDLs), which enhance surface charge density. However, the influence of IL molecular structure, particularly alkyl chain length of cations, on triboelectric properties has not been fully explored. In this study, we systematically investigated the triboelectric behavior of PVDF-HFP composites embedded with $TFSI^-$-based ILs having cations of varying alkyl chain lengths. The molecular structure of the ILs, which consist of $TFSI^-$ anions and cations with alkyl chains $(CH_2)nCH_3^+$ (where n = 1 for $EMIM^+$, 3 for $BMIM^+$, 7 for $OMIM^+$, and 11 for $DoMIM^+$) attached to the N1 position of the imidazolium ring, plays a key role in ion mobility and triboelectric polarity. Composites were fabricated with IL concentrations ranging from 1 to 20 wt%, and their dielectric constant, electrical resistivity, surface roughness, and output performance were systematically characterized. Dielectric measurements revealed that EDL formation at low IL concentrations increased the dielectric constant. This enhancement was more significant for short-chain ILs due to more efficient ion alignment and migration. Composites with long alkyl chain ILs showed smaller increases, suggesting limited ion mobility caused by steric hindrance. Electrical resistivity decreased with increasing IL content, particularly for EMIM-TFSI and BMIM-TFSI. Surface roughness remained largely unchanged, indicating minimal influence on triboelectric behavior. Vertical contact-separation mode TENGs were fabricated using these composites. With PFA as the tribo-negative counterpart, EMIM-TFSI and BMIM-TFSI PVDF-HFP+IL composites showed enhanced tribo-positive output up to 1 wt%, while OMIM-TFSI and DoMIM-TFSI PVDF-HFP+IL composites exhibited reduced output as IL concentration increased. When Nylon was used as a tribo-positive material, OMIM-TFSI and DoMIM-TFSI composites showed tribo-negative behavior, with peak performance at 5 wt%. These polarity shifts suggest that the direction of ion movement within composite significantly affects surface charge characteristics. Because triboelectric polarity is closely linked to the types of ions remaining at composite surface after contact, analyzing ion diffusion behavior is essential to understanding this phenomenon. To explore the underlying mechanism, the self-diffusion coefficients of IL ions were measured using pulsed-field gradient nuclear magnetic resonance (PFG-NMR). For EMIM-TFSI and BMIM-TFSI, cation diffusivity exceeded that of anions, leading to anion-rich surfaces and tribo-positive behavior. Conversely, OMIM-TFSI and DoMIM-TFSI showed faster anion diffusivity, resulting in cation-rich surfaces and tribo-negative output. Ionic transference number analysis further supported that dominant ion mobility governs surface charge polarity in triboelectric process. In conclusion, the alkyl chain length of IL cations directly influences ion diffusivity, dielectric enhancement, and triboelectric polarity in PVDF-HFP+IL composites. This study provides a fundamental strategy for controlling triboelectric performance through molecular design, offering insights for the development of high-efficiency TENGs in wearable and self-powered systems.

[P26A-5]

Improved xylene gas detection performance via Au-core based Au@SnO_2 core–shell nanostructures: Hyoun Woo Kim*, Ka Yoon Shin, Wansik Oum, Eun Bi Kim, Sungjoon Moon, Seonwoo Jang, Taekheon Kim, Yongseong You(Hanyang University)

Keywords: Gas sensor, Xylene, Au@SnO_2, core-shell

We synthesized pristine SnO_2 nanoparticles (NPs) and Au@SnO_2 core–shell (C–S) nanocomposites via a simple chemical method for application in xylene gas sensing. Gas sensing evaluations revealed that the Au@SnO_2 C–S nanocomposites exhibited significantly enhanced sensing performance compared to pristine SnO_2 NPs, demonstrating the advantageous role of the core–shell structure. At an operating temperature of 350 °C, the Au@SnO_2 C–S sensor achieved a high response of 27.9 to 50 ppm xylene, whereas pristine SnO_2 NPs showed a lower maximum response of 13.04 at 450 °C. In addition, the Au@SnO_2 C–S nanocomposites displayed superior selectivity toward xylene over other interfering gases. The enhanced sensing performance is attributed to the catalytic activity of Au, the formation of Schottky barriers at the Au–SnO_2 interface, and the unique porous architecture of the core–shell structure. These findings underscore the great potential of Au@SnO_2 C–S nanocomposites as high-performance xylene gas sensors.

[P26A-6]

Polyelectrolytes as a Stable and Tunable Platform for Triboelectric Nanogenerators: MOON YEONG HEUM, Hyeonseo Joo(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST)), Wonho Lee*(Kumoh National Institute of Technology), Ju-Hyuck Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST))

Keywords: energy harvesting, TENG, Polyelectrolytes

In conventional Triboelectric nanogenerators (TENGs), the incorporation of ionic liquids (ILs) into polymer matrices enhances triboelectric charge transfer via electric double layer formation, leading to improved output performance. However, IL-based systems suffer from evaporation, decomposition, and high sensitivity to environmental conditions such as temperature, humidity, and oxygen. As

a result, they exhibit output degradation during long-term operation and face additional limitations including poor durability and leakage, which hinder practical applications. Therefore, ensuring long-term mechanical and output stability is essential for the practical deployment of TENGs. In this study, we propose the use of polyelectrolytes (PEs) as a stable and tunable alternative to ILs. PEs possess covalently tethered ionic groups on the polymer backbone, which prevents leakage and thermal degradation while enabling precise control over tribopolarity. As a result, PE-based TENGs maintain nearly constant output even after one week at 60 °C, whereas IL-blend TENGs show a 27% performance drop under the same condition. Moreover, the tribopolarity modulation capability of PEs allows significant voltage enhancement; for example, PMA with PE incorporation achieved 83 V, representing 84% increase compared to pristine PMA. These findings demonstrate that PEs provide a stable and tunable platform for next-generation TENGs, with strong potential for applications in soft robotics, biomedical sensors, and personal electronics.

[P26A-7]

산화물 혼합체로부터 합성된 3원계 고용상-이종 MAX 전구체 적용을 통한 전기적 특성 향상: 이정연, 권한중*, 송재민, 이도연(전북대학교), 서준기((주)베스트알), 양준열, 장민서, 김은채(전북대학교)

Keywords: 맥신, 맥스, 이차원물질, 산화물, 전기전도도

MXene은 전이 금속(M), 탄소 또는 질소(X), 13~14족 원소(A)로 구성된 MAX 전구체에서 A층을 선택적으로 제거하여 얻어지는 2차원 나노소재로, 우수한 전기전도도와 구조적 유연성을 바탕으로 다양한 에너지 소재 분야에서의 응용 가능성이 주목받고 있다. 특히 바나듐 기반 MXene(V-MXene)은 우수한 이온 확산 특성과 전기화학적 안정성으로 이차전지 전극 소재로의 활용이 기대되지만, 낮은 전기전도도와 고비용 원료 문제로 인해 상용화에 제약이 따른다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 산화바나듐(V_2O_5)과 이산화타이타늄(TiO_2)과 같은 재활용 금속 산화물을 원료로 활용하여 V과 Ti가 고용된 이종 MXene을 합성하였다. 열역학적 계산 및 상평형 분석을 통해 도출된 최적 V/Ti 비율과 Al 및 C 투입량을 적용하여 고순도 (V, Ti) 기반 MAX 전구체를 제조하였으며, 이후 선택적 에칭 공정을 통해 이종 MXene을 확보하였다. 합성 과정에서 Ti 및 Al 투입량 최적화를 통해 MAX 상의 안정성 향상 및 격자 상수 조절, 제어가 가능하였으며 결과적으로 MXene의 전기적 특성과 구조적 안정성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 실험적으로는 (V, Ti) 우선 산화물/흑연-C 혼합 분말을 고에너지 볼 밀링 후 1500ºC 진공 분위기에서 탄화환원 반응을 통해 이종 탄화물을 합성하였으며, 합성된 이종 탄화물을 Al과 반응시켜 MAX 상을 확보하였다. MAX 합성 과정에서 Ti 및 Al 투입량을 변화시켜 MAX 상 분율을 극대화하였고 XRD 및 TEM 분석 결과, Ti 함량 증가는 (312) MAX 안정성을 높이고 MXene 두께 및 층간 간격 제어를 가능하게 하고 Al 과잉 첨가는 불순물 상 억제와 결함 밀도 저감에 기여하는 것으로 확인되었다. 전기적 평가에서는 이종 MXene의 경우 기존 V-MXene 대비 전도성이 개선되었는데, 이는 이종 MXene의 구조적 안정성과 전극 소재로서의 신뢰성을 시사하는 결과로 사료된다. 본 연구는 금속 산화물을 활용한 저비용 합성 공정과 이종 MAX 전구체를 활용하여 MXene의 제조 비용을 절감하고 물리적·전기적 특성을 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 이러한 결과는 금속재료학적 관점에서 합금 설계와 결함 제어를 통한 기능성 향상 전략을 제시하며, MXene의 차세대 에너지 저장 소재 및 금속 기반 복합재 응용으로의 확장 가능성을 보여준다.

[P26A-8]

Wind-Driven Three-Phase Triboelectric Generator Integrated with an Electrodynamic Screen for Self-Powered Cleaning of Solar Panels: Lee Cheoljae, Lee Ju-Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology)

Keywords: Triboelectric nanogenerator, electrodynamic screen

Dust accumulation is one of the most critical challenges in maintaining the performance of photovoltaic (PV) systems, as it significantly lowers energy conversion efficiency and increases maintenance costs. Conventional cleaning methods, including water washing, robotic wipers, or surface coatings, suffer from drawbacks such as water consumption, system complexity, and limited effectiveness. In this work, we present a wind-driven, phase-controlled cleaning system that integrates a three-phase rotational triboelectric nanogenerator (RTENG) with a single-layer electrodynamic screen (EDS). The RTENG directly harvests ambient wind energy and produces synchronized high-voltage alternating signals without any external power source. When applied to the EDS, these signals generate a traveling electric field that drives dust particles laterally across the surface, enabling unidirectional removal regardless of panel tilt. The system achieved dust removal efficiencies of 83.5% by weight and 62.4% by surface area, outperforming conventional single-phase systems by 1.6 and 1.13 times, respectively. Moreover, it maintained robust cleaning capability across a wide range of wind speeds and inclination angles. These results demonstrate a scalable, water-free, and energy-autonomous strategy for enhancing the durability and efficiency of solar energy harvesting in dust-prone environments.

[P26A-9]

Plasticized Graphene-PVC Gel with Ion-Bridging and Modulated Microcracks for Highly Sensitive and Broad-Range Strain Sensing: Ibrahim Tijani, Park Hyosik, Lee Ju-Hyuck*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology)

Keywords: ion-bridging, graphene, plasticized PVC gel, strain sensors, gauge factor

Achieving both high sensitivity and a broad range of strain tolerance remains a challenge in stretchable strain sensors, limiting their gauge factor. Here, we introduce a novel plasticized polyvinyl chloride (PVC) integrated with graphene that leverages ion-bridging and modulated microcracks to overcome these limitations. The ion-conductive bridge forming at the interface between graphene and PVC

gel, through the synergy of modulated microcrack and ion bridge structure, enhances resistance changes within strains. Plasticizer-mediated tuning of the PVC-graphene adhesion regulates crack evolution, while ionic bridges across fractured graphene domains sustain charge transport under deformation. This dual mechanism achieves a gauge factor of 635 ($\varepsilon < 40\%$), 1.5×10^{6} ($40\% < \varepsilon < 80\%$), and 7.8×10^{5} ($80\% < \varepsilon < 100\%$) across a strain range of up to 100%, with a rapid response of 13 ms. This sensor monitors diverse human motions, including posture correction, bending motions, and angle variations, highlighting its suitability for wearable human motion detection. Our results establish microcrack modulation coupled with ion-bridging as a general strategy for next-generation wearable electronics.

[P26A-10]

Nano-TiO_2 Dielectric Gel-Based Triboelectric Nanogenerator with High Output and Temperature-Independent Pressure Sensing: Lee Ju-Hyuck*, Kwon Minwoo(대구경북과학기술원)

Keywords: Energy harvesting, TENG, PVC gel, TiO_2 nanoparticles, dielectric gel, thermal stability, pressure sensing, temperature-independent performance

Triboelectric nanogenerators (TENGs) have emerged as promising candidates for sustainable energy harvesting and self-powered sensing. Plasticized polyvinyl chloride (PVC) dielectric gels are widely employed due to their strong triboelectric properties and mechanical flexibility. However, conventional PVC gel TENGs suffer from poor thermal stability, as plasticizer leakage at elevated temperatures degrades output performance and sensing reliability. In this study, we present a nano-TiO_2 dielectric gel TENG that overcomes these limitations by incorporating titanium dioxide nanoparticles (TiO_2 NPs) into the PVC matrix. The TiO_2 NPs enhance the dielectric properties, suppress leakage currents, and form strong interactions with polar plasticizers, thereby preventing thermal degradation. At a TiO_2 loading of 2 wt%, the device achieved an output voltage of 121 V and a current of 11.1 μA. Moreover, stable operation was maintained across a wide temperature range (25–55 °C), thereby ensuring reliable performance under diverse environmental conditions. Furthermore, the device functions as a temperature-independent pressure sensor, exhibiting reliable sensitivities of 2.03 V kPa^{-1} (10–40 kPa) and 0.97 V kPa^{-1} (40–100 kPa), unaffected by thermal fluctuations. These advances highlight a practical strategy to achieve both thermal resilience and output enhancement in dielectric gel TENGs. Overall, the proposed nano-TiO_2 dielectric gel TENG provides a robust platform for energy harvesting, wearable technology, and IoT applications, expanding the practical utility of TENGs across variable climatic conditions.

[P26A-11]

Direct Current Generation in Triboelectric Nanogenerators Through Ionic Dynamics and Electrode Polarization Effects: Gerald Selasie Gbadam, Ju-Hyuck Lee*(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

Keywords: Triboelectric Nanogenerator, Direct Current Generation, Electrode Polarization, Plasticized PVC Gel, Self-Powered Systems

Efficient conversion of mechanical energy into direct current (DC) remains a challenge with existing methods, including Triboelectric Nanogenerators (TENGs). In ionic tribomaterials, ion displacement and polarization enable dynamic control over charge magnitude and direction, similar to tribovoltaic nanogenerators (TVNGs), but unlike dielectric TENGs, where conductivity and triboelectric charge often compromise each other. Although ionic tribomaterials are gaining interest, their potential for generating DC output has not been extensively explored. In this study, we demonstrate that modifying conventional dielectric materials such as poly(vinyl chloride) (PVC) with ionic components, such as plasticizers, can convert AC to DC. This mechanism, driven by contact electrification and electrode polarization (EP), enables stable DC generation across multiple mechanical modes—an issue commonly limiting existing methods. We develop an ionic-based DC TENG (iDC-TENG) producing continuous output, showing superior characteristics of PVC-based ionic materials and bridging the limitations of both TVNGs and dielectric TENGs through ionic dynamics. We further elucidate the influence of critical parameters including electrode work function, frequency, load resistance, and mechanical configuration on the stability and efficiency of DC generation. Additionally, we explore and demonstrate stable DC generation in sliding and rotary mechanical modes (iDC-RTENG). The optimized device exhibits robust and continuous DC output under various mechanical conditions. Our findings emphasize the importance of key parameters and ionic dynamics, providing a solid foundation for optimizing DC-TENG devices and significantly advancing sustainable energy harvesting technologies.

[P26A-12]

Temperature-dependent Cosolvent Coloration Effect with Ionic Liquid for Smart Pixels: Kim Seung Woo, Cho Jaeha, Moon Cheon Woo*(Soonchunhyang Univ.)

Keywords: Ionic liquid, Smart pixels, Electrochromic devices

Electrochromic devices (ECDs), which enable reversible optical modulation under applied voltage, have attracted significant attention in a variety of applications such as reflective displays. Electrically tunable reflective pixels used in display applications exhibit a wide range of color change under applied bias. By organizing these pixels into high-density two-dimensional pixel arrays, full-field color modulation and precise spatial control become possible. Despite extensive research, the operational temperature range of conventional ECDs remains limited by electrolyte-driven performance degradation. Conventional electrolytes are vulnerable to temperature

variations. At low temperatures, ionic conductivity decreases, while at high temperatures, evaporation and decomposition are accelerated, thereby limiting the stability and lifetime of the devices. Ionic liquid (IL) fundamentally overcomes the temperature-dependent drawbacks of conventional electrochromic electrolytes by combining non-volatility with a broad electrochemical stability range and reliable performance across extreme temperatures. Its wide electrochemical window, intrinsic non-volatility, and high ionic conductivity ensure stable and consistent switching behavior without solvent evaporation or decomposition. In this study, IL is introduced as an electrolyte in ECDs to affect the temperature-dependent cosolvent coloration effect. We demonstrate cosolvent effects, optimized salt pairings, and high-temperature applicability within an ionic liquid–based electrolyte. These results exhibit stable switching behavior. Stable performance across a wide temperature range indicates broad implementation potential in electrochromic smart pixels.

[P26A-14]

Flexible Electrochromic for Next-Generation Energy Saving Device: Choi Hyeonbin, Park Taehoon, Moon Cheon Woo *(Soonchunhyang Univ.)

Keywords: Reversible Metal Electrodeposition, Electrochromic, Flexible Device, Energy Saving Applications

Reducing energy consumption is an essential task to address climate change and achieve sustainable development in modern society. In particular, energy loss through windows in buildings and vehicles accounts for a significant portion of total energy consumption. Electrochromic devices, which can actively control optical properties, have therefore been recognized as an important technology. Recently, reversible metal electrodeposition (RME)-based devices have demonstrated excellent optical modulation performance and reversibility; however, most have been fabricated on rigid glass substrates, which are not suitable for applications requiring curved shapes or mechanical flexibility. In this presentation, a flexible electrochromic device based on RME was designed and fabricated using flexible ITO substrates. By precisely controlling the electrodeposition and dissolution of metal ions in the electrolyte, switching between a transparent layer and a colored active layer was realized. The mechanical flexibility of the device was evaluated under curved conditions, and temperature variation experiments confirmed its potential for reducing energy consumption. This study demonstrates that flexible RME-based electrochromic devices have the potential to maximize energy-saving effects in next-generation buildings and vehicles, and are also expected to broaden the application range of metal electrodeposition-based materials.

[P26A-15]

강자성 나노 나선구조체의 전기화학적 합성: 정은진, 전유상, 문준환, 김영근*(고려대학교)

Keywords: 금속, 강자성, 나노소재, 전기도금

전기화학적 합성법은 나노구조체를 합성할 수 있는 간단하면서도 효율적인 방법으로써 주목받아왔다. 이러한 전기도금법은 환경친화적이고 경제적이라는 장점에도 불구하고, 템플릿 기반의 합성이 주를 이루기 때문에 최종 생성된 구조체가 템플릿의 기하학적 형태에 국한된다는 근본적인 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 전해질 내 첨가제의 조성비와 인가 전류 밀도를 정밀하게 조절함으로써, 제한된 나노템플릿 공간 내에서도 다양한 비등방성 나노구조를 유도할 수 있음을 밝혀냈다. 특히, VO^{2+} 이온과 L-ascorbic acid를 첨가제로 활용하여 동일한 양극 산화 알루미늄(anodized aluminum oxide, AAO) 템플릿을 내에서도 서로 다른 형상의 나노선(nanowire), 나노튜브(nanotube), 나노나선(nanohelix) 구조를 제조할 수 있는 새로운 합성 메커니즘을 제시하였다. 선형 주사 전압법(linear sweep amperometry, LSA)을 이용하여 VO^{2+} 이온은 양성자화된 기공 벽에 흡착하여 전자 전달 경로를 제공하며, 인가 전기장의 세기가 증가하면 표면 전도(surface conduction) 효과가 주요 합성 메커니즘으로 작용함을 확인하였다. 또한 L-ascorbic acid의 도입은 성장 양상을 제어하여 나노튜브에서 나노나선 구조로의 전환을 가능하게 한다. 이때 생성된 나노나선은 나노결정성 1차 입자의 집합체로 구성되며, 이들의 상호작용이 최종 구조의 형태와 두께에 결정적인 역할을 한다. 한편, 반응 과정에서 형성되는 vanadyl ascorbate는 표면 전자의 이동을 부분적으로 억제함과 동시에 나선형 구조 형성을 유도하는 분자로 작용하여, 1차 입자들이 코일 형태로 조립되도록 한다. 끝으로 본 연구에서는 이러한 인가 전류 및 첨가제 조성 조건에 따라 구현 가능한 다양한 나노구조의 형성 영역을 체계적으로 도식화한 상태도(state diagram)를 제시하였다.

[P26B-1]

Transparent Capacitive Pressure Sensor Based on Nanoparticle-Infused Microstructured Architecture: Choi Janghoon, Shim Wooyoung*(Yonsei Univ.)

Keywords: Nanoparticle, Pressure Sensor

Highly sensitive and transparent pressure sensors are important for engineering the electronic skin that perceives mechanical stimuli. Recent advances reveal routes to exploit the micropatterned dielectrics so as to control compression behavior and thereby enhance the sensing performance of the devices, but generally are opaque and haze due to light scattering at the microstructured surfaces. In this study, we propose a new, fundamentally simple approach to fabricating nanoparticle-embedded pressure sensors that contains dielectric layers with transparent SiO2 nanoparticles making the surface rough, but reducing the haze at optimum particle sizes, thus providing high sensitivity and transparency.

[P26B-2]
Modification of ITO Surface for Efficient Metal Electrodeposition: Cho Jaeha, Choi Seoyun, Moon Cheon Woo*(Soonchunhyang Univ.)
Keywords: RME, Smart windows, ITO

Reversible Metal Electrodeposition (RME)-based smart windows can control the inflow of solar energy by regulating the light transmission characteristics through the application of voltage. Therefore, A reduction in heating and cooling costs is facilitated, leading to improved energy performance in buildings. However, large-scale commercialization remains limited due to challenges including durability, switching speed, color neutrality, and accordingly cost. A major factor determining the efficiency and stability of metal electrodeposition is the surface property of the transparent conducting electrode, typically indium tin oxide (ITO). ITO surfaces are often affected by a high defect density and surface functionalization, which interrupt uniform nucleation and homogeneous growth during electrodeposition. These issues lead to high overpotentials, non-uniform metal films, and poor device performance. Therefore, modification of the ITO surface is essential for enabling efficiency and RME. In this study, surface modification strategies of ITO are investigated to improve its electrochemical activity and interfacial compatibility through thermal annealing, chemical functionalization, and wettability tuning. Devices are carefully evaluated by spectroelectrochemical methods. Surface-modified ITO exhibits reduced overpotential, faster switching, and more uniform metal deposition than untreated electrodes, leading to enhanced performance and durability of RME smart windows.

[P26B-3]
3-Dimensional Structurally Colored Heterogeneous Polymer Nanopatterns forChemically Tunable Optical Devices: Lee Su Min, Nam Tae Won*(Pusan National University)
Keywords: 3-dimensional nanopattern, structural color, polymers

Structurally colored nanomaterials, whose color originates from periodic modulation of refractiveindex rather than pigments, provide sustainable, non-fading, and tunable optical properties foradvanced photonic applications. In this study, a multilayer stack transfer printing technology isintroduced to fabricate 3-dimensional nanopatterns composed of heterogeneous polymers, exhibitingvivid, structural coloration. Spectral properties of the polymer nanopatterns can be partiallymodulated through precise geometric control at the nanoscale. The fabricated 3-dimensional polymernanopatterns exhibit subtle variations, or even extinction, in nanoscale periodicity upon exposure toexternal chemical environments. These periodic structural alterations result in distinct yet limitedchanges in structural coloration, demonstrating sensitive optical responsiveness to chemical stimuli.This method provides a versatile and scalable approach for developing chemically responsive 3-dimensional structural color systems using heterogeneous polymers, with promising applications inoptical sensors, interactive displays, and environmentally adaptive surfaces, where subtle colorchanges visually indicate chemical stimuli.

[P26B-4]
Mitigating Moisture-Induced Oxide Formation in Na- β″-Alumina Batteries via Bismuth Coating: Shim Wooyoung *, Ko Junwoo(Yonsei university)
Keywords: β″-Alumina Batteries, Wetting, Bismuth Protective Layer

As the importance of renewable energy grows, Sodium/β”-alumina(BASE) cell has been recognized as one of the most effective energy storage device because of its high specific energy, high efficiency of charge/discharge and long cycle life. For better operation of Sodium-BASE cell, poor wettability, which is caused by moisture and impurity in the BASE such as calcium, of electrolyte on liquid sodium anode should be enhanced. However, the formation of the oxide film, which is related to moisture absorbed on the BASE surface, impedes sodium dissolution, thereby hindering an accurate determination of wetting behavior. In this study, the sessile drop technique under controlled moisture and O_2environment is used as a type of an artificial Sodium-BASE cell system to study the issue of water interface formed onto the BASE. To separate water interface, BASE surface needs to be coated by metal that can form an alloy with sodium and therefore completely isolated its surface in a way that emulate the sealed and complete real cell. Bi is chosen as protect layer and sodium alloy with Bi is impervious to water yet does not interfere with sodium conductivity. By the enhanced wettability, the Sodium-BASE batteries can be operated at lower temperature with solving the safety issues and to use low cost polymeric seals.

[P26B-5]
Cymatic-Driven Assembly of 3D Nanoparticle Arrays with Crystallographic Lattice-inspired Pattern Formation: Cho Gyuhyeon, Shim Wooyoung*(Yonsei. Univ.)
Keywords: cymatics, nanoparticle superlattices, 3d assembly

Analogous to the definition of crystallographic ‘lattice’, symmetric and periodic points comprised of accumulated building blocks can be seen as ‘lattice equivalent’, resulting from the material assembly. By virtue of the tailoring ability of the system, we deliberately control the pattern size and dimensionality and understand the wave mechanics as well. This approach is technologically unique in that (i) it is a method that enables the construction of three-dimensional nanomaterial assembly, which has never before been observed in the field of cymatics, and (ii) a massively parallel method that creates arrays over macroscale areas where the total patterned area is only

limited by the size of the plate surface. Periodic and symmetric patterns are easily made in the Cartesian coordination system, where liquids on the centimeter scale plate are employed as a medium. We show how transparent polymer can be used as a 'three-dimensional spacer' within nanoparticle superlattices assembled, which has never before been observed in cymatics. Consequently, we expect thins versatile strategy to be widely adopted by academic and industrial researchers for prototyping.

[P26B-6]

Enhancing Photoluminescence of PMMA/Quantum-Dot Composite Films through Controlled Surface Roughness: seo seungpyo, Nam Tae Won*(Pusan National Univ.)

Keywords: phase separation, polymer/quantum-dot composites, light scattering, surface roughness

The enhancement of photoluminescence in polymethyl methacrylate/quantum-dot composites is a key challenge for display applications. Photoluminescence can be increased by light scattering from surface roughness in three-dimensional structures. However, simultaneous control of surface roughness while maintaining a homogeneous phase between polymethyl methacrylate and quantum dots is challenging. The use of poor solvents can increase surface roughness via phase separation, but often leads to excessive quantum-dot aggregation, poor film quality, or reduced device reproducibility. Here, we employed dimethylformamide, a solvent with good solubility for polymethyl methacrylate, a relatively high surface tension, and a low evaporation rate, to control surface roughness without severe phase separation. Using this strategy, we successfully fabricated photoluminescence-enhanced composite films with controlled morphology and increased light scattering. This approach demonstrates a facile route to enhancing photoluminescence in solution-processed quantum-dot composite films.

[P26B-7]

Grain boundary targeted dewetting for low adhesion graphene transfer printing strategy: Kim Juhyun, Nam Taewon*, Lee Hyunjin(Pusan Univ.)

Keywords: graphene transfer, dewetting, grain boundary, PMMA residue

Polycrystalline CVD graphene contains grain boundaries that often become defect sites for polymer residues during conventional PMMA-assisted transfer printing. Such residual polymer particles degrade graphene's electronic properties, acting as scattering centers that lower carrier mobility and device performance. We present a transfer printing strategy that exploits controlled dewetting to minimize grain boundary contamination. Binary solvents in the PMMA solution induce targeted dewetting on the grain boundaries of graphene, thereby reducing polymer-residue formation at defect sites. The resulting transferred graphene promises improved carrier transport and highly reliable device integration.

[P26B-8]

Stabilizing Metastable $Cu_2Ta_4O_{11}$ through Sodium-Flux Synthesis for High-Selectivity C_{2+} Photocathodes: Hong Woojin, Lee Minho, Gim Hyeongyu, Kootak Hong*(Chonnam National University)

Keywords: Flux-mediated synthesis, complex oxide, Precursor engineering, CO_2 reduction, Photocathode

$Cu_2Ta_4O_{11}$ (CTO) offers considerable potential as an efficient photocathode for converting CO_2 into multi-carbon (C_{2+}) compounds through photoelectrochemical (PEC) reduction, thanks to its suitable energy band alignment and catalytic activity. Yet, its metastable character and thermal instability hinder conventional synthesis. Here, we present a sodium-flux-mediated synthesis approach to produce sodium-doped CTO (Na-CTO) thin films, which promotes nucleation and stabilizes the CTO phase. To probe their catalytic and PEC behavior, surface CuO on Na-CTO was selectively etched, resulting in reduced dark current and diminished photocorrosion, unlike non-etched films with residual CuO. The Na-CTO films achieved a 7.3-fold enhancement in ethylene selectivity over hydrogen, highlighting their promise for C_{2+} production in PEC CO_2 reduction systems.

[P26B-9]

Photoluminescence Enhancement of Quantum Dots via Phase-Separated Polymer Thin Films: KIM KIHOON, NAM Tae Won*(Pusan National University)

Keywords: quantum dots, transparent displays, photoluminescence, phase separation

Advanced visualization technologies, such as smart glasses and automotive head-up displays, rely on transparent displays, with the key challenge being to optimize transmittance and brightness for clear and vivid image delivery under diverse lighting conditions. However, conventional light-emitting device structures have difficulty improving transparency. Previous efforts on improving transparency has primarily been focused on the electrode materials, while limited attention is paid to the emissive layer. Thicker emissive layers can improve device luminance and stability but decrease transparency, vice versa. Here, we propose an innovative strategy to introduce phase-separated polymer thin films to simultaneously improve transmittance and PL efficiency by enhancing light scattering and extraction due to the synergistic effect between structure and polymer. This strategy enables the PL intensity to be enhanced by more than 70 times. This technology offers the possibility of fabricating ultrathin transparent displays with excellent transparency and PL intensity.

[P26B-10]
Dilute HCl Addition to Sn Precursor for High-Quality SnO_2 Surfaces in Perovskite Solar Cells: 임영빈, 박필주, 장원진, 김수영*(Korea University)
Keywords: Perovskite solar cell, SnO_2

Tin oxide (SnO_2) has been widely employed as an electron transport layer (ETL) in perovskite solar cells (PSCs) owing to its high optical transmittance, moderate charge mobility, low-temperature processability, and excellent chemical stability. Among various deposition techniques, spin-coating a $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ precursor solution followed by annealing at 150–200 °C offers a simple and cost-effective approach compared to methods such as chemical bath deposition (CBD) or colloidal solution processing. However, the SnO_2 formation in this route is highly dependent on ambient oxygen and moisture, often leading to excessive defect formation and poor film reproducibility. In this work, we demonstrate an effective strategy for SnO_2 film fabrication by introducing dilute HCl into the precursor solution. The water content in the dilute HCl promotes the formation of intermediate species, while the acidic environment suppresses undesirable particle aggregation. Consequently, the resulting PSCs exhibited an average power conversion efficiency (PCE) enhancement of 1.24% over control devices, along with superior reproducibility. Scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) analyses confirmed that the improved device performance originated from reduced surface defects and denser film morphology.

[P26B-11]
Anisotropic Absorption in Three-Dimensional Quantum Dot Structures: Seo Jisoo, Tae Won Nam*(Pusan National Univ.)
Keywords: Transfer printing, quantum dots, photoluminescence, photodetector

Spatial sensing systems for three-dimensional imaging devices, such as photodetectors, require higher precision and resolution. This entails high angle-specific sensitivity and the ability to collect directional information. However, conventional planar quantum dot layer-based photodetectors are limited in collecting directional data because they cannot accurately discern signal variations as functions of incident angles. In this study, we propose a pyramid-shaped quantum dot-based sensing ensemble that can selectively detect angular characteristics of absorbed light. Uniform three-dimensional pyramidal template was fabricated by wet etching a silicon wafer. Subsequently, quantum dots were precisely replicated using polymer transfer media molding and printing. Photoluminescence and absorption spectra analysis show that distinct peaks are observed at various angles of the fabricated assembly, confirming angle-selective light detection. This demonstrates the possibility of fabricating quantum dot photodetectors with angle-selective sensing capabilities. 광 발광 및 흡수 스펙트럼 분석은 제조 된 어셈블리의 다양한 각도에서 뚜렷한 피크가 관찰되어 각도-선택적 광 검출을 확인한다는 것을 보여준다.

[P26B-12]
Designing Ternary Oxide Thin Films: Shape and Surface Control of $NaTaO_3$ via Flux-Mediated Synthesis: Lee Minho, Hong Woojin, Gim Hyeongyu, Kootak Hong*(Chonnam National University)
Keywords: Flux-mediated synthesis, complex oxide, Precursor engineering, Charge transport layer, Solar cell

$NaTaO_3$ is a stable n-type semiconductor with a wide bandgap and broad applicability. Here, a flux-mediated synthesis approach is demonstrated, enabling the growth of $NaTaO_3$ films with unique, substrate-spanning morphologies by adjusting precursor chemistry at comparatively low temperatures. This method allows the microstructure to be tuned from nanocube assemblies to smooth, uniform films. Density functional theory and surface-sensitive X-ray photoemission spectroscopy reveal correlations between the observed shapes, surface chemistry, and atomic arrangements. The findings offer practical guidance for controlling the morphology and surface termination of $NaTaO_3$ to suit various applications. As a proof of concept, $NaTaO_3$ is integrated as an electron transport layer in perovskite solar cells, delivering conversion efficiencies above 19%. This work provides a new framework for engineering ternary oxide thin films for use in renewable energy devices.

[P26B-13]
Highly-Efficient PET Depolymerization Using Oyster-Shell-Derived CaO-Based Magnetic Catalysts.: Seo Ho June, Geon Dae Moon*(한국생산기술연구원(KITECH))
Keywords: waste PET, Depolymerizaion, Glycolysis, Magnetic catalyst, Recycle

Every year, millions of tonnes of plastic waste such as discarded plastics and marine by-products like oyster shells are dumped into the ocean, and various efforts have been made to mitigate this issue. Plastic waste has been recycled through physical and chemical methods, while oyster shells have often been reused as fertilizers after drying and calcination processes. To recycle these two waste streams, we developed oyster shell–derived CaO, $CoFe_2O_4$ and $CoFe_2O_4$/CaO catalyst for efficient PET depolymerization. Among them, the $CoFe_2O_4$/CaO composite exhibited the best performance, achieving 97% PET conversion and 87% BHET yield, while maintaining stable activity over twenty reuse cycles. This work developed an effective approach for recycling PET plastics and oyster shell waste.

[P26B-14]

저비용 산화물 원료 기반 탄질화물 MXene 합성: 김은채, 권한중*, 송재민(전북대학교), 서준기((주)베스트알), 이도연, 양준열, 이정연, 장민서(전북대학교)

Keywords: 나노소재, MAX, MXene, 상 안정성, 고용상

MXene은 전이금속(M), 탄소 또는 질소(X), 그리고 13족 혹은 14족 원소(A)로 이루어진 MAX상에서 A층을 제거하여 얻는 이차원 물질이다. MXene은 금속 결합과 넓은 표면적으로 인해 높은 전기전도성과 화학적 반응성을 가지며, 이에 따라 전자기파 차폐와 에너지 저장 적용을 위한 소재로 MXene의 상업적 활용이 고려되고 있다. 최근 연구에 따르면 탄소 일부를 질소로 치환할 경우 MXene의 전도성이 향상되며, 탄질화물 MXene(CN-MXene)은 기존 MXene보다 우수한 전자기파 차폐 성능을 나타내는 것으로 보고되었다. 그러나 전구체인 CN-MAX는 탄소만 포함된 MAX상보다 에칭이 어려워, 주로 고온 염처리를 통해 합성되며 이는 기존 습식 에칭보다 공정 비용이 높아 상업적 적용에 불리한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 MAX상의 C/N 비를 정밀하게 조절하여 CN-MXene 합성에 mild 에칭 공정을 적용할 수 있음을 확인하였고, 저가 TiO_2를 원료로 사용하여 CN-MAX 및 CN-MXene 합성 비용을 절감하였다. 이를 바탕으로 산화물 전구체와 mild 에칭 공정을 기반으로 한 저비용·고성능 CN-MXene 합성 공정을 제시하고자 한다. 실험적으로는 우선 TiO_2와 흑연을 혼합해 고에너지 볼 밀링으로 높은 반응성을 지닌 혼합체를 확보하고, 이를 질소 분위기에서 열처리하여 $Ti(C_{1-x}N_x)$ ($x < 1$) 고용체 분말을 합성하였다. 이후 알루미늄을 도입해 다양한 C/N 비의 CN-MAX 상을 제조하였으며, 이를 mild 에칭 공정을 통해 CN-MXene으로 전환하였다. 탄소 함량 증가에 따라 MAX 및 MXene의 격자 상수가 증가하는 것을 확인하였고, 이는 탄소 함량 제어로 $Ti(C_{1-x}N_x)$의 C/N 비를 효과적으로 조절할 수 있음을 시사한다. 또한 탄소 함량에 따라 합성된 MAX상의 안정한 결정 구조는 $Ti_2Al(CN) \rightarrow Ti_4Al(CN)_3/Ti_3Al_2(CN)_2 \rightarrow Ti_3Al(CN)_{22}$ 순으로 변화하여, C/N 비 조절을 통한 구조 제어 가능성을 확인하였다. 특히, C/N 비가 4:6인 CN-MAX를 mild 에칭 공정으로 처리한 결과 전형적인 아코디언 형태의 MXene이 형성되었다. 본 연구에서는 산화물 전구체를 활용해 탄질화물 기반 MAX와 MXene을 성공적으로 합성하였으며, 이는 비용 효율적인 대량 생산 가능성을 제시한다. 또한 Ti(CN)의 C/N 비 조절을 통해 MAX상의 결정 구조를 정밀하게 제어할 수 있었으며, 이는 MXene의 두께와 형상에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 마지막으로, CN-MAX상에 대한 mild 에칭 공정의 적용 가능성을 확인하였으며 에칭 반응성이 C/N 비와 결정 구조에 따라 달라지는 원인을 열역학적 관점에서 설명하고자 하였다.

[P26B-15]

EUV 펠리클용 탄소 나노소재 멤브레인 제작 및 특성 평가: 전세훈, 정영원, 최민철, 우윤성*(단국대학교)

Keywords: 극자외선 펠리클, 그래핀, CNT, 멤브레인

반도체 리소그래피 공정 기술이 심자외선(DUV, @193nm)에서 극자외선(EUV, @13.5nm) 파장대로 발전함에 따라, 포토마스크 위에 위치하여 입자 및 기타 오염물로부터 마스크를 물리적으로 보호하는 역할을 하는 펠리클의 중요성이 점점 커지고 있다. 기존 폴리실리콘(poly-Si) 기반 펠리클은 200W 이하의 노광 파워에서 사용 가능하였으나, EUV 기술이 발전함에 따라 더 높은 전력에서는 내구성의 한계를 나타냈다. 이에 따라 고전력 EUV 환경에서도 높은 투과율과 함께 기계적, 열적 안정성을 동시에 갖춘 차세대 펠리클 소재 개발의 필요성이 나타났다. 최근 폴리 실리콘을 대체하며 EUV 투과율, 방사율, 수소 라디칼/이온 저항성 등의 조건을 만족하는 소재로 그래핀 및 CNT 등의 탄소 나노 소재를 사용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그래핀 및 CNT 등의 탄소 나노 소재는 sp^2 결합을 갖는 구조로 뛰어난 광학적, 기계적 특성을 나타내고 다방면에서 높은 성능이 요구되는 EUV 펠리클 응용에 적합할 것으로 기대된다. 따라서, 본 연구에서는 그래핀 과 CNT, 그래핀-CNT 하이브리드 구조의 필름을 제작하고 광학적, 열적, 기계적 특성을 비교, 평가하여 펠리클 후보 소재로의 가능성을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 화학기상증착(CVD)과 전사 공정을 이용하여 그래핀, CNT, 그리고 그래핀-CNT 하이브리드 필름을 제조했다. 또한, 내부 직경이 1 cm인 구멍 뚫린 원형 프레임에 전사하여 각 필름으로 구성된 멤브레인을 제작하였다. 각 필름의 전기적, 광학적 특성은 각각 4-probe 측정에 의한 면저항과 UV-vis 분광 분석을 통해 측정하였다. 그리고, 각 필름으로 구성된 멤브레인에 대해 bulge test를 수행함으로써 필름의 기계적 강도를 평가하였다. 실험 결과, 550nm 파장에서 측정된 투과율은 그래핀, CNT, 그래핀-CNT 하이브리드 순으로 서로 높게 나타났으며, 면저항도 동일한 순서로 그래핀이 가장 높으며, 그래핀-CNT 하이브리드가 가장 낮은 값을 보여주었다. 위의 세가지 탄소 나노 소재 필름으로 제작된 멤브레인의 기계적 강도는 그래핀-CNT 하이브리드가 가장 높은 것을 확인하였다. 이로부터 광학적 투과율과 기계적 강도 간의 trade-off 관계를 확인하였으며, 따라서 이를 적절히 조절함으로써 EUV 펠리클에 가장 적합한 구조를 갖는 탄소 나노 소재 기반의 펠리클 소재를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[P26B-16]

질소 도핑 탄소 기반 금속 촉매를 활용한 해수 매개 CO2-to-CO 전환: 전우진, 이미경*, 김민상, 이성범(인천대학교)

Keywords: 금속촉매, 해수전해질, 이산화탄소 전환

대기 중 이산화탄소(CO_2) 농도의 지속적 증가는 기후변화의 주된 원인으로 지목되고 있으며, 이를 저감함과 동시에 유용한 탄소 기반 생성물로 전환하기 위한 전기화학적 CO_2 전환(Electrochemical CO_2 Reduction Reaction, eCO_2RR) 기술이 주목받고 있다. 해수 전해질은 풍부한 자원성과 다양한 이온 조성으로 인해 지속가능한 eCO_2RR 매질로 각광받지만, Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 이온에 의한 전극 표면 침전물 형성이 촉매 성능 저하의 주요 걸림돌로 작용한다. 본 연구에서는 전해질의 산성화를 통해 이러한 침전 문제를 효과적으로 완화할 수 있는 접근법을 제안한다. 질소 도핑 탄소(N/C) 촉매는 $KHCO_3$ 전해질 환경에서 -1.1 V (vs. RHE) 기준, 80% 이상의 패러데이 효율을 달성하였으며, 모의 해수 산성 전해질 조건에서도 -1.3 V (vs. RHE) 기준, 40% 이상의 CO 패러데이 효율을 유지하였다. 이를 기반으로 금속 종을 도입한 M(금속)–N/C 촉매로 확장함으로써 해수 전해질 환경에서도 높은 선택성과 안정성을 구현할 가능성을 모색하였다. 본 연구에서 제안된 접근법은 해수 기반 eCO_2RR의 병목인 이온 침전 문제를 해결함과 동시

에, 단순하고 확장성 있는 합성 공정을 갖춘 고활성 촉매 설계의 방향성을 제시하여, 장기적으로 지속가능한 CO_2 자원화 기술의 실용화에 기여할 수 있다.

[P26B-17]

Real-time actuated thermochromic display using pressure sensor array: Kim Gyuwon, Shim wooyoung*(Yonsei university)

Keywords: Thermochromic display, Resistive pressure sensor

Interactive response upon external pressure such as touching is essential for human-machine interface devices. This function is usually achieved by the combination of sensor, processor and display. This configuration, however, is bulk and expensive to be adopt tiny application such as IOT device and e-skin. Here, we introduced visually pressure-mappable touch device using thermochromic panel and resistive pressure sensor. In this study, we designed microstructured PDMS chain as resistive pressure sensor with high spatial sensitivity and the multilayer PDMS composite for display and heater made by various micro- and nano particles. By combining them, resistive response of device can be converted to visual readout by heat as medium. In order to show pressure mapping capability, we demonstrated pressure dependent dot writing and 3D force touch note that suggests potential uses as future electronics.

[P26B-18] Canceled

Spark-reducing graphene oxide sheets were incorporated to enhance the liquid Na/BASE interface: sukwoo kang, wooyoung shim*(Yonsei Univ.)

Keywords: 2D materials, Na battery, reduced graphene oxide

Sodium/β”-alumina (BASE) cell has been recognized as effective energy storage device because of its high specific energy, high efficiency of charge/discharge and long cycle life. However, upward temperatures are required for proper liquid Na wetting on solid electrolyte, BASE, delaying the realization of low-temperature NBBs. Herein, we report a new approach for achieving high-performance low-temperature Na-BASE battery via the incorporation of sodiophilic sparked reduced graphene oxide (rGO) layers that exhibit complete liquid-Na wetting. We insert a layered sparked rGO film sandwiched between the anode and the solid electrolyte. Spark reaction induces reduction and expanding of interlayer gaps of GO sheets. Liquid sodium can infuse into the nano and microscale gaps in sparked rGO and rapidly form the Sodium/BASE interface due to the high affinity between Na and residual oxygen-functional group of the rGO and capillary force. These characteristics give rise to stable cycling with low overpotential of Na-BASE batteries.

[P26B-19]

Sequential infiltration synthesis**를 활용한 전자빔 레지스트 설계**: 함지웅, 고민경, 김영헌, 전나리*(충남대학교)

Keywords: 전자빔 레지스트, Indium oxide, Gallium oxide, poly(methyl methacrylate)

본 연구에서는 순차적 침투 합성을 활용해 poly(methyl methacrylate) (PMMA) 박막 내부로 기상의 전구체를 침투시켜 금속 산화물을 합성했으며, 전자빔 리소그래피 연구에 활용하기 위한 유무기 복합박막으로 활용하였다. Trimethylindium, trimethylgallium, water 및 ethylene gylcol을 사용해 여러 조합의 PMMA 기반 복합박막을 합성했으며, 각각에 대한 전자빔 레지스트로서의 물성을 체계적으로 평가하였다. 모든 PMMA 기반 복합박막은 기존의 유기박막에 비해 감도가 향상되는 결과를 보였을 뿐만 아니라, 30 nm 이하의 미세 선폭까지 구현할 수 있었다. μ-XPS and μ-Raman 분석을 통해 SIS 공정 이후 사슬 절단 반응이 기존 유기박막에 비해 원활히 일어남과 동시에, 사슬간 가교 반응에 필요한 전자빔 광량을 낮추는 결과로 이어지며 감도를 향상시켰음을 알 수 있었다. 투과전자현미경 및 주사전자현미경을 통한 분석에서는 선형 미세 패턴의 선폭 거칠기, 선 가장자리 거칠기가 기존의 PMMA 박막에 비해 증가하지 않았을 뿐만 아니라, 선형 패턴 내 존재하는 In 원자들이 원자단위 수준에서 균일하게 분포하는 것을 확인했다. 최종적으로, 일련의 분석결과로부터 얻은 데이터를 통해 PMMA 기반 복합박막 내 금속 산화물이 사슬간 가교 반응의 활성자리 역할을 할 수 있다는 가설적 모델을 제시하였다.

[P26B-20]

A Facile Approach for Synthesizing Nitrogen-Doped Porous Carbon Nanostructures Using Ionic Liquids: Gupta Radha(Nstitute for Basic Science (IBS)), Kim Dongwoo, Kim Minhyeok(Nstitute for Basic Science (IBS), Department of Chemistry, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Seong Won Kyung (Nstitute for Basic Science (IBS)), Lee Sun Hwa*, Ruoff Rodney S. *(Nstitute for Basic Science (IBS), Department of Chemistry, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))

Keywords: Electrochemical deposition, Cu (111), Ionic Liquid, N-doped Porous Carbon

We report a facile electrochemical deposition approach for synthesizing nitrogen-doped porous carbon nanostructures. This method utilizes the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium dicyanamide ([EMIM][DCA]) as both the carbon precursor and the electrolyte. Electrochemical deposition was performed at 250 °C, where the carbon nanostructures were deposited onto a copper cathode through the thermal decomposition and electrochemical reduction of the ionic liquid. We investigated how the applied potential, deposition time, and temperature influenced the morphology of the resulting carbon structures. This approach offers a mild and straightforward synthesis route for creating nitrogen-doped carbon materials. These materials show promise for use as metal-free catalysts and porous scaffolds in various applications .

[P26B-21]
Size-dependent photodynamic/photothermal antibacterial activity of copper sulfide nanoparticles and their applications: Jeon Hee Yeon, Jeong Hyun Kim (Seoul National University of Science and Technology), Young-In Lee *(Seoul National University of Science and Technology, The Institute of Powder Technology)
Keywords: CuS nanoparticles, antibacterial properties, size-dependent, photodynamic therapy (PDT), photothermal therapy (PTT)

Microbial infections cause a significant threat to public health worldwide. Antibiotics have been the primary tool for the treatment of bacterial infections during the past several decades. However, the effect of antibiotics is gradually decreasing as bacterial resistance spreads due to excessive use and misuse. The limitations of conventional antibiotic-based strategies have driven the development of nanomaterial-based antimicrobial approaches. Representative mechanisms of antimicrobial activity based on nanomaterials include physical interactions, ion leaching/dissolution, and oxidative stress induced by reactive oxygen species (ROS). These three mechanisms act not independently but rather in a complementary manner, producing synergistic effects. Their efficacy is influenced by particle size, with the effects being particularly evident in the case of nanoparticles. Meanwhile, exposure to light expands the antimicrobial mechanisms of nanomaterials to include photodynamic therapy (PDT) and photothermal therapy (PTT). PDT involves the light-induced excitation of photosensitizers to generate ROS, whereas PTT converts light energy absorbed by nanomaterials into heat, causing thermal damage to bacterial cell structures. These two mechanisms often work complementarily rather than independently to maximize antimicrobial efficacy. For example, single-mode PTT has limitations, as it requires a high-power light source and prolonged irradiation, which can potentially cause damage to the surroundings. Photocatalytic nanomaterials such as titanium dioxide (TiO_2), silver (Ag), copper oxide (CuO), zinc oxide (ZnO), and copper sulfide (CuS) have been extensively studied with these mechanisms. However, some materials have limited light absorption due to their wide band gaps, are vulnerable to photocorrosion and oxidation state changes, and sometimes lack photothermal properties. Copper sulfide ($Cu_{2-x}S$) nanoparticles are well known for their ability to modulate local surface plasmon resonance (LSPR) in the near-infrared (NIR) region by controlling the chemical composition parameter “x”, and have attracted attention as excellent photothermal materials. Among these, covellite (CuS), a copper-deficient p-type semiconductor, exhibits a low bandgap (~2.2 eV) and a high free carrier concentration, resulting in strong NIR absorption and outstanding photothermal conversion efficiency. The high temperatures generated by the photothermal properties can not only induce bacterial death through thermal effects but also promote the diffusion of released copper ions, thereby expanding the range of antibacterial activity. In addition, CuS can generate large amounts of reactive oxygen species (ROS) through photodynamic activity, and it possesses high stability and biocompatibility. Therefore, CuS nanoparticles are considered a promising material capable of maximizing antibacterial performance by inducing direct bacterial destruction through LSPR-mediated photothermal effects while simultaneously promoting ROS generation. As previously mentioned, nanoscale materials are essential for maximizing the antibacterial effects of PTT and PDT. Therefore, in this study, we systematically evaluated the antibacterial performance of CuS nanoparticles with various particle sizes, focusing on elucidating the correlation between particle size and the synergistic effects of PDT and PTT. This study provides insights into the optimization of CuS nanoparticles under both infrared irradiation and dark conditions by modulating their photothermal and photocatalytic properties according to particle size, offering a potential alternative to conventional antibiotics.

[P26B-22]
Co-deposition of Carbon and Nitrogen for Well-Ordered N-Doped Carbon Nanowalls (CNWs) on Cu(111) via Molten Salt Electrochemistry: Kim Dongwoo, Minhyeok Kim(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Won Kyung Seong(Nstitute for Basic Science (IBS)), Rodney S. Ruoff*, Sun Hwa Lee*(Nstitute for Basic Science (IBS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))
Keywords: Carbon nanowalls, Cu(111) foil, electrochemistry, nitrogen doping, ordered structure

We present a co-deposition of carbon and nitrogen for synthesizing well-ordered nitrogen-doped carbon nanowalls (CNWs) on Cu(111) foil via molten salt electrolysis, in which melamine served as both carbon and nitrogen source along with Li2CO3 as the primary carbon source. Key to successful N-doped CNW synthesis is the presence of a protective Cu2O layer on the Cu(111) surface, which prevents undesirable Cu oxidation by melamine while preserving the substrate's intrinsic atomic steps essential for vertical nanowall growth. This is different compared to optimized condition for CNWs synthesis without melamine, removed Cu2O layer under hydrogen flow. The resulting N-doped CNWs exhibit approximately 4 atomic percent nitrogen contents with characteristic morphology of 60-degree wall angles, mirroring the underlying Cu(111) slip directions. The growth is highly selective for the Cu(111) facet. Notably, unlike many CNW growth methods based on chemical vapor deposition (CVD), our technique readily yields highly ordered, N-doped CNWs by bottom-up approach. Current efforts are directed toward optimizing N-doped CNW synthesis over 1 cm2 and elucidating the nitrogen incorporation mechanism. We appreciate support from the Institute for Basic Science (IBS-R019-D1).

[P26B-23] Canceled
전이금속 도핑을 통한 이종 바나듐계 MAX 상 합성 및 MXene 제조 공정 개선: 이도연, 송재민, 양준열, 이정연, 김은채, 장민서, 권한중*(전북대학교)
Keywords: MAX, MXene, 금속도핑, 이종금속맥스, 마일드에칭

MAX 상은 전이 금속(M), A족 원소(A), 비금속 원소(X)로 구성된 Mn+1AXn (n=1, 2, 3) 형태의 세라믹 화합물로, 전이 금속이 제공하는 우수한 전기 전도성과 강한 공유 결합으로 인한 내열성·내마모성을 동시에 지닌 독특한 소재이다. 특히, 바나듐 기반 MXene은 바나듐 원소가 여러 산화 상태를 가질 수 있고 전기화학적 반응성이 높아 배터리 전극, 촉매, 바이오센서 등 다양한 응용 분야에서 주목받고 있다. MXene은 M/A/X의 조성비에 따라 (211), (312), (413)형으로 구분되는데, 이 중 (312)형은 구조적 안정성, 이온 확산, 전도성 측면에서 균형을 이루어 에너지 저장 응용에 적합하다. 그러나 바나듐계 MAX 상은 (211)형과 (413)형만 안정적으로 합성 가능하다는 한계가 있으며, 이로 인해 결정 구조 제어에 한계가 존재하며 마일드 에칭 공정을 통한 MXene 제조가 제한적이라는 문제가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 두 가지 전이 금속을 동시에 포함하는 이종 바나듐계 MAX 상을 합성하였다. 이종 바나듐계 MAX는 전이 금속의 종류에 따라 결정 구조 제어 및 마일드 에칭법을 사용한 맥신 제조가 가능하여 바나듐계 MXene의 제조 공정을 개선하고 다양한 응용 분야를 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

P27 : 상변태
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P27-1]
Cu계 합금의 적층결함에너지 및 상 제어를 통한 기계적 특성 최적화: 조가은, 강결찬, 김현영, 장성문, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)
Keywords: 적층결함에너지, 동합금, 고용강화, 동변형, 상 제어

Cu 기반 합금은 stacking fault energy(SFE) 제어를 통해 결함 구조 및 기계적 물성을 효과적으로 조절할 수 있어, 구조용 소재로의 활용 가능성이 주목받고 있다. 본 연구에서는 SFE를 효과적으로 낮추는 대표 첨가 원소인 Ga와 Si에 주목하여, Cu–Ga 및 Cu–Ga–Si 계 합금을 설계하고 상 구조 및 기계적 특성 간의 상관관계를 분석하였다. Cu–Ga 이원계 합금에서는 Ga 함량 증가에 따라 연신율이 점진적으로 향상되었으며, 특히 dual-phase 구조를 갖는 Cu–17Ga 조성에서 예외적으로 높은 연성이 확보되었다. TEM 분석 결과, 해당 시편에서는 stacking fault tetrahedron(SFT)이 형성되었고, 제2상과 기지상 간의 동변형 거동 또한 확인되어, 상 경계에서의 응력 집중이 완화되어 연성 유지에 기여한 것으로 판단된다. 동일 조성의 시편에 고용화 열처리를 수행하여 단상 과포화 고용체로 전환했을 때, 석출상 제거로 인한 항복강도 저하가 일부 관찰되었으나, 낮은 SFE 유지 및 고용 강화 효과에 따라 연신율은 약 23% 증가하였다. 이러한 결과를 바탕으로 Cu–Ga–Si 삼원계 합금을 설계하여 Si 첨가 효과를 추가로 분석하였다. 단상 구조를 유지한 Si 1 at.% 조성에서는 연성이 향상되었으며, 제2상이 형성된 3–5 at.% 조성에서는 항복강도 향상과 연성 감소가 동반되었다. 본 연구는 첨가 원소 조절과 상 구조 제어를 통해 Cu 기반 합금에서 강도–연성 균형 확보가 가능함을 실험적으로 입증하였고, 고기능 구조재 설계를 위한 기초 자료를 제공한다.

[P27-2]
국소 icosahedral ordering에 따른 Zr계 비정질 합금의 특성 변화: 이명준, 유근희(서울대학교), 류욱하(국립금오공과대학교), 박은수*(서울대학교)
Keywords: 비정질 금속, icosahedral ordering, pop-in

비정질 합금의 물성을 좌우하는 요소는 조성, 냉각 속도, free volume의 분포 등 다양한 것으로 알려져 있다. 그러한 요소들은 비정질 합금의 structural heterogeneity에 영향을 줌으로써 기계적 물성이나 열물성에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. Structural heterogeneity를 조정하는 전략에는 local ordering을 조정하는 방법이 있는데, 비정질 합금 내에 icosahedral ordering을 강화하는 경우 icosahedral ordering은 상대적으로 조밀하게 밀집된 구조를 가지고 있기에 비정질 구조 상에서 density fluctuation에 영향을 주는 것으로 structural heterogeneity에 영향을 준다. 본 연구에서는 Zr-Cu-Ni-Al 4원계 비정질 합금에 TiNbTaMo 고엔트로피합금을 2 at.% 소량 첨가하는 것으로 icosahedral ordering을 강화시킨 뒤, DSC 분석과 나노인덴테이션을 통하여 그러한 ordering이 비정질 합금의 특성에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다. 또한, 나노인덴테이션을 통한 first pop-in 분석과 고에너지 X선 산란, EXAFS 분석을 통하여 icosahedral ordering이 강화됨으로써 나타나는 구조 차이를 분석하였다. 이번 연구가 비정질 합금 내 ordering 강화를 통한 물성 제어 전략을 확립하는 토대가 되어줄 것으로 기대된다.

[P27-3]
합금 설계 기반 Cu-Al-Zn-Sn 합금의 적층 결함 에너지 제어를 통한 기계적 특성 거동 연구: 강결찬, 조가은, 장성문, 김현영, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)
Keywords: 적층 결함 에너지, 소성변형, 변형 쌍정, 동적재결정화

Cu–Al–Zn–Sn 합금은 합금설계를 통해 금색을 구현할 수 있으며, 현재 유로화 주화에 사용되는 대표적인 상용 합금으로 잘 알려져 있다. 그러나 이들 합금의 기계적 특성은 화폐 이외의 다양한 산업적 응용으로 확대되기에는 한계가 존재하며, 이러한 한계를 극복하기 위해 Cu 기반 합금의 기계적 성질 개선을 목표로 한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 구리 합금의 적층결함에너지(SFE)는 Al, Zn, Sn, Ni 등의 합금 원소 조성을 조절함으로써 효과적으로 제어할 수 있음이 보고된 바 있다. SFE가 감소할수록 주요 소성 변형 메커니즘은 변형 쌍정으로 전환되는데, 이는 낮은 SFE가 부분 전위 간의 분리를 증가시켜 합금의 에너지를 안정화시키고 교차활주를 억제함으로써, 소성 변형 과정에서 변형 쌍정이 쉽게 형성되도록 유도하기 때문이다. 이러한 이론적 배경에 기반하여, Cu 기반 합금의 기계적 특성을 제어하기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 본 연구에서는 Cu–Al–Zn–Sn 합금에서 Al과 Zn의 함량 변화를 통해 SFE를 조절하고, 열간 압연을 통해 결함을 유도함으로써 합금의 기계적 특성을 제어하고자 하였다. 특히, 합금 설계에서는 SFE 감소에 큰 영향을 미치는 Al의 함량과 상대적으로 효과가 작은 Zn의 함량을 제어하여 적층 결함 에너지 차이에 의한 특성 거동의 차이점을 확인하고자 하였다. 열간 압연을 통해 높은 밀도의 전위와 변형 쌍정을 유도하여 기계적 성능을 향상시키고자 하였으며, 미세조직 분석과 인장 시험을 통해 SFE가 합금의 기계적 거동에 미치는 영향을 규명하고 특성 변형 메커니즘을 명확히 하고자 하였다.

[P27-4]
Advancing Sharpness with Metallic Glass Blades: Jang Sejin, Kim Moosung, Lee Juneyoung, Yi Seunghoon*(경북대학교)
Keywords: Bulk metallic Glass, Cut test, Blade

High sharpness, strength, and durability are essential for surgical blades to deliver accurate, clean incisions while minimizing tissue

cutting forces. Martensitic stainless steel (MSS) is widely used owing to its moderate hardness (~700 HV) and excellent corrosion resistance; however, as a polycrystalline alloy, MSS suffers grain pull-out at the edge during grinding and cutting, which can introduce waviness on the incision surface. By contrast, bulk metallic glasses (BMGs) formed via rapid quenching possess an amorphous structure with short-range order, enabling high hardness and mitigating edge chipping during cutting. In this study, we assessed BMG blades against MSS blades through cutting-force measurements and post-cut surface examinations. The results demonstrate that BMG blades achieve lower cutting forces and smoother incision surfaces than MSS counterparts, supporting the suitability of BMGs for high-precision surgical applications.

[P27-5]

DC 마그네트론 스퍼터링 기반 타겟 공정 변수에 따른 AlCrFeNi 고엔트로피 합금 코팅의 미세조직 및 기계적 물성 분석: 현명우, 이유진, 서진오, 정민섭, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

Keywords: 스퍼터링 공정, 고엔트로피 합금 코팅, 타겟 공정변수, 미세 구조, 기계적 물성

최근 고엔트로피 합금은 높은 경도와 우수한 내마모성 및 내산화성을 바탕으로 금속 코팅 분야에서 주목받고 있으며, 특히 스퍼터링 공정을 통한 코팅 연구가 활발하게 진행되고 있다. 기존 연구들은 주로 스퍼터링 공정 변수가 코팅 특성에 미치는 영향에 집중해왔으나, 본 연구는 여기서 나아가 코팅의 핵심 원료인 타겟 자체의 제조 공정 변수에 주목하고자 한다. 우리는 선행연구를 통해, 동일한 조성이라도 타겟을 구성하는 분말의 종류에 따라 증착된 코팅의 상과 물성이 달라진다는 사실을 규명한 바 있다. 본 연구는 이러한 선행 연구를 토대로, 동일한 조성을 갖는 AlCrFeNi 고엔트로피 합금의 세가지 타겟 즉, 주조 타겟, 합금분말 타겟과 순수 원소 바탕의 혼합분말 타겟을 사용하여 각 경우에 형성되는 코팅의 특성을 체계적으로 비교하고자 한다. 타겟의 제조 공정 변수는 타겟 내부 원소의 균일한 분포와 미세조직에 직접적인 영향을 미치며, 이는 증착 과정 중 원자들의 확산 거동에 영향을 주어 최종 코팅의 상 형성 거동을 결정할 것으로 예상된다. 따라서 우리는 각 타겟별로 증착된 코팅의 미세조직과 기계적 물성을 비교·분석하고, 코팅의 상 형성 및 미세조직 변화의 원인을 타겟의 차이에서 규명하고자 한다. 실험 방법으로는 공정 변수 조절이 용이한 DC 마그네트론 스퍼터링(DC Magnetron Sputtering) 공정을 이용하여 세가지의 AlCrFeNi 타겟을 Si 웨이퍼 위에 시간 변수에 따라 15, 30, 60분 동안 증착하였다. 이후 형성된 코팅의 미세조직과 기계적 물성을 비교·분석하였다.

[P27-6]

수소 배관용 심리스강관의 템퍼링 온도에 따른 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향: 임성진, 정윤종, 박상민, 송기안*(국립공주대학교, 첨단 분말 소재 부품 센터)

Keywords: Hydrogen Pipeline, Microstructure, Mechanical properties, Slow Strain Rate Test

탄소중립 및 온실가스 감축 목표 달성을 위해 대체 에너지원인 수소에 대한 관심 증가에 따라, 배관 기반 수소 운송 방식이 주목받고 있으며, 이 과정에서 높은 압력과 장기간의 사용 조건을 견딜 수 있는 수소용 강관 소재 개발에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 수소용 강관은 일반적으로 퀜칭과 템퍼링 열처리 공정을 통해 제조되며, 퀜칭은 마르텐사이트 조직 형성과 함께 높은 강도를 부여하지만, 동시에 잔류 응력 및 취성을 유발하는 한계가 존재한다. 이에 따라 템퍼링은 퀜칭 후 발생한 잔류 응력을 완화하고, 미세조직의 불균일성을 제어하는데 중요한 역할을 한다. 템퍼링 온도는 미세조직의 분율, 결정립 크기, 탄화물의 석출 거동 등 미세조직을 제어하여 강도의 저하를 최소화하면서 연성과 인성을 확보하고, 수소취성 저항성을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 심리스 수소 강관을 대상으로 템퍼링 온도의 변화가 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 구체적으로, 퀜칭 처리 후 600ºC, 650ºC의 템퍼링 열처리를 진행하였으며, 주사전자현미경(SEM)과 후방산란전자 회절(EBSD) 분석을 통해 열처리 온도에 따른 미세조직의 차이를 분석하였으며, 상온 인장 시험을 통해 합금의 기계적 물성을 평가하고, 느린 변형속도 인장시험(SSRT, Slow Strain Rate Test)을 통해 수소 환경에서의 기계적 거동 및 수소취성 저항성을 평가하였다. This work was supported by Korea Planning & Evaluation of Industrial Technology (KEIT) funded by Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE, Korea) (RS-2024-00444672). This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), and Ministry of Trade, Industry and Energy ((P0018009).

[P27-7]

Cu-Al 합금의 조성 변화에 따른 상 형성과 기계적·광학적 특성 변화 연구: 김현영, 조가은, 장성문, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교), Jürgen Eckert(Austrian Academy of Sciences & Montanuniversität Leoben)

Keywords: Cu-Al, CIE L*a*b*, 과포화고용체, 고용 강화

구리는 고용체 형성에 따른 전자 구조 변화로 다양한 색상 구현이 가능하나, 낮은 경도로 인해 외장재 적용에는 제약이 있다. 이를 개선하고자 원자 반경 차이(11.7%)에 의한 고용 강화가 기대되는 알루미늄을 첨가하여 Cu-Al 합금을 설계하였다. 한편, 합금 내 금속간 화합물은 높은 강도를 가지지만 단상에 비해 연성이 낮다. 따라서 합금의 단상 영역을 확대하여 균일하고 안정적인 단상 조직 형성을 목표로 한다. 이 과정에서 약 500ºC에서 1시간가량 열처리 후 급냉을 수행하면 상온 고용한도를 넘어서는 과포화 고용체가 형성된다. 이때, 축적된 격자 변형(strain field)과 상 제어는 기계적 특성 향상에 기여한다. 기존 Cu계 합금(Zn, Ga, Ge 등)은 조성 증가 시 a* 값이 감소하나, Al은 고용량 첨가 시 a* 값이 증가되는 것으로 보고되어 색 좌표 제어 측면에서 차별성을 갖는다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 조성에 따른 기계적·광학적 특성 변화를 분석하고자 하였다. 3–21 at.% Al 범위의 Cu-Al 합금에 대해 상 분석, 미세조직 관찰, 경도 및 광학 특성 평가를 관찰하였다. 15 at.% 이상에서는 금속간 화합물 형성으로 이중상 조직이 나타났다. 또한, 일부 고용량 조성은 고온 용체화 후 급냉 처리 시 단상 구조 유지가 가능함을 확인하였다. 경도는 15 at.% Al

까지 조성 증가에 비례하여 상승했고, 17 at.% Al 이후부터 경도 값의 증가율이 급격히 높아졌다. 색 좌표(a*, b*) 값은 13 at.% Al까지 a* 감소, b* 증가 경향을 보였으나, 17 at.% Al부터는 a* 증가, b* 감소 경향이 나타났다. ΔE 분석 결과, 단상–이중상 전이 구간에서 ΔE 값이 0.76로 가장 작은 변화 폭을 보였다. 이는 미세조직 전이에 따른 파장 선택적 반사율 변동과 산란 메커니즘 변화에 기인하는 것으로 해석된다. 본 연구는 조성 변화에 따른 Cu–Al 합금의 과포화 고용체 형성이 기계적·광학적 특성 제어에 미치는 영향을 규명하여 합금 설계 측면에서 의미 있는 결과를 제시한다. 이를 통해 구리 기반 합금의 기능성과 심미성을 모두 충족하는 소재 개발에 기여할 것으로 기대된다.

[P27-8]

Cu-X 컬러합금의 변형량 제어를 통한 미세조직 변화 및 기계적광·학적 특성 연구: 장성문, 김기범*, 조가은, 김현영, 강결찬, 박혜진, 홍성환(세종대학교)

Keywords: 컬러 합금, 압연공정

Cu 기반 컬러합금은 전이에너지 조절을 통해 다양한 색상을 구현할 수 있어 심미적 응용 가능성이 높다. 그러나 낮은 강도로 인해 구조재나 외장재로의 활용에는 여러움이 있다. 이러한 한계를 극복하고자 컬러합금을 압연처리 하여 기계적, 광학적 물성을 개선하였다. 압연공정의 특성상 기지(matrix)에 금속간 화합물이 존재할 경우 fracture point를 제공하여 국부 파손과 가공성 저하를 초래하게 된다. 따라서 본 실험에서는 압연을 위해 금속간 화합물의 형성을 억제하고 단상 α-Cu 구조를 확보하기 위해 조성설계 및 열처리 온도를 설정하였다. 상태도상 α-Cu(FCC) 단상 존재 영역이 넓고, 용체화 처리를 통해 균일한 α-Cu 단상 형성이 가능한 Ga, Al, Ge를 첨가하여 Cu–X 합금을 설계하였다. 대상 조성은 $Cu_{100-x}Ge_x$(x = 5, 10), $Cu_{100-x}Ga_x$(x = 5, 10, 17), $Cu_{100-x}Al_x$(x = 5, 10)이며, 변형량 제어가 미세조직, 기계적 특성, 광학적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 미세조직 분석 결과, Al, Ga 대비 Ge 합금군이 결정립의 크기가 2배 이상 작아진 모습을 확인할 수 있었다. 압연 시 미세조직은 모든 합금군에서 입도 미세화가 관찰되었으며, Ge합금에서 그 효과가 더욱 크게 나타났다. 이는 주조 단계에서 합금화 시 Ge원소가 타 원소 대비 냉각속도가 더 빨라 조밀한 결정립 형성에 도움을 주었고, 압연 시 전위 이동의 방해 site로 작용하면서 발생한 것으로 해석된다. 경도(Hardness) 분석 결과Ge 합금은 동일 첨가량의 Al 및 Ga 합금 대비 약 20% 정도 더 높았으며, 냉간 압연 시 Ge 합금이 약 30%가량 더 높은 강도를 나타냈다. 광학적 분석에서는 Ge과 Al 합금이 첨가량 증가에 따라 Lab* 좌표계의 a* 와 b* 값이 모두 감소하였고, Ga 합금은 a* 값이 감소하고 b* 값이 증가하였다. 압연 전후 색차(ΔE)는 모든 합금에서 낮은 수준을 유지해, 기계적 성능 향상과 동시에 조성 고유의 색상 특성을 안정적으로 유지할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 Cu 기반 컬러합금에서 조성 설계, 상 제어, 변형량 조절을 통해 강도 향상과 색상 안정성을 동시에 확보할 수 있음을 입증하였다. 이러한 접근은 기능성과 심미성을 요구하는 응용 분야에 적용 가능할 것으로 예상한다.

[P27-9]

Electrochemical Performance Enhancement by Phosphorus Content Variation: LEE JUNEYOUING, Moosung Kim, Sejin Jang, Yeongmin Lim, Seonghoon Yi*(Kyungpook National University)

Keywords: amorphous, catalysts

Green hydrogen production through water electrolysis has emerged as a key strategy for sustainable energy technologies. Although platinum (Pt) exhibits excellent catalytic activity, its limited availability and high cost restrict large-scale applications. As a promising alternative, we developed Fe-based amorphous ribbons and evaluated their electrochemical characteristics. The study demonstrates that compositional adjustment enhances catalytic performance by increasing the density of active surface sites. These findings indicate that Fe-based amorphous alloys could provide an efficient and economically viable substitute for Pt-based catalysts. The fabrication process involved designing alloy compositions based on glass-forming ability (GFA) and electrochemical properties, and mechanical durability. The alloys were synthesized using arc melting, followed by rapid quenching via the melt-spinning process to obtain amorphous ribbons. The structural and thermal properties of the ribbons were analyzed using X-ray diffraction (XRD) and simultaneous differential thermal analysis. Furthermore, we examined the microstructural changes of the ribbons before and after electrochemical testing, focusing on how compositional variations affect surface morphology and structural stability during catalytic reactions.

[P27-10]

Microstructural Characterization of Fe-rich Precipitates in Lead-Free Brass Alloys: Lee Jieun(Seoul National University), Lee Siyeon(WONJIN Metal), Park Eunsoo*(Seoul National University)

Keywords: Lead-Free Brass, Precipitate, Microstructure, Mechanical property, Machinability

Brass alloys are widely used in applications such as water and gas piping systems and decorative components due to their excellent ductility, corrosion resistance, hardness, and wear resistance. Accordingly, high machinability is an essential property in these applications. While leaded brass alloys exhibit superior machinability, increasing concerns about the toxicity of lead have led to global restrictions on its use, prompting extensive research into lead-free alternatives. Bismuth-containing brass alloys have emerged as a potential substitute; however, their low interfacial energy causes bismuth to precipitate extensively along grain boundaries in a film-like form, which often impairs machinability by inducing premature fracture during cutting. In this study, a multi-functional approach was taken by introducing Fe, Cr, and Ni elements—known to form secondary phase precipitates instead of dissolving into the brass matrix. These elements contribute to improvements in mechanical strength, corrosion resistance, and machinability. Additionally, their relatively

low cost and availability in scrap form offer environmental and economic benefits through recyclability. To evaluate the effects of these alloying elements, lead-free brass (Cu-Zn), leaded brass (Cu-Zn-Pb), and stainless-steel-added brass alloys were fabricated via induction melting. Post-processing heat treatments were conducted under various conditions, and subsequent analyses were performed using Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD), as well as mechanical testing (hardness, tensile strength) and machinability evaluations. This study aims to elucidate the relationships between precipitate composition, microstructure, and the resulting mechanical performance and machinability. The findings are expected to provide a guideline for the design of environmentally friendly lead-free brass alloys that overcome the traditional trade-off between strength and machinability.

[P27-11]

TC-Python 기반 dual-phase Fe-Mn-Cr-Ni-Si 계 형상기억합금 설계: 이승찬, 오규민, 최정원, 정성원, 한재준, 김도형*(영남대학교)

Keywords: 철계형상기억합금, DUAL-PHASE, 회복응력, 열역학

Fe-Mn-Cr-Si-Ni 계 형상기억합금은 오스테나이트(γ)에 응력을 가하면 마르텐사이트(ε)로 상변태 하는 응력 유기 마르텐사이트 변태를 통해 소성변형을 수용하고 변태 된 마르텐사이트에 다시 열을 가하면 오스테나이트로 역변태하면서 원래 형상이 복원되는 합금으로 Ni-Ti 기반 형상기억합금과 비교해서 경제성이 매우 뛰어나며 높은 회복응력을 이용하여 대형 토목구조물의 사전긴장 (pre-stressing)으로의 응용 가능성이 주목받고 있다. 하지만 오스테나이트 기반 형상 기억 합금의 경우 역변태 시 내부에 축적되는 회복응력에 의한 재 마르텐사이트 화가 일어나 의도한 만큼의 회복 응력을 얻을 수 없다. 회복응력은 회복을 야기하는 상변태 양보다 상변태 응력 또는 재료의 항복강도에 더 크게 의존하기 때문에 높은 회복응력을 얻기 위해서는 재료의 항복강도를 높이는 것이 중요하다. 뿐만 아니라 토목구조물의 안정성을 확보하기 위해서도 소재의 항복강도를 높이는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 항복강도가 높은 체심 입방 구조를 갖는 페라이트 상을 도입하여 dual-phase structure를 구현함으로써 형상기억특성을 나타내면서도 항복강도가 높은 새로운 개념의 철계-형상 기억 합금을 개발하고자 하였다. 먼저 상용 열역학 소프트웨어인 Thermo-calc 와 TC-Python 시스템을 이용하여 페라이트와 오스테나이트가 공존할 수 있는 조성 범위를 탐색하는 자동화 계산 모델을 구축하여 후보 조성을 탐색하였다. 추가적으로 후보 조성군에서의 오스테나이트 상 조성을 추출한 후 문헌에 보고되고 있는 철계-형상 기억 합금의 적층 결함 에너지와 비교하여 형상 기억 특성을 나타낼 수 있는 후보 조성군을 탐색하였다. 본 연구를 통해 주요 페라이트 및 오스테나이트 안정화 원소인 Mn과 Cr이 합금을 구성하는 상 분율 및 적층 결함 에너지에 미치는 영향을 파악할 수 있었으며 추후 실험을 통해 회복응력, 항복강도 및 형상 복원율을 측정하여 합금 탐색 모델을 검증할 예정이다.

[P27-12]

Fe-Based High-B, High-Gd Amorphous Sintered Materials for Radiation Shielding Structures: HYESEONG CHOI, JEONGKYU KIM, SEONGHOON YI*(Kyungpook National Univ.)

Keywords: Amorphous, Sintering, Neutron shielding

The safe management of radioactive waste requires the development of reliable neutron shielding materials. Gadolinium, particularly the stable isotope ^{157}Gd, is notable for its exceptionally high thermal neutron capture cross-section of 254, 000 barns, about 66 times greater than that of ^{10}B (3, 840 barns). When combined with boron, gadolinium offers unique advantages for advanced neutron shielding applications. In this study, Fe-based amorphous powders with high B and Gd were consolidated into high-density sintered materials using hot pressing. Thermal behavior was examined by DSC, while XRD and SEM were employed to investigate phase evolution and microstructure. Density measurements and mechanical property evaluations were also conducted to assess the structural stability of the sintered materials. The findings provide fundamental insights into the processing and characteristics of Fe-based amorphous sintered materials containing high B and Gd. These results suggest their potential as candidate materials for advanced thermal neutron shielding systems, particularly in nuclear waste storage and radiation protection structures.

[P27-13]

Oxidation mechanism of the T2 phase in Mo-Si-B alloy: LEE WONHYOUNG, PARK GYUMIN, KIM SE HO*(Korea university)

Keywords: Oxidation, APT, aerospace, boron

For a considerable period, Ni-based superalloys have been the predominant materials in the aerospace industry. However, these alloys are operated nearing their melting points. To overcome this constraint, Mo-Si-B alloys have attracted significant attention due to their high melting points, reaching approximately 2100 ºC, and their high-temperature capabilities. Among the various phases present in Mo-Si-B alloys, the T2 phase (Mo_5SiB_2) is particularly remarkably for exhibiting high-temperature stability and oxidation resistance. Nevertheless, the precise oxidation mechanism of the T2 phase remains unclarified. Accordingly, this study presents a comprehensive characterization of the T2 phase under various oxidation conditions, in order to elucidate the fundamental mechanisms behind the formation of its passivation layer and its oxidation resistance.

[P27-14]

Cr 의 첨가가 L-DED 를 이용하여 적층제조된 Fe-Mn-Al-Ni 계 초탄성합금의 미세조직 및 초탄성특성에 미치는 영향: 백하은(영남대학교 신소재공학과), 박지영, 임진수량(부산대학교), 정수현, 김규범, 김도형*(영남대학교 신소재공학과)

Keywords: 적층제조, DED, 초탄성, 상변태

Fe-Mn-Ni-Al계 형상기억합금은 재료에 변형을 가한 후 응력을 제거하는 즉시 원래의 형상으로 복원되는 초탄성 (superelasticity)를 나타내는 철계 합금이다. 이러한 철계-초탄성 합금은 기존 Ni-Ti 계 형상기억합금과 비교하면, 저렴한 원소재 가격과 우수한 기계적 특성을 나타내어 대형 토목건축물의 진동감쇄 (damping) 구조물로써의 응용이 기대된다. 한편 최근 Fe-Mn-Al-Ni기반의 철계-초탄성 합금 분말을 이용한 적층제조에 대한 연구들이 시도되고 있으며, 레이저 파우더베드 퓨전(laser powder bed fusion, L-PBF)이나 레이저 직접 에너지 적층(Laser Direct Energy Deposition, L-DED) 공정 등 다양한 적층제조공정에서 제조된 철계-초탄성 합금에 대한 특성이 보고되고 있다. 하지만 대부분의 연구가 Fe-Mn-Al-Ni 4원계 합금에 대한 연구에 머물러 있으며 추가적인 합금원소의 첨가가 적층제조 철계-초탄성 합금에 미치는 영향에 대해서는 보고되지 않고 있다. 본 연구에서는 Cr 함량 변화가 미세구조와 초탄성 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 시편은 레이저 직접 에너지 적층(Laser Direct Energy Deposition, L-DED) 공정을 이용하여 제작하였다. 본 연구에서는 Fe-42Mn-16.5Al-6.5Ni (at.%) 조성을 기반으로 하여 Cr 을3.5 및 7 at.% 첨가한 시편을 적층제조하였다. 광학현미경 및 주사전자현미경을 이용하여 미세조직을 평가하고 상온에서 반복압축실험 초탄성 특성을 평가하였다. 분석 결과 Cr 함량이 7 at%까지 증가할수록 더 높은 초탄성이 나타나는 것을 확인하였으며 상변태를 위한 임계응력 및 유동응력이 전체적으로 증가하는 것을 확인하였다. 본 결과물은 2025년도 경상북도 지역혁신중심 대학지원체계 (RISE)-(지역성장 혁신LAB)의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

[P27-15]

Understanding the hysteresis between TSSD and TSSP in zirconium hydrides: A phasefield study on the role of interfacial energy: Ji Sanghyun, Kunok Chang*(경희대학교)

Keywords: Zirconium, Zirconium hydride, Phase field

During nuclear reactor operation, hydrogen absorbed into zirconium alloy cladding may precipitate as hydrides, degrading the mechanical integrity of the cladding. The precipitation and dissolution of hydrides exhibit a well-known hysteresis between the terminal solid solubility for dissolution (TSSD) and for precipitation (TSSP), yet the mechanistic origin of this gap remains unresolved. In this study, we employ phase-field simulations to directly evaluate TSSD and TSSP and quantitatively assess the influence of interfacial energy on this hysteresis. The simulation results are further compared with thermodynamic solubility limits, enabling a direct evaluation of the role of interfacial properties in determining hydride precipitation behavior.

[P27-16]

고 Cr NiCrAl 합금의 미세조직에 미치는 소둔 및 시효 온도의 영향: 윤성민, 김가영, 유채은, 이제인*(부산대학교)

Keywords: 배기밸브 스핀들, 라멜라 구조, 시효, 석출

고 Cr NiCrAl 합금은 고온에서의 우수한 내부식성과 높은 인장 강도를 갖고 있기 때문에 연소실 내 배기가스를 배출시키는 배기밸브 스핀들에 사용하기 적합한 소재이다. 해당 합금의 높은 인장 강도는 fcc의 γ 상과 bcc의 α 상으로 구성된 라멜라 구조를 형성함으로써 확보할 수 있다. 본 연구에서는 아크 멜팅을 통해 Ni-38Cr-3.8Al 합금을 주조하였고, 1200 ºC, 8 h의 균질화 열처리 후에 냉간 압연을 수행하여 판재로 제조하였다. 판재 시편을 1000 – 1200 ºC에서 용체화처리한 후, γ-Ni 상의 재결정 및 α-Cr 입자의 크기, 분율을 분석하였다. γ-Ni 상으로 용체화처리된 시편은 600 – 800 ºC에서 시효처리되어 시효 온도에 따른 미세조직의 변화를 분석하였다. 용체화 및 시효처리된 NiCrAl 합금의 기계적 특성은 비커스 경도를 측정하여 평가하였다. 시효 온도가 증가함에 따라 γ/α 라멜라의 두께와 간격이 모두 증가하여, 600 ºC에서 시효된 시편에서 가장 높은 값의 경도 값이 나타났다. 하지만 시효 온도가 800 ºC이상으로 증가하는 경우, γ/α 라멜라 구조가 소멸하여 γ 재결정이 부분적으로 나타남에 따라 경도 값이 감소하는 경향을 확인하였다.

[P27-17]

Ferrofluid fabrication from steelmaking wastes and their phase transformation behavior: Park Gyumin, Lee Chang-Gi(Korea University), Kim Se-Ho*(Korea University, Max Planck Institute for Sustainable Materials)

Keywords: Mill scale, Upcycling, Ferrofluids, Iron oxide nanoparticles

Mill scale, a primary byproduct of steelmaking, presents recycling challenges due to the inefficiencies and complexities of conventional methods of reducing mill scale, which demand high energy input of around 850-1200ºC and additional reductants. We introduce two feasible and cost-effective recycling approaches via hydrometallurgy and high-energy ball milling, which can respectively be considered as bottom-up and top-down. Despite the heterogeneous composition of mill scale, both approaches allow for efficient transformation of wüstite and hematite into magnetically active magnetite nanoparticles. This integrated upcycling strategy not only valorizes steelmaking waste but also enables scalable production of ferrofluids, expanding potential applications in magnetic technologies.

[P27-18]

DC 마그네트론 스퍼터링에서 가스 유량 제어가 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 코팅의 상 및 미세조직에 미치는 영향 : 이유진, 서진오, 현명우, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)

Keywords: 스퍼터링 공정, 고엔트로피 합금, 공정 변수, 미세조직, 결정구조, 기계적 물성

최근 고엔트로피 합금은 높은 경도와 우수한 내마모성 및 내산화성을 바탕으로 금속 코팅 분야에서 주목받고 있다. 그중 FCC 구

조를 갖는 CoCrFeMnNi(Cantor) 합금은 낮은 적층 결함 에너지로 인해 전위 분해가 용이하며, 변형 과정에서 나노쌍정이 형성되기 쉬운 특성을 가진다. 이러한 미세조직적 특성은 높은 연성과 향상된 기계적 강도를 동시에 확보하게 하며, CoCrFeMnNi 기반 코팅은 기존 합금 대비 우수한 기계적 물성을 제공한다. DC 마그네트론 스퍼터링을 이용한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 코팅의 공정 최적화 선행연구에서 가스 유량 변화에 따라 나노결정질에서 FCC 결정질 구조로 전이됨을 확인하였다. 이는 가스 유량이 증착 과정에서의 입사 원자 에너지와 표면 확산 거동을 크게 변화시켜, 결정 핵 형성과 성장 속도에 직접적인 영향을 미치기 때문으로 해석된다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 가스 유량을 주요 변수로 설정하여 코팅층의 상 변화, 미세조직 거동 및 기계적 물성을 분석하고, 이를 통해 가스 유량 변화와 미세조직 및 기계적 물성 간의 상관관계를 규명하고자 한다. 코팅층의 결정구조 및 상 분석을 위해 X선 회절분석(XRD, X-ray diffractometer)을 실시하였으며, 미세 구조를 분석하기 위해 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM, field emission scanning electron microscope)과 투과전자현미경(TEM, transmission electron microscope)을 사용하였다. 코팅층의 화학적 조성을 분석하기 위해 EDS(Energy dispersive X-ray spectroscopy)분석을 실시하였으며, 기계적 특성을 측정하기 위해 나노압입시험(Nano-indentation test)분석을 실시하였다.

[P27-19]

AB_2계 수소저장합금의 라베스상 형성 거동 및 미세구조 분석: 이소영(서울대학교), 박형기(한국생산기술연구원), 박은수*(서울대학교)

Keywords: AB_2계 수소저장합금, 합금 설계, 라베스 상

AB_2계 수소저장합금은 높은 수소 저장 용량과 우수한 열역학적 특성으로 인해 차세대 에너지 저장 소재로 주목받고 있다. 수소저장합금은 상용화를 위해 평탄압을 유지하는 것이 중요하다. 합금이 다상 구조를 갖게 되면 상 간의 수소 용해도 차이로 인해 평탑압 구간이 일정하지 않으므로, 단상으로의 제어가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 AB_2계 합금에서 라베스상(Laves phase)의 형성 거동을 규명하고, 이에 따른 미세구조 및 상 변화를 분석하였다. 합금 조성과 열처리 조건에 따른 상 안정성 및 결정구조 변화를 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절(XRD) 분석을 통해 확인하였으며, 각 원소의 역할과 상 분율 변화가 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 본 연구를 통해 확보된 조성-상 안정성 데이터는 다원계 AB_2계 합금 설계에 기초 자료로 활용될 수 있으며, 나아가 고성능 수소저장합금 개발을 위한 전략적 지침을 제공할 것으로 기대된다.

[P27-20]

Cu-Ti 합금의 부식 거동에 미치는 미량 합금 원소와 시효 열처리의 영향: 권지민, 이정구*, 최재훈, 김연서, 정동습, 이소영(울산대학교), 박승훈((주)풍산)

Keywords: 구리 합금, 부식 거동, 시효 열처리

Ti를 함유하는 시효 경화형 Cu-Ti 합금은 전자 기기용 정밀 부품, 선박 내 연결 베어링, 기어 등과 같은 다양한 응용 분야에서 초고강도 전도성 재료로서 큰 주목을 받고 있으며, 기존의 값비싸고 독성이 강한 Cu-Be 합금을 대체하는 핵심 소재로 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 선박과 같이 염화물 이온이 풍부한 해수 환경에서 구리 합금이 널리 활용되는 것을 고려할 때, 이러한 Cu-Ti 합금의 부식거동을 조사하고 합리적인 재료 선택을 위한 이론적 근거를 제공하는 것이 필수적이다. 구리 및 그 합금은 염화물 이온을 함유하는 환경에서 부동태화가 효과적으로 이루어지지 않는다는 부식 환경에서의 한계를 가지고 있기 때문에 이를 극복하기 위한 내식성 향상 연구가 요구되고 있으며, 우수한 기계적 특성과 전기 전도도를 얻기 위한 시효 열처리에 따른 합금의 부식 거동 변화에 대한 체계적인 분석이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 Cu-Ti 합금에 미량의 합금 원소(X-Y)를 첨가하여 시효 열처리 전후의 부식 거동을 종합적으로 비교 분석하였다. 부식 거동 분석을 위해 동전위 분극 시험(Potentiodynamic polarization test)을 수행하여 합금별 부식 전위(E_{corr}) 및 부식 전류 밀도(I_{corr})를 측정함으로써 전기화학적 부식 특성을 평가하였다. 또한, 3.5wt.% NaCl 용액에서의 침지 시험(Immersion test)을 통해 일정 시간 동안 시편의 질량 감소량을 정량적으로 측정하여 각 합금의 부식 속도를 비교 분석하였다. 이와 더불어, 주사전자현미경(Scanning electron microscope) 분석을 통해 미량 합금 원소(X-Y)의 첨가와 시효 열처리에 따른 미세조직 변화와 부식 후 표면 형태 및 부식 메커니즘을 규명하였으며, X선 회절(X-ray diffraction) 분석을 통해 미량 합금 원소(X-Y)의 첨가와 시효 열처리에 따른 석출물의 상 변화를 해석하여 관찰된 부식 거동과의 상관관계에 대해 고찰하였다. (본 연구는 산업통상자원부(한국산업기술기획평가원)가 지원하는 소재부품기술개발사업(과제번호 RS-2024-00433560)의 지원으로 수행되었습니다.)

[P27-21]

Influence of Cu Alloying on the Microstructural Evolution and Properties of Structural Aluminum Alloys: Jeong Tae Kim*, Jaeyong Yun, Hanmin Kim(국방과학연구소)

Keywords: 금속, 알루미늄합금, 구조체

The study aimed to analyze the mechanical properties, precipitation strengthening, and microstructure of Al-Ni-Cu alloys to understand their enhanced characteristics. Additionally, the damping behavior was examined using a dynamic mechanical analyzer across a continuous heating temperature range with frequencies from 0.5 to 15 Hz. The experimental results indicate that the Al-Ni eutectic alloy, which exhibits an ultrafine Al3Ni intermetallic fiber-reinforced Al matrix, transitions to a dendritic-ultrafine eutectic composite structure. The Cu-containing alloys exhibit two distinct primary phases: α-Al and Al-Ni-Cu ternary intermetallic compounds. The eutectic matrix transforms from Al-Al3Ni to Al-Al7Cu4Ni, and subsequently to Al-Al2Cu. These microstructural evolutions result in an enhancement of the tensile yield strength from 170 MPa to 440 MPa, with additional hardening achieved through aging-induced precipitation. Moreover, the damping capacity improves with the addition of Cu at elevated temperatures, and there is an increase in frequency dependence. This paper will discuss the microstructural features, mechanical properties, deformation behaviors, and damping properties in detail.

[P27-22]

CoCrNi계 합금의 열처리 공정에 따른 L12 석출 강화 거동의 정량적 분석: 한상윤, 류채우*(홍익대학교)

Keywords: $L1_2$ precipitate, precipitate coarsening, precipitation strengthening, strength-ductility trade-off

합금의 강도 증가는 필연적으로 연신율의 감소가 일어나는 strength-ductility trade-off 현상을 초래하며, 이를 극복하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그중, 시효 열처리를 통해 단상 FCC 기지에 정합 $L1_2$ 석출물을 형성하는 방식은 연성 저하를 최소화하면서 강도를 향상시킬 수 있어, strength-ductility trade-off 개선이 가능한 석출강화형 고엔트로피 합금으로 각광받고 있다. 본 연구에서는 CoCrNi합금계 $L1_2$ 석출강화 효과를 나타내는 조성을 대상으로, 시효 조건 변화에 따른 $L1_2$ 석출물의 석출 및 조대화 거동을 정량적으로 분석하였다. 이를 위해 주조 합금의 균질화, 압연 및 재결정 공정을 진행하였으며, 특정 온도에서 다양한 열처리 시간을 설정하여 석출물의 크기 및 분포를 조절하였다. Synchrotron X-ray diffraction을 통해 격자 상수와 기지와 석출물의 정합성을 산출하고, SEM/TEM 이미지 분석을 통해 $L1_2$ 석출물의 크기와 분포를 계측하였다. 이를 통해 석출물의 부피 분율과 입자 크기를 계산하고, 그 변화에 따른 석출 강화 메커니즘의 전환점을 도출하였다. 또한, 각 시효 조건에서의 강화 기구의 기여도를 정량화하여, 석출물 조대화가 기계적 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구를 통해 CoCrNi 기반 합금의 최적 열처리 조건을 도출하고, 차세대 구조재료 설계에 필요한 미세조직과 기계적 특성 상관관계 확립에 기여할 것으로 기대된다.

P28 : 역학측정
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P28-1]
신축 광전자소자용 일축 주름구조를 갖는 실리카 봉지재료의 개발 및 신뢰성 평가: 유현지, 김한글(UNIST/신소재공학과), 황경석(Haravard University), 김주영*(UNIST/신소재공학과)
Keywords: 신축 광전자소자, 봉지재료, 열성장 실리카, 기계적 신뢰성
최근 광전자소자의 폼팩터가 빠르게 발전함에 따라 상온·상습 환경에서도 소자의 장기 안정성을 보장할 수 있는, 고신축성과 저투습성을 동시에 갖춘 봉지 재료의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 폼팩터의 발전은 주로 유연한 유기 재료에 기반하여 이루어졌으나, 이러한 재료는 대기 중 수분과 산소에 대한 높은 반응성으로 인해 쉽게 열화되어 소자의 수명을 단축시키는 한계를 갖는다. 이를 극복하기 위해 낮은 수분 투습도를 갖는 고밀도 무기 봉지 재료가 연구되고 있으나, 비정질 무기 재료는 본질적으로 취성 파괴 거동을 보이고 탄성 변형 한계가 제한적이므로 신축 소자에 적용하는 데 어려움이 있다. 따라서 무기 봉지 재료의 저투습성을 유지하면서도 신축성을 향상시킬 수 있는 구조적인 재료 설계 전략이 요구된다. 본 연구에서는 일축 주름 구조를 갖는 열성장 실리카 봉지 재료를 개발하여, 고신축성과 저투습성을 동시에 갖춘 봉지 재료의 기계적 신뢰성을 평가하였다. 나노 일축 인장 실험을 통해 다양한 주름 구조와 두께에 따른 기계적 특성을 평가한 결과, 최대 20% 이상의 신축성을 확보할 수 있는 최적의 주름 구조를 도출하였다. 또한, 수학적 해석법을 통해 변형 거동과 주름 구조 간의 상관관계를 규명하고, 가속 환경에서의 전기적 칼슘 시험법을 통해 반복 신축 변형 전후의 방습 특성을 평가함으로써 유연 광전자소자로의 적용 가능성을 입증하였다.

[P28-2]
계장압입시험과 유한요소해석을 이용한 응력-변형률 물성 측정: 이신애(부산대학교), 신선호, 성효경(국민대학교), 김지훈*(부산대학교)
Keywords: 계장압입시험, 응력-변형률 선도, 주사탐침현미경, 유한요소해석
본 연구에서는 알루미늄 합금을 대상으로 Berkovich 팁을 이용한 계장압입시험을 수행하고, 얻어진 하중–변위 곡선과 압흔 형상을 바탕으로 유한요소해석과 역해석을 통해 응력–변형률 선도를 도출하였다. 주사탐침현미경으로 압흔 프로파일을 측정하고, 현미경 관찰 결과와 비교하여 데이터를 보정하였다. 유한요소해석을 통해 하중–변위 응답을 재현하고, 해석 모델을 기반으로 최적화를 수행하여 인장물성을 추출하였다. 또한 EBSD 측정 자료와 결정소성 해석을 결합하여 집합조직이 압입 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

[P28-3]
DIC 기반 잔류응력 분석을 위한 BCP 자기조립 공정: 장서현*(국립부경대학교.), 강은빈(UNIST), 손예진, 박운익, 김종형(국립부경대학교.)
Keywords: 잔류응력, 반도체 패키징, 디지털 영상 상관법, BCP, 나노패터닝, 신뢰성 평가
반도체 패키징 공정에서는 다양한 열적, 기계적 조건의 변화로 인해 잔류응력이 발생하며, 이는 균열이나 계면 박리와 같은 치명적인 결함을 유발할 수 있다. 특히, 다층 재료가 공존하는 복잡한 패키징 구조에서는 응력 분포를 정밀하게 파악하는 것이 소자의 신뢰성 확보에 매우 중요하다. 기존의 잔류응력 측정 기법인 웨이퍼 곡률 측정, X선 회절(XRD), 라만 분광법 등은 주로 전체 평균 응력을 평가하는 데 적합하지만, 국소 영역의 정밀 분석에는 한계가 존재한다. 이러한 배경에서 최근에는 집속이온빔(FIB)을 이용한 국부 절단과 절단으로 인해 발생하는 응력 완화에 변형을 디지털 영상 상관법(DIC)으로 분석하여 국부 잔류응력을 역산하는 기법이 주목받고 있다. 이때 DIC 분석의 정확도는 정교하고 재현성 높은 표면 패턴 형성 기술에 크게 의존한다. 본 연구에서는 블락코폴리머(BCP)의 자기조립 특성을 활용하여, 20-30 nm 수준의 나노 패턴을 형성하고, 이를 DIC 분석에 적용하는 방식을 제안한다. 제안된 BCP 기반 패턴은 스핀코팅, 열처리, 반응성 이온 식각(RIE) 등 간단한 공정만으로 제작 가능하며, 전자빔 리소그래피, 스퍼터링, FIB 직접 가공 방식에 비해 높은 실용성과 재현성을 제공한다. 이번 발표에서는 BCP 자기조립을 이용한 나노패턴 형성 원리와 실험 절차를 소개하고, 해당 패턴을 이용한 DIC 분석 성능을 공유하여 국부 잔류응력 측정으로의 가능성을 보여주고자 한다. 제안된 접근 방식은 간소화된 공정으로 반도체 소자의 신뢰성 평가 및 구조적 안정성 검증을 위한 강력한 분석 도구가 될 것으로 기대된다.

[P28-4]
유연/스트레처블 소자용 TPU의 포아송비 변화에 따른 면적증가율의 이론적 분석: 박태원, 신기승(울산대학교), 이승복(한국과학기술연구원), 박민지, 박연경(울산대학교), 이정용(한국과학기술연구원), 전은채*(울산대학교)
Keywords: 유연/스트레처블 소자, 포아송비, 변형률, 면적증가율, TPU
최근 소비자의 이동성 증가와 전자기기 간 융합으로 인한 IoT 시장의 수요 확산에 따라 웨어러블 디바이스에 대한 관심이 급증하고 있으며, 이는 인체 착용을 전제로 한 우수한 착용성을 갖는 웨어러블 디바이스에 최적화된 디스플레이 개발의 필요성을 증대시키고 있다. 이러한 흐름에 따라 유연(Flexible) 또는 스트레처블(Stretchable) 디스플레이는 유연성 및 신축성을 보유하여 외부 기계적 변형에 따라 변형된 후 원래 형태로 복원될 수 있으며, 형태 변형이 가능하므로 웨어러블 디바이스 적용 시 탁월한 착용성 및 높은 활용도를 기대할 수 있다. 이러한 유연 또는 스트레처블 디스플레이를 구성하는 유연/스트레처블 소자는 폼팩터(form-factor)에 제약 없이 변형 가능한(deformable) 형태로의 설계 자유도를 확대하는 방향으로 개발되고 있으며, 이는 제품의 성능과 직결되는 우수한 유연성/신축성 확보가 필수적임을 의미한다. 이중 신축성을 정량적으로 평가하기 위한 대표적인 지표로는 인장 시 면적의 증가 정도를 나타내는 면적증가율(Area increasing rate)이 있다. 기존에는 수평방향으로의 변형만 고려하였으나, 모든 소재는 수평방향 인장

변형에 따라 수직방향의 수축 변형이 존재하기 때문에 수평방향과 더불어 수직방향의 변형도 동시에 고려하여야 한다. 이때 수평방향과 수직방향의 인장 및 수축 비율을 포아송비라 부르며, 기하학적인 관계에 따라 면적증가율은 변형률에 대한 음의 계수를 갖는 이차함수 형태의 수식으로 표현된다. 일반적으로 포아송비는 재료의 고유한 특성으로 변형률에 관계없이 일정하다고 가정하지만, 일부 유연/스트레처블 소자에 적용되는 소재의 경우 포아송비가 변형률에 따라 변화하는 경향이 관찰된다. 따라서 면적증가율을 더 정밀하게 분석하기 위해서는 변형률 별 포아송비 변화를 반영한 새로운 접근법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 유연/스트레처블 소자에 주로 사용되는 고신축성 소재인 TPU(Thermoplastic Polyurethane)를 대상으로 수동 인장 시험기를 활용하여 수평방향 인장 시 각 변형률에 따라 변하는 포아송비를 측정하였다. 측정된 변형률-포아송비 결과는 회귀 분석을 통해 관계식을 수립하여 기존 이론식의 한계를 보완한 면적증가율의 새로운 수식을 도출하였다. 이렇게 유도된 새로운 식의 타당성은 추후 연구를 통해 검증될 예정이다.
이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00408180)

[P28-5]

Solid-solution and deformation-induced strengthening in TiHfNb-based medium-entropy alloys: Effects of Zr/V additions and rolling: PARK TAEYEON, HEO JAEHYEOK, CHOI INCHUL*(Kumoh National Institute of Technology)

Keywords: HEAs, nano indentation, rolling, mechanical properties, microstructure, solid solution strengthening

This study aims to quantify the interplay between solid-solution strengthening imparted by Zr and V additions and deformation-induced strengthening produced by cold rolling (30, 60, and 90% reductions) in TiHfNb-based medium-entropy alloys. Alloys were designed by alloying the TiHfNb matrix with Zr and/or V, followed by stepwise cold rolling to promote grain refinement and modulate dislocation density. The mechanical response was assessed via Nanoindentation and Vickers microhardness testing. Microstructural state, grain size, and dislocation-related metrics were characterized using EBSD and XRD. This integrated framework is intended to elucidate the individual and coupled effects of Zr/V alloying and rolling on the strengthening behavior of TiHfNb-based medium-entropy alloys.

[P28-6]

PVA 첨가에 따른 MXene 박막의 반복 굽힘 신뢰성 및 표면 손상 변화 분석: 박민지(울산대학교), 박재은(울산과학기술원), 조아름, 박연경, 박태원(울산대학교), 권순용(울산과학기술원), 이정구, 전은채*(울산대학교)

Keywords: 반복 굽힘, 신뢰성, 저항, MXene, 박막 차폐재

최근 건강 모니터링 및 활동 추적 기능을 포함한 웨어러블 디바이스의 수요가 증가함에 따라, 일정한 곡률로 고정된 형태뿐만 아니라 사용자의 움직임에 따라 반복적인 굽힘과 이완이 가능한 유연한 구조의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 디바이스는 사용 중 신체의 곡률에 맞추어 굽혀지고 사용 후에는 펴지는 과정을 반복하게 되며, 이로 인해 장치 중앙부를 중심으로 기계적 변형이 지속적으로 가해진다. 전자기파 간섭을 최소화하기 위해 내부에 적용되는 박막 형태의 전자기파 차폐재 역시 동일한 변형을 겪게 되며, 반복 변형 누적으로 전기적 특성과 신뢰성이 저하될 수 있다. 따라서 반복 굽힘 조건에서 차폐재의 전기적 특성 변화를 정량적으로 분석하는 것은 차세대 웨어러블 디바이스 신뢰성 확보를 위해 필수적이다. 본 연구에서는 높은 전기전도도, 우수한 차폐 성능, 박막화 및 유연성을 갖는 2차원 전이금속 탄화물 MXene을 대상으로 반복 굽힘 환경에서의 전기적 신뢰성을 평가하였다. 실험 시편으로는 기본 조성의 Ti_3C_2 MXene과, 기계적·전기적 특성 향상을 목적으로 PVA(Polyvinyl Alcohol)을 첨가한 $Ti_3C_{1.9}N_{0.1}$-PVA MXene을 각각 PET(Polyethylene Terephthalate) 기판 위에 수백 나노미터 두께로 코팅하여 제작하였다. 반복 굽힘 시험은 굽힘 인가와 저항 측정이 동시에 가능한 장비를 활용하여 1,000회의 굽힘 및 이완 변형을 인가하며, 굽힘 상태에서의 저항을 주기적으로 측정하였다. 그 후, 측정된 굽힘 상태 저항값을 굽힘 전 초기 저항값으로 나누어 굽힘 횟수에 따른 전기적 손상을 정량화하였다. 실험 결과, $Ti_3C_{1.9}N_{0.1}$-PVA MXene은 Ti_3C_2 MXene 대비 굽힘에 따른 저항 변화율이 더 낮게 나타났으며, 이를 통해 PVA 첨가가 반복 굽힘 환경에서 전기적 신뢰성을 향상시킴을 확인하였다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 손상된 표면부를 관찰한 결과, 기존 MXene은 굽힘 변형에 의해 미세한 크랙이 다수 생성된 반면, PVA MXene에서는 크랙 밀도가 감소하여 표면 손상 저항성이 개선된 것을 확인하였다.
이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00408180)

[P28-7]

전사 공정 기반 다층 MIM 구조 소자의 나노스케일 계면 접합력 정량 분석: 박연경, 박민지, 박태원(울산대학교), 정주연, 최준혁, 최대근(한국기계연구원), 전은채*(울산대학교)

Keywords: 계면 접합력, 전사 공정, MIM 구조, 나노스케일

스마트폰 이후 차세대 플랫폼으로 주목 받고 있는 AR, VR 장비의 수요가 지속적으로 증가하여 주요 기업에서 관련 기술을 개발하고 있다. 이러한 장비들은 제한된 면적 내에서 높은 몰입감을 제공하기 위해 초고해상도 구현이 필수적이다. 이를 위해 높은 명암비와 우수한 색 재현성을 지닌 OLEDoS(Organic Light Emitting Diodes on Silicon) 기반의 디스플레이 기술이 주목받고 있으며 관련 연구도 활발히 진행되고 있다. OLEDoS는 일반적으로 증착 공정을 통해 제작되며 RGB 픽셀의 패터닝을 위해 사용되는 FMM(Fine Metal Mask)은 현재보다 더 높은 수준의 해상도를 구현하는데에는 근본적인 한계가 있다. 이에 따라 증착 공정을 대체할 수 있는 다양한 공정이 모색되고 있으며 그중에서도 패턴 해상도가 나노스케일로 매우 정밀한 전사 공정이 주목받고 있다. 특히 전사 공정을 활용하여 기판 표면에 MIM(Metal-Insulator-Metal) 구조를 형성하면 광파장을 국소화하여 초고해상도 구현이 가능하다.

MIM 구조는 하부 금속층, 절연체, 상부 금속 메타패턴으로 구성되며 플라즈모닉 공명 현상을 유도하여 특정 주파수에서 공명 조건을 충족하면 에너지를 집중하는 역할을 한다. 이때 플라즈모닉 공명은 계면 구조에 매우 민감하며, 박리가 발생할 경우 공명 유지가 어려워 색 균일성이 저하되므로 광학적 성능의 안정성을 확보하기 위해서는 각 계면의 높은 접합력이 요구된다. 그러나 전사 공정은 원자 단위로 촘촘히 쌓아가는 증착 공정과는 달리 완성된 물질을 전사 몰드 표면에서 전사 기판으로 이송하는 공정이기 때문에 비교적 약한 접합력을 보인다. 이에 본 연구에서는 다층 구조를 이루는 소자의 각 계면 접합력을 나노스케일에서 정량적으로 구분하여 분석할 수 있는 나노스크래치 테스트를 활용하여, 초고해상도 OLEDoS용 소자의 계면 접합력을 평가하고자 하였다. 유리 기판에 150 nm 두께의 Al을 증착하여 하부 금속층을 형성하고, 그 위에 30 nm 두께의 SiO_2를 증착한 후 30 nm 두께의 Al 메타패턴을 전사하여 MIM 구조를 구현하였으며, 그 위에 평탄화층을 도포하였다. 이러한 시편을 대상으로 반경이 1 μm인 diamond indenter를 사용하여 수직 하중을 50 mN까지 점진적으로 증가시키면서 수평 변위 1 mm만큼 이동하여 나노스크래치 테스트를 수행하였다. 생성된 스크래치 트랙은 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 관찰하여 각 계면의 박리 지점을 정성적으로 특정하였으며, 해당 지점에서의 수평 하중을 접합력의 정량적 지표로 활용하여 다층 MIM 구조 내 각 계면의 접합력을 분석하였다. 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00408446)

[P28-8]

적층제조 17-4PH 다상조직강의 수소 영향성에 대한 나노역학적 특성: 김보규(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 한성희, 김대현, 강민성, 윤수빈, 장지훈, 서태현, 엄수진(국립강릉원주대학교), 송예영(국립강릉원주대학교, 한국생산기술연구원), 이류경, 신승우(국립강릉원주대학교), 최인석(서울대학교), 박창수(한국생산기술연구원), 신중호*(국립강릉원주대학교)

Keywords: 스테인리스

Selective Laser Melting(SLM)으로 제조된 17-4PH 스테인리스강은 전통 공정 대비 오스테나이트 분율이 25% 이상으로 형성된다. 본 연구에서는 스캔 속도 300–1400 mm/s 범위에서 미세조직을 조절하여 오스테나이트 입자 크기와 상 분율을 변화시켰으며, 그 결과 항복강도 416–635 MPa, 인장강도 881–958 MPa, 연신율 8.1–22.5%로 제어됨을 확인하였다. 수소 취성 거동을 평가하기 위해 시편을 전기화학적으로 충전하고, Thermal Desorption Spectroscopy(TDS)를 통해 수소 장입량을 정량화하였다. 대표 조건 시편에 대해 나노인덴테이션을 수행하여 수소가 나노기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 통해 각 상별 수소 민감도를 비교함으로써 레이저 스캔 속도에 따른 미세조직이 수소 취성 거동에 미치는 영향을 규명하고, 강도·연성·수소 저항성의 균형을 달성하기 위한 공정 설계 방향을 제시하고자 한다.

[P28-9]

인공신경망을 이용한 FIB-DIC 기반 국부 잔류응력 예측 연구: 김종형*, 조현욱, 김종형, 조현욱, 장서현, 박태현(부경대학교 재료공학과), 강승균, 김임덕(서울대학교)

Keywords: 반도체소자, 잔류응력 측정, 미소스케일, 인공신경망, FIB-DIC, SLITTING

응력 완화(Stress Relaxation) 기법의 일종인 슬리팅 방법에 FIB-DIC(Focused Ion Beam-Digital Image Correlation) 기술을 접목한 측정법은, 첨단 반도체 소자의 미세 영역에서 발생하는 국부 잔류응력 측정이 가능한 잠재력을 지니고 있어서 최근 중요한 연구 대상으로 부각되고 있다. 그러나 본 방법은 시편의 각 조건별로 개별적인 측정 과정을 거쳐야 하므로, 전체 실험 수행에 장시간이 소요되는 한계를 지닌다. 더욱이, 상기 기술은 수행 절차와 분석 과정이 복잡하여, 전체 실험의 재현성과 효율성 확보에 제약을 준다. 이러한 제약으로 인해, 해당 기법을 첨단 반도체 소자에 적용하는 것은 상당한 어려움이 따른다. 이에 본 연구는 유한 요소 해석(FEA)을 기반으로 대규모 시뮬레이션 데이터를 생성하고, 이를 토대로 인공 신경망(ANN)을 학습하여 소자 종류에 무관하게 잔류 응력을 정밀 예측할 수 있는 모델을 제안한다. 이러한 접근을 통해 기존 기법의 시간 소요와 복잡성으로 인한 적용 한계를 극복하고자 한다. 제안된 기법의 유효성을 입증하기 위해, 본 연구에서는 세 가지 핵심 연구 과제를 단계적으로 수행하였다. 첫 번째로, 슬릿의 종횡비가 일정 기준 이상일 때, 응력 완화에 따른 변형 거동이 평면 변형률(Plane Strain) 조건을 충족함을 유한 요소 해석을 통해 검증하였다. 이에 FEA 기반 시뮬레이션을 통해 최적의 슬릿 종횡비를 도출하였다. 두 번째로, 특정 종횡비를 갖는 슬릿을 대상으로, 슬릿 길이 방향과 평행한 응력 성분이 응력 완화 과정에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 제안된 접근법은 복잡한 응력 상태를 가지는 실제 첨단 반도체 소자에도 충분히 적용 가능하며, 다양한 소자 구조에 대한 잔류 응력 분석에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 세 번째로, 소재의 물성과 응력 완화로 인한 표면 변형 데이터를 기반으로 잔류 응력을 예측하는 인공 신경망 모델을 제안하였다. 또한, 제안된 모델이 잔류 응력을 신속하고 정확하게 예측할 수 있음을 검증하였다. 본 발표에서는 본 연구의 이론적 배경과 시뮬레이션 결과를 제시함과 더불어, 제안된 기술이 첨단 반도체 소자의 신뢰성 향상에 미치는 잠재적 기여에 대해 논의하고자 한다.

[P28-10]

적층제조 다상조직강의 단계별 인장에 따른 상별 나노역학적 특성 분석: 한성희(국립강릉원주대학교), 김재우(서울대학교), 김대현, 김보규, 강민성, 서태현, 장지훈, 신승우, 윤수빈, 이류경, 엄수진(국립강릉원주대학교), 송예영(국립강릉원주대학교, 한국생산기술연구원), 최인석(서울대학교), 박창수(한국생산기술연구원), 신중호*(국립강릉원주대학교)

Keywords: 스테인리스, 17-4PH, DIC, 나노압입

Selective Laser Melting(SLM)으로 제조된 17-4PH 다상조직 스테인리스강은 오스테나이트 분율이 25% 이상이며, 본 연구에서는 스캔 속도 300–1400 mm/s 범위에서 미세조직을 조절하여 오스테나이트 입자 크기와 상 분율을 변화시켰다. 그 결과 항복강도 416–635 MPa, 인장강도 881–958 MPa, 연신율 8.1–22.5%의 변화를 확인하였으며, 이러한 거시적 변화를 해석하기 위해 상별 나

노역학적 변화를 추적하였다. 대표 시편을 대상으로 인장단계별 DIC를 통해 변형장 분포를 측정하고, 각 단계 직후 동일 영역에서 EBSD 분석과 나노인덴테이션 맵핑을 병행하였다. 이를 통해 오스테나이트와 BCC/BCT 영역을 구분하고, 국부 경도 및 탄성계수 변화를 비교하였다. 변형이 진행됨에 따라 상별 경도 분포와 분산이 변화하는 경향을 보였으며, 이는 오스테나이트 안정성 차이와 BCC/BCT 영역의 전위 활동에 기인할 수 있다. 본 연구는 적층제조 17-4PH 스테인리스강에서 DIC를 활용하여 인장시험을 통해 변형률 2%, 4%, 8%, 12% 조건에서 시편을 확보하고 각각에 대해 나노압입을 수행함으로써, 변형 수준에 따른 국부 기계적 거동 변화를 비교하였다. 또한, 미세조직–기계적 특성 상관성을 다각적으로 규명하고, 강도·연성의 균형을 고려한 공정 설계 방향을 제시하고자 한다.

[P28-11] Canceled

시험 속도 및 시편 형상에 따른 Si–Si 본딩 웨이퍼의 계면접착에너지 평가: 서희창, 김영천*(국립경국대학교)

Keywords: Si–Si 본딩 웨이퍼, 계면접착에너지, DCB 시험, 하중 인가 속도, 시편 형상

차세대 3차원 집적회로(3D IC)와 고성능 패키징 공정에서는 웨이퍼 간 직접 본딩이 고집적·저전력 구조 구현을 위한 핵심 기술로 자리잡고 있다. 본딩 계면의 기계적 안정성은 제품의 내구성과 신뢰성을 결정하는 중요한 요인으로, 이를 정량적으로 평가하기 위한 다양한 파괴역학 기반 시험법이 제안되어 왔다. 그중 Double Cantilever Beam(DCB) 시험은 계면접착에너지 측정에 널리 사용되지만, 시편 형상이나 하중 조건이 달라질 경우 결과의 일관성이 저하될 수 있다. 본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 본딩 시편을 대상으로, 하중 인가 속도와 시편의 비율을 변화시키며 DCB 시험을 수행하였다. 각 조건에서 하중-변위 곡선과 균열 전파 특성을 측정하고, 계면접착에너지의 변화를 정량적으로 비교하였다. 이를 통해 변수 별 민감도와 반복 실험 간 변동성을 평가하여, DCB 시험에서 신뢰성 있는 계면접착에너지 산출을 위한 적정 조건 범위를 도출하였다.

[P28-12]

염수 분무 환경에서 열처리된 STS304 스테인리스강의 기하학적 표면 부식 형태 및 전기화학적 거동: 서세덕, 김지현, 남서우, 서희창, 함주빈, 김영천*(국립경국대학교)

Keywords: STS304, 열처리, 공식 부식, 염수 분무 시험

스테인리스강은 우수한 내식성, 고온 안정성, 기계적 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 널리 활용되고 있다. 이러한 내식성은 주로 합금 원소의 조성과 표면에 형성되는 안정한 산화 피막(부동태 피막)에 기인한다. 그러나 열처리, 용접, 고온 환경에서의 장기 사용은 미세조직 변화와 함께 내식성 저하를 유발할 수 있으며, 특히 공식(pitting corrosion)과 같은 국부 부식 문제를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 STS 304 오스테나이트계 스테인리스강에 예민화(sensitization) 조건의 시효 열처리를 적용한 후, 염수 분무 시험(Salt Spray Test, SST)을 통해 공식의 발생 양상과 전기화학적 거동 변화를 분석하였다. 염수 분무 시험은 100시간 간격으로 총 5가지 조건에서 수행되었으며, 각 시편의 공식 폭과 깊이는 3차원 공초점 레이저 현미경을 이용하여 정량적으로 평가하였다. 실험 결과, 열처리 여부와 무관하게 염수 분무 시간이 증가함에 따라 공식의 폭과 깊이가 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 전기화학적 특성 평가를 위한 양극 분극 시험 및 개방 회로 전위(Open Circuit Potential, OCP) 측정에서도, 열처리 시편의 부식 전위가 양(+) 방향으로 이동하고 부식 전류가 증가하여 내식성 감소가 확인되었다. 이러한 결과는 예민화 조건의 열처리가 STS 304 스테인리스강의 미세조직에 영향을 주어, 염화물이 존재하는 환경에서의 공식 저항성을 현저히 저하시킨다는 점을 시사한다. 본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409639, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

[P28-13]

전이학습 기반 인공신경망을 이용한 압입시험 물성 예측 신뢰성 향상: 박시현, 조현욱, 김광희, 박준태(국립부경대학교), 함주빈, 김영천(국립경국대학교), 김종형*(국립부경대학교)

Keywords: 금속, 기계적 특성 평가, 압입시험, 전이학습, 인공신경망, 압자 형상

전이학습 기반 인공신경망을 이용한 압입시험 물성 예측 신뢰성 향상 박시현, 함주빈, 조현욱, 박준태, 김광희, 김영천, 김종형 재료의 기계적 특성 평가는 전통적으로 인장시험과 같은 파괴적 방법에 의존해 왔으나, 국부 물성 평가의 한계와 시편 손상이 불가피하다는 문제가 있다. 이를 보완하기 위해 압입시험이 도입되었고, 최근에는 인공신경망(ANN)을 활용하여 압입 데이터를 기반으로 인장물성을 예측하려는 시도가 활발하다. 그러나 이러한 모델은 학습에 사용된 특정 압입자 형상이나 시험기에 과적합되는 경향이 있어, 실제 실험에서 압입자 형상이나 물성에 작은 차이가 발생하면 예측 정확도가 크게 저하된다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 전이학습(transfer learning)을 도입하였다. 우선 구형 압입 데이터를 기반으로 범용 ANN “mother model”을 구축한 뒤, 실제 비이상적 형상이나 다른 물성 조건에서 얻은 소량의 압입 데이터를 추가 학습하여 장비·압입자 조건에 최적화된 모델을 구현하였다. 유한요소해석(FEA)으로 다양한 조건에서 압입 곡선을 생성해 검증한 결과, 탄성계수, 항복강도, 가공경화지수 등 주요 물성 예측에서 평균 절대백분율오차(MAPE)가 기존 ANN 대비 현저히 감소하였다. 이 연구는 압입자의 형상 불확실성과 같은 실험적 변동성 속에서도 신뢰성 있는 물성 평가를 가능하게 하며, 향후 실제 실험 데이터를 통한 검증을 통해 연구의 타당성을 강화할 예정이다.

[P28-14]

Fe-9Cr계 합금의 He 이온 조사에 따른 나노스케일 표면 취화 정량적 분석: 정회연(UNIST), 전은채(울산대학교), 김주영*(UNIST)

Keywords: 조사취화, He 이온 조사, 나노스케일, 경도

화석연료의 고갈을 대비하여 전 세계적으로 친환경적이고 지속 가능한 핵융합 에너지 발전 사업을 추진하고 있다. 핵융합은 중수

소와 삼중수소가 융합하여 중성자와 헬륨을 생산하고 이 과정에서 핵융합 에너지가 발생한다. 이 과정에서 핵융합로 내부에는 100억 ºC 이상의 고온에서 고속의 중성자가 재료 표면에 충돌하기 때문에 극한의 환경을 견딜 수 있는 핵융합 구조재료에 대한 개발이 요구된다. 국내에서는 핵융합 구조재료로 Fe-9Cr계 합금인 ARAA강 (Advanced Reduced-Activation Alloy)을 개발하였다. 최근 ARAA강의 상용화를 목표로 중성자 조사와 온도에 의해 발생하는 기계적 특성의 변화 양상을 이해하고 예측하기 위해 조사손상량을 정량화하는 연구가 요구되고 있다. 중성자 조사 시 재료는 취성이 증가하는 반면, 온도가 상승하며 연성이 증가하는 서로 상반되는 효과가 발생한다. 또한, 중성자의 침투깊이는 수 마이크로미터 이내지만, 온도는 재료 전체에 걸쳐 영향을 미치기 때문에 두 조건이 동시에 적용되면 깊이에 따라 특성이 달라질 수 있다. 따라서 개별 환경에서의 재료의 특성뿐만 아니라, 조사와 고온이 동시에 가해지는 복합 조건 하에서의 상호작용 및 그로 인한 특성의 상쇄 정도를 정량적으로 규명할 필요가 있다. 본 연구에서는 나노인덴테이션의 CSM (Continuous Stiffness Measurement)을 활용하여 수 마이크로 이내의 영역에서 경도를 평가하였으며, 다양한 조사량 및 온도 환경에 따른 ARAA강에 특성 변화에 대해 분석하였다. 단일 조건 하에서 조사량이 증가할수록 경도도 증가하였으며, 온도가 상승할수록 경도는 감소하는 경향성을 보여 기존 문헌과 동일하게 핵융합 모사 환경이 잘 재현되었음을 검증하였다. 또한, 두 조건이 동시에 구현되는 복합 조건에서 각 조건에 의한 특성이 상쇄되는 정도를 경도변화를 통해 정량적으로 평가하였으며, 이를 기반으로 각 조건의 기여도 및 조사손상 깊이를 판단하였다.

[P28-15]

계면접착에너지 예측을 위한 Cu-Cu 본딩 시편의 나노압입실험 전산모사: 납서우, 김영천*(국립경국대학교)

Keywords: 하이브리드 본딩, 나노압입시험, 유한요소해석, 계면접착에너지

하이브리드 본딩 기술은 3D IC 및 첨단 패키징에서 사용되는 접합방식으로, 직접 접합을 통해 연결층을 제거하여 고밀도 및 고속 연결을 가능하게 한다. 고집적화된 구조의 신뢰성을 확보하기 위해서는 계면에서의 기계적 결합 상태를 정량적으로 평가하는 것이 매우 중요하며, 계면접착에너지는 시스템의 수명 및 안정성에 밀접한 영향을 미친다. 일반적으로 계면접착에너지 평가를 위해 굽힘시험, DCB(Double Cantilever Beam)등으로 분석하는 방법을 사용해왔으나, 이는 계면 전체에 대한 평균 접착력만을 반영하며 미세구조나 국부 영역의 접착력을 정밀하게 파악하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 계면접착에너지를 측정하기 위해 Cu-Cu 본딩 시편의 나노압입실험을 도입하고자 유한요소해석을 통해 모사하였다. 계면의 접착을 표면-기반 응집영역 모델(Cohesive Zone Model, CZM), 기법으로 구현한 시편을 모델링하였고, 한 쪽 웨이퍼 기판이 제거된 Cu-Cu 칩 표면에 나노압입실험을 실시하였다. 계면의 접착이 존재하지 않은 Cu 박막을 같은 조건으로 압입한 결과와 압입 하중-변위 곡선상에서 비교하였고, 기존 논문에서 제시된 모델로 계면접착에너지를 산출하였다. 각 모델로 산출된 수치를 서로 비교하여 해당 시편에 적합한 모델을 확인하였다.본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409639, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

[P28-16]

나노압입시험의 전산모사 기반 머신러닝을 통한 유연기판 위 금속 박막의 탄성계수 예측: 김지현, 김영천*(국립경국대학교)

Keywords: 나노압입시험, 유한요소해석, 머신러닝, 탄성 계수, 유연 기판

최근 플렉서블 디바이스에 대한 관심이 크게 증가하였으며, 기존의 실리콘 기판을 대체하여 기계적 유연성을 가진 폴리이미드(PI)나 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)와 같은 고분자 소재 기반의 유연 기판이 널리 활용되고 있다. 플렉서블 전자소자는 반복적인 기계적 하중 환경에서 동작하며, 기판 위 금속 박막의 물성 변화가 소자의 구조적 안정성에 영향을 주며, 탄성계수와 같은 물성 정보를 정량적으로 확보하는 것은 신뢰성 평가를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 나노압입시험은 박막의 기계적 물성을 국소적으로 정량화 할 수 있는 유용한 평가 기법으로 널리 활용되고 있지만 기존의 시험법은 단단한 기판 위에 증착된 박막을 대상으로 수행되어 왔고, 동일한 방법을 고분자 기반 유연 기판에 적용할 경우 기판의 낮은 강성과 연성으로 인한 기판의 영향을 크게 받아 기계적 특성이 왜곡되거나 과소평가되는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 폴리이미드(PI) 기판 위에 증착된 구리(Cu) 박막 시편을 모사하여 유한요소해석(Finite Element Analysis)으로 모델을 생성하고, 이를 바탕으로 탄성계수 측정을 위한 머신러닝(Machine Learning, ML) 기반 회귀 모델을 구축하였다. 시편의 실제 압입 하중-변위 곡선과 근접하도록 모델을 설계하여 FEA로 생성된 데이터셋을 총 1000개 확보하였다. Cu 박막의 탄성계수를 예측하기 위하여 feature의 조합을 선정하여 각 조합 별 모델의 정확도를 확인하였고, 최적화된 feature가 기존 이론에 부합하는지 여부를 논하였다. 본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409639, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

[P28-17]

불완전 구형 압입자의 첨단이 반영된 전산모사 및 인장특성 예측을 위한 머신러닝: 함주빈, 김동엽(국립경국대학교), 박시현, 조현욱, 김종형(국립부경대학교/ Pukyong National University), 김영천(국립경국대학교)

Keywords: 머신러닝, 전이학습, 유한요소해석, 압입시험, 인장특성

연속압입시험법은 금속 재료의 인장 특성 및 잔류 응력과 같은 고급 기계적 물성을 예측하는 연구 분야에서 그 적용 범위를 꾸준히 확장하고 있다. 최근 전산 해석을 위한 하드웨어와 소프트웨어의 발달로, 기존의 이론·수학적 모델링에서 벗어나 딥러닝과 머신러닝 기법을 활용하는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 접근에서 활용되는 데이터의 상당수는 유한요소해석(Finite Element Analysis, FEA) 기반 전산모사를 통해 생성되며, 이를 통해 다양한 기계적 특성을 가진 가상 소재 정보를 비교적 용이하게 확보하고 단기간 내 빅데이터 기반 예측 모델을 구축할 수 있다. 그러나 실제 압입자의 형상 불완전성이나 시편 표면 상태 등, 실사용 환경을 반영한 연구는 여전히 부족하다. 본 연구에서는 실제 구형압입자의 첨단 형상을 유한요소해석 모델에 반영하여 압입실험을 모

사하였고, 압입인장특성 예측을 위하여 머신러닝 모델을 제작하였다. 먼저 이상적인 구형 압입자 형상을 가정한 시뮬레이션 결과로 얻은 하중-변위 곡선을 기반으로 인장 특성 예측 모델을 학습하였다. 이후 주사전자현미경(SEM) 이미지를 활용하여 실제 구형 압입자의 표면 형상을 좌표 데이터로 추출하고, 이를 유한요소해석 모델에 반영하여 압입자를 구현하였다. 실제 압입자 형상 기반 모델로 시뮬레이션을 수행해 얻은 하중–변위 곡선을 전이학습(Transfer Learning)에 적용하였으며, 이를 통해 학습된 모델이 실제 압입자 형상 조건에서도 인장 특성을 정확하게 예측할 수 있는지 성능을 평가하였다. 감사의 글: 본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409639, 2024년 산업혁신인재성장지원사업

[P28-18]

리가먼트 크기 및 표면 확산 억제 효과에 따른 나노다공성 금의 시간의존 변형 거동 분석: 홍석원, 김영훈(UNIST), 전한솔(계명대학교), 김주영*(UNIST)

Keywords: 나노다공성 금(nanoporous gold), 나노압입시험(nanoindentation), 나노역학(nanomechanics), 시간의존 변형(time-dependent deformation), 전위(dislocation), 크기 효과(size effect), 크리프(creep), 활성화 부피(activation volume)

나노다공성 금(nanoporous gold, np-Au)은 나노스케일의 리가먼트(ligament)와 기공(pore)이 3차원적으로 얽힌 복연속성(bicontinuous) 개방형(open-cell) 구조를 가지며, 낮은 상대밀도와 높은 비표면적으로 인해 촉매, 센서, 에너지 소자 등 다양한 응용 분야에서 주목받아 왔다. 이러한 응용의 실현을 위해서는 구조 안정성과 장기 신뢰성 확보가 필수적이며 이를 위한 기계적 물성 평가는 지속적으로 보고되고 있다. 나노다공성 금의 기계적 특성은 인장, 압축, 나노압입시험(nanoindentation) 등 다양한 기법을 통해 연구되어 왔으며, 나노역학(nanomechanics) 분야에서 잘 알려진 크기 효과(size effect)와 유사하게 리가먼트 크기가 작을수록 강도가 증가하는 경향이 보고되었다. 그러나 실제 응용 환경에서는 장시간 하중 조건에서도 구조적 성능을 유지해야 하므로 시간 의존적 변형 거동인 크리프(creep)의 정량 분석이 중요하다. 하지만 나노다공성 금은 복잡한 구조적 특성과 전위 거동의 비균일성으로 인해 기존 연구에서 활성화 부피(activation volume)를 기반으로 한 크리프 거동의 체계적 분석은 충분히 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 리가먼트 크기와 표면 조건을 체계적으로 조절한 시편을 제작하여 나노압입시험을 통해 시간 의존 변형률과 활성화 부피를 측정하고 소성 기구를 정량적으로 규명하였다. 특히 구형(spherical) 압입자를 적용해 깊이에 따른 대표 변형률을 연속적으로 조절한 뒤 하중 유지 구간에서 시간 의존 소성 거동을 안정적으로 측정하고 전위 활성화 기작의 평균 특성을 분석하였다. 실험 시편은 금–은 모합금을 디얼로잉(dealloying)한 후 열처리를 통해 리가먼트 크기를 조절하였으며, 결정립계와 내부 결함의 영향을 최소화한 조건에서 크리프 실험을 수행하였다. 또한 리가먼트 표면에 얇은 알루미나(Al2O3) 코팅을 적용해 전위의 표면 핵생성과 탈출을 억제하고 이에 따른 전위 거동 변화를 분석하였다. 이를 통해 리가먼트 크기와 표면 조건이 시간 의존 소성 거동 및 전위 거동에 미치는 상관관계를 확인하였다.

[P28-19]

열처리를 통한 (111) 단결정 구리 박막 형성: 김수정, 곽지윤, 심영주, 김동현, 김주영*(UNIST)

Keywords: (111) 구리, 단결정 구리 박막, 비정상 결정립 성장, 열처리

단결정 구리는 다결정 구리와 달리 결정립계가 없기 때문에 낮은 전기 저항성과 우수한 물리적 특성을 가지며, 특히 구리 (111) 결정면의 경우 그래핀과의 격자 불일치(lattice mismatch)가 매우 낮아 그래핀 에피택시 성장(epitaxial growth)에 적합한 기판으로 사용된다. 따라서 (111) 단결정 구리 기판 제조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재는 주로 벌크 크리스탈 성장 방식이나 고온 재결정화와 같은 방법으로 단결정 구리 기판이 제조되고 있다. 그러나 이러한 공정들은 기판 크기 제한, 공정의 복잡성 및 높은 생산 비용과 같은 한계가 있을 뿐만 아니라 균일한 단결정을 얻기 어렵다는 문제가 있다. 이러한 점에서 대면적 초평탄 단결정 구리 박막을 보다 효율적이고 경제적으로 제조할 수 있는 새로운 방법의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 스퍼터링을 이용해 수백 나노미터 ~ 수 마이크로미터 두께로 증착한 구리 박막에 온도 및 환경 조건을 제어한 열처리를 통해 비정상 결정 성장(abnormal grain growth)을 일으킴으로써 (111) 단결정 구리 박막을 형성하는 연구를 수행하고 있으며, 본 연구에서는 이러한 결정 성장의 메커니즘에 대해 분석하였다.

P29 : 재료분석
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P29-1]
중성자 분석법과 X선 CT를 활용한 철제유물 부식 상태 진단 연구: 김재연(국립공주대학교), 채호병, 우완측(한국원자력연구원), 조남철*(국립공주대학교)
Keywords: 철기유물, 중성자 분석, X선 CT, 부식 상태 진단, 비파괴

문화유산 보존은 최소한의 시료 채취로 유물 내부와 숨겨진 부분에 대한 유의미한 정보를 제공하는 것이 중요한 과제이다. 유물 내 부식이 안 된 금속성분이 잔존해 있을지는 육안 검사 및 X선 투과촬영 등으로 추정할 수 있으나, 정확한 확인을 위해서는 시료 채취 후 현미경 관찰이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 중성자 분석법과 X선 CT를 통해 시료 채취 전에도 금속 성분 잔존 여부의 확인과, 정확한 위치 특정이 가능할지 알아보고자 하였다. 연구 대상은 완전히 부식된 것으로 추정되는 주조 철기유물 1점(이하 시료 A), 단조 철기유물 1점(이하 시료 B)이다. X선 CT는 ㈜테크밸리 사의 TVX-IMT300CT를 이용하였다. Fe 함량이 높은 부식층과 부식되지 않은 Fe 입자의 밀도 차이가 크지 않아 해상도를 10.5μm로 높여 촬영하였으며 중성자 회절 및 산란 실험은 한국원자력연구원의 HANARO를 이용한 중성자잔류응력장치(Residual Stress Instrument; RSI)를 통해 진행하였다. 시료 A의 측정 부피는 ~3.9 mm^3, 시료 B의 측정 부피는 ~9.7 mm^3이다. 중성자 회절 실험 결과, 시료 A, B 모두 측정 부피 영역은 회절피크가 관찰되지 않아 부식 안된 금속심은 존재하지 않고 산화철로 대부분 구성되어 있는 것으로 판단하였다. 그러나 시료의 측정 위치별 중성자 산란 카운트를 비교한 결과, 측정 부피 내에서 일정 부분까지 지속적으로 카운트가 증가하였다. 이는 내부에서 중성자 산란 물질이 증가하는 것을 의미하며, 부식층 사이에 Fe 성분이 남아있는 것으로 판단된다. 산란 카운트별 위치를 통해 대략적인 위치를 추정할 수는 있으나 정확한 위치로 보기는 어렵다. X선 CT 단면을 확인한 결과, DPL과 TM으로 추정되는 Fe 함량이 비교적 높은 부식층과 낮은 부식층, 해당 층 외부의 Soil 층으로 구분할 수 있었다. Fe 함량이 높은 부식층과 부식되지 않은 Fe 입자의 밀도 차이가 크지 않아 후처리 전에는 위치를 특정할 수 없었다. 그러므로 후처리 과정을 거쳐 확인된 위치를 기반으로 부식 두께를 측정하였다. 이후 시료를 채취하여 금속현미경, 주사전자현미경과 에너지분산형 분광기로 교차 검증하였다. X선 CT로 확인한 위치와 유사한 위치에서 Fe 함량이 높은 층과 근처 Grain에 부식되지 않은 Fe도 확인되었다. Fe의 위치를 기반으로 분석법별 부식 두께 측정 결과를 비교한 결과 6% 이내의 오차율이 확인되었다. 부식 두께 측정 결과의 오차율이 약 6%일 경우 부식층 판단 기준에 신뢰성이 있는 것으로 판단한 사례 연구(황희원, 2025)와, 추정 위치 기준으로 측정한 것을 감안하면 중성자 회절 실험 결과 또한 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 비파괴 진단 방법이 시료 채취가 어려운 유물의 보존 전략 수립의 활용되기를 기대한다.
본 연구는 국립문화유산연구원의 지원을 받아 수행되었음(과제번호 RS-2021-NC100301).

[P29-2]
SEM과 AFM 비교를 통한 석출물 분율 측정 신뢰성 검증: 허성준, 천해영, 허성, 하준영, 박노근*(영남대학교)
Keywords: SEM, AFM, Precipitate fraction

SEM(Scanning Electron Microscopy)은 금속 및 합금의 미세조직 관찰에 널리 활용되고 있으나, 전자빔이 수십~수백 나노미터 깊이까지 침투하는 특성으로 인해 실제 표면에 존재하지 않는 하부 석출물까지 영상에 반영된다. 이에 따라 석출물 분율을 정량적으로 분석할 때 실제보다 높은 값이 산출될 가능성이 있으며, 이는 미세조직 기반 물성 평가의 신뢰성에 중요한 한계로 작용한다. 본 연구에서는 AFM(Atomic Force Microscopy)을 활용하여 이러한 SEM 영상의 특성을 직접적으로 증명하고자 하였다. 동일 시편의 동일 영역을 SEM과 AFM으로 각각 분석한 결과, SEM 영상에서는 표면 하부 석출물이 동시에 나타나 분율이 과대 산정되었으며, AFM에서는 표면 형상과 요철만을 반영하여 실제 노출된 석출물의 분율을 확인할 수 있었다. 이러한 비교 결과는 SEM을 통한 분율 측정값이 표면만의 정보를 반영하지 못함을 명확히 보여주었으며, AFM이 이를 효과적으로 증명할 수 있음을 입증하였다. 본 연구는 SEM 기반 미세조직 정량 분석 시 필연적으로 발생할 수 있는 오차의 원인을 규명하고, 향후 분율 해석 과정에서 결과의 신뢰성을 높이기 위한 주의와 보완적 검증의 필요성을 제시한다.

[P29-3] Canceled
Atomic-scale Clustering Analysis of Long-term Degraded Zeolite 13X Desiccant using Atom Probe Tomography: LEE WONHYOUNG, LEE Chang-Gi, KIM SE HO*(Korea university)
Keywords: Zeolite 13X, Atom probe tomography

Zeolites consist of an aluminosilicate framework that incorporates cations such as Na, Mg, etc., and contains micropores capable of sieving molecules. Due to these characteristics, along with their good reusability, zeolites have been widely used in various industries for applications such as desiccation. However, prolonged exposure to moisture can lead to atomic-scale deformation such as dealumination and cation redistribution, which significantly affects the adsorption performance of the zeolite. Despite its significance, a fundamental understanding of atomic-scale behavior during degradation by water has remained elusive. In this study, the degradation of zeolite 13X by moisture is examined via quantitative and statistical clustering analyses in atom probe tomography. The study identifies Na clustering as a critical factor that accelerates the degradation of zeolite structures, emphasizing the necessity of selecting optimal Si/Al ratios to mitigate moisture-induced damage. These insights provide essential guidance for enhancing the stability and performance of zeolites in industrial applications.

[P29-4]

Nanoscale VC Precipitation and Its Role in Enhancing Shape Memory Effect of Fe-Mn-Si SMAs: Yun Jane, Ji Young Kim, Thiri Shwe Sin, Eun Soo Park *(Seoul National University)

Keywords: Shape Memory Alloys, Precipitation, Reversible Martensitic Transformation, Shape Memory Effect (SME)

large and stable recovery stress is critical for effective prestressing in concrete columns. While VC precipitates are known to enhance recovery stress via matrix strengthening, this study reveals that their size distribution and spatial arrangement influence the shape memory effect (SME) feature as well. VC Precipitate behavior was characterized using in-situ SAXS and synchrotron X-ray diffraction, confirming 6–30 nm carbides formation along grain boundaries and within the matrix. Interestingly, TEM analysis revealed that stacking faults develop alongside carbide precipitation, as Shockley partial dislocations accumulate near precipitates due to lattice mismatch. VC precipitation, due to increased stacking faults, thus contributes not only to precipitation hardening but also to the enhancement of reversible martensitic transformation. This study establishes a direct correlation between nanoscale precipitate structures and macroscopic SME performance, providing a basis for microstructural optimization of Fe-based SMAs.

[P29-5]

High-throughput binary-state scanning probe microscopy using elastomeric tip array: Han Jihoon, Wooyoung Shim*(Yonsei Univ.)

Keywords: SPM, AFM, Elastomer tip-array

Recently, many lithography methods using scanning probe microscopy (SPM) have been reported. Experiments were conducted using atomic force microscopy (AFM) software designed for lithographic purposes. These methods have led to the achievement of high resolution and low cost. However, there is still a challenge due to limitation of cantilever-based scanning probe system. Additionally, the recent significant issues are miniaturization and high integration of various devices. The nano-scale materials are excellent solutions for these issues. However, the controlled assembly of nanowire is a key challenge in the development of a range of bottom-up devices. Nano-scale combing assembly technique can be a solution. However, nano-scale combing technique needs electron-beam (e-beam) lithography accordingly it also causes high cost and throughput problem. Here, we present new lithographic methods that overcome these two issues. This method deals with the problems by combining the nano-scale combing technique with the hard-tip, soft-spring lithography method. We proceeded with lithography by attaching the hard tip arrays of a centimeter-scale to a scanning probe microscopy instead of a cantilever. High-throughput large-area patterns of nanoscale were obtained using this method. Additionally, assembly of nanowire can be achieved by combining this patterning process with nano-scale combing technique without e-beam lithography.

[P29-6]

Zn 코팅층 두께 측정 국제 숙련도시험 참가 결과: 현문섭*, 박경진, 차호일, 박윤창(나노종합기술원)

Keywords: KOLAS, 공인인증, 숙련도, Proficient Test,

나노종합기술원은 코라스 인증 시험기관(KT667)으로 역학시험, 전기시험 및 화학시험을 포함하여 총 3개 시험분야에서 ISO, KS, ASTM, SEMI 등 총 14개 시험규격을 통하여 산학연 연구자들에게 공인시험성적서 발급 서비스를 하고 있다. 또한 각 시험분야에서 3년에 1회 이상 숙련도 시험(시험기관간 비교시험, 측정심사)에 참가하여 인정분야의 측정수행 능력을 입증받고 있다. 본 발표에서는 해외숙련도 기관인 CompaLab에서 실시하는 “ILC (Interlaboratory Comparison) Determination of thickness of a Zinc coating, G25ZC” 숙련도 시험에 참가한 결과를 공유하고자 한다. 2025년 3월에 웹사이트(www.compalab.org)에서 숙련도 프로그램에 신청하여, 6월에 약 20 μm 두께의 Zn on Steel 샘플 6개를 받아 앞/뒤 면을 포함하여 총 12개의 단면 시편을 제작하였고, 7월에 ISO 9220:2022 시험규격에 따라 측정하여 그 결과값을 이메일로 제출하였다. 10월 추계 금속재료학회에서는 여러 국가의 실험실에서 제출한 측정값에 대한 숙련도 평가 결과를 공개할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 국내 6개 반도체/디스플레이분야 측정평가분석 시설과 공동으로 숙련도 시험을 진행하였으며, SEM을 이용한 100 nm 이하 박막 두께 측정 결과와 XPS를 이용한 비정질 IGZO의 정량 성분 측정 결과를 공유하고자 한다.

[P29-7]

다이캐스팅 금형의 표면 Texture(notch)에 의한 열피로 특성 변화 연구: 이락규*, 김용유, 김주업, 홍창완, 윤국태, 박희찬((재)대구기계부품연구원), 이수안((주)유림테크)

Keywords: 다이캐스팅, 표면 Texture, 노치효과, 열피로, Heat-checking

다이캐스팅 금형은 고온-고압 또는 충격 등 복잡하고 가혹한 환경에 노출되어 사용된다. 특히 고온의 용융 알루미늄과 지속적인 접촉으로 금형 표면은 인장-압축의 반복 응력 조건에서 사용되며, 시간의 증가에 따라 다이캐스팅용 금형강의 대표적인 손상기구인 Heat Checking(열피로 균열, Thermal Fatigue Cracking) 형태로 나타나게 된다. 기존 다이캐스팅 금형의 Heat Checking에 관한 연구는 주로 온도 및 유지시간에 따른 균열의 전파에 관해 다루어졌지만, 금형 표면의 texture에 따른 노치(notch)에서의 응력 집중 현상에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다이캐스팅용 금형의 표면에 크기(100um~500um)별 노치를 가진 시편을 사용하여 열피로 균열 전파에 관한 양상을 분석하였다. CAE 해석을 통해 노치에서의 응력 집중 현상과 실제 열피로 실험의 결과를 비교 해석하였으며, 열피로 특성은 알루미늄의 용융 온도(700°C)를 고려한 분위기에서 1000-3000 사이클의 가열과 냉각을 반

복하여 금형강의 표면에서 발생하는 균열의 양상을 분석하였다. (사사)본 연구는 2024년도 정부(산업통산자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 글로벌산업기술협력센터 공동연구R&D (P0028335)의 지원을 받아 수행 된 연구임

[P29-8]

다이캐스팅용 Al-alloy (Castasil37)에서의 조성 개량 (Mg, Ti, Zr, Sn)에 따른 주요 미세조직 (Al-matrix cell size, Eutectic Al-Si (size, fraction, lamella width), Intermetallic compound) 거동 관찰 : 홍창완*, 윤국태, 이락규, 김주업(대구기계부품연구원), 장대선(SJM), 윤상일(삼기), 양상규(대국정공)

Keywords: Die casting material, Al-alloy design (Castasil37), Al-matrix cell size, Eutectic Al-Si (size, fraction, lamella width), Intermetallic compound

다이캐스팅 주조는 정밀한 금형에 용탕을 주입해 높은 정밀도에서 주조표면이 우수한 복잡한 형상의 제품을 대량 생산하는 공법임. 주된 다이캐스팅용 소재 (용융금속)인 Al-alloy 합금의 기계적 특성과 관련된 미세조직 인자는 Al-matrix cell size, Eutectic Al-Si (size, fraction, lamella width), Intermetallic compound가 있으며 해당 미세조직은 생산 공정 및 조성에 의해 제어됨. 다이캐스팅용 Al-alloy 합금 설계는 열처리 및 냉각속도를 제어하는 방법과 조성개량을 통해 용탕 유동도 및 응고 거동을 해석하여 미세조직을 제어하는 방법이 주로 보고 됨 (Mollard, F. R., AFS Trans 95 (1987): 647)(Mondolfo, L. F. Butter Worths, London, 1." Ausgabe, S 72 (1976)). 열처리 및 급랭을 통한 응고속도 제어는 현장 공정 내 정확한 냉각속도의 제어가 어려우므로 조성 개량을 통한 미세조직 제어 방법이 비열처리용 다이캐스팅 제품의 주된 합금 설계에 적용되고 있으며 이를 통해 개발된 대표적인 다이캐스팅 합금으로서는 ADC12, Castasil37, Magsimal59, Silafont36 등이 있음. 따라서 본 연구에서는 Castasil37의 합금을 base로 특정 원소들(Mg, Ti, Zr, Cu, Sn)을 개량하여 기계적 특성(인장강도, 연신율)을 향상시키는 연구를 진행하였음. 합금 조성개량에 따른 주요 미세조직 인자인 Al-matrix cell size, Eutectic Si (size, fraction), Intermetallic compound의 거동을 OM 및 SEM (EDS, EBSD)을 이용해 관찰하였음. 인장 시험은 다음과 같은 판상 인장 시편으로 가공하여 ASTM-E8 sub size 규격에 따라 상온, 대기 분위기, 3mm/min (Instron-8561) 조건으로 인장 시험을 하였음. 즉 다이캐스팅용 소재 Castasil37에서 Mg 첨가를 통해 (#2-alloy) Eutectic Al-Si를 미세화하여 연성 증가 효과를 확인하였고, 두 번째로 Cu, Sn 첨가를 통해 (#3-alloy)로서 Intermetallic compound 상인 조대 FexMny MoxMnySiz (10 μm ~ 50 μm)상 및 미세 CuxSny (100nm ~ 1 μm)상을 최적화 함으로써 인장 강도와 연성을 최적화 (#3-alloy) 할 수 있었음. 사 사 : 이 연구는 2024년도 정부(산업통산자원부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 자동차산업기술개발사업-그린카(RS-2024-00406194)의 지원을 받아 수행 된 연구임.

[P29-9]

결정구조 분석용 시편제작 및 측정시스템 구축: 박가현, 박경진*, 현문섭, 이명근, 박윤창(나노종합기술원)

Keywords: CP, FIB, SEM, EBSD, TKD

물질의 결정구조 및 방향성 분석에는 정지질량이 없는 X-선과 질량을 가지고 있지만 파동처럼 움직이는 전자의 회절을 이용한 방법이 주를 이룬다. 특히 수차보정 전자기렌즈를 사용하여 원자크기보다 작으면서도 밀도가 높은 전자빔을 생성할 수 있고, 이를 이용하면 나노 단위에서는 매우 쉽게 결정패턴을 측정하는 가능하다. 특히 반도체 기술의 발전과 더불어 검출기의 성능이 크게 향상되어 현재로는 단일 전자도 검출하는 시대가 도래하였으며, 측정시간도 약 10분 정도로 빨라지면서 그 활용이 크게 확대되고 있다. 본 발표에서는 산학연 지원을 위해 나노종합기술원에서는 설치된 FIB, SEM, TEM에 회절분석 장치를 설치하여 벌크/특정영역, 단면/평면 뿐만 아니라 3차원 결정구조 분석용 측정 플랫폼을 구축하여, 일부 산학연 시범 서비스를 시작하고 있으며, 이를 활용하여 2차전지 및 반도체 분야에서 사용되는 금속 Li, 양극제, μ-bump, 금속박막위에 유전물질 제거 및 금속박막의 결정배향 분석한 사례를 소개하고자 한다. 시편제작 방법으로는 기계적연마, 단면이온밀링, 원자층이온밀링 집속이온빔을 활용하였으며, 결정구조 분석으로는 EBSD, TKD, 4D STEM을 활용하였다.

[P29-10]

고크롬 백주철의 Cr 함량과 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 비교: 김봉고*, 김동배, 이영민((재)대구기계부품연구원), 강래철((주)영신특수강)

Keywords: High Chromium Cast Iron, Wear Resistant Steel, Heat Treatment

고크롬 백주철(High Chromium Cast Iron)은 내마모 특성 및 내식성이 우수하여 광업, 시멘트 산업, 석탄 및 에너지 산업 등에서 다양한 부품들로 사용되고 있다. 그 중 프리캐스트 콘크리트 제조용 익스트루더 스크류는 약 30% 크롬 백주철 소재가 적용되고 있다. 본 연구에서는 원가절감을 위하여 Cr 함량을 낮추면서 CVF 25% 이하로 주조한 다양한 조성의 W-Block을 활용하여 열처리 조건에 따른 특성을 비교 분석하였다. 함금설계를 위하여 C와 Cr의 함량을 달리한 4가지 조성에 대하여 Thermo-Calc로 응고시 예상되는 응고모드 및 석출상을 분석하였으며, 주조된 시제품을 어닐링 후 퀜칭 및 퀜칭 + 템퍼링 처리하였다. 주사전자현미경을 통하여 미세조직 및 탄화물을 관찰하였으며, XRD로 “Miller”법을 이용한 잔류오스테나이트를 확인하였다. 이후 경도, 항절력, 마찰마모 시험을 통하여 기계적 특성을 비교하여 최적 Cr 함량 및 열처리 조건을 도출하였다. (사사)본 연구는 중소벤처기업부의 구매조건부 신제품개발사업(S3346894)의 지원을 받아 수행된 과제임.

[P29-11]

실시간 가열 주사전자현미경과 EDS를 활용한 고온 재료 분석 기술: 이승민, 김충복, 김재덕, 강성, 허윤, 이창희, 박정재*(포항산업과학연구원)

Keywords: 실시간 가열 주사전자현미경, 에너지분산형 분광분석(EDS), 고온 재료 분석

전통적인 주사전자현미경(SEM) 관찰은 상온에서 정적 분석에 국한되어 있어, 고온 환경에서 발생하는 동적 변화를 직접 파악하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 실시간 가열 주사전자현미경(in-situ heating SEM)을 활용하여 고온 상태에서 재료의 미세조직 변화를 관찰할 수 있는 분석 기술을 소개한다. 특히, 온도 구간별로 에너지분산형 분광분석법(EDS)을 병행하여 원소 조성 변화를 실시간으로 확인함으로써, 미세조직 변화와 원소 분포 변화를 동시에 해석할 수 있음을 제시하였다. 이러한 방법으로 산화, 상변태, 결정립계 이동, 미세균열 발생 등 다양한 고온 현상을 보다 정밀하게 추적할 수 있으며, 기존 상온 분석의 한계를 보완한다. 나아가 합금, 세라믹, 이차전지 소재 등 다양한 분야에서 고온 열화 메커니즘 규명과 공정 최적화에 기여할 수 있는 새로운 분석 방법으로 활용 가능성을 보여준다.

[P29-12]

대기비개방 측정플랫폼을 이용한 금속 리튬의 결정구조 분석: 박경진*, 현문섭, 박가현, 박윤창(나노종합기술원)

Keywords: 리튬, 대기비개방, 제논플라즈마, 후방산란, 기쿠치패턴

대기와 반응성이 높은 물질의 미세구조 및 결정구조를 측정하는 과정에서 결정(Crystal)을 비정질(Amorphous)로, 순수(Pure)물질을 산화물(Oxide) 또는 복합 화합물(탄소질소산소화합물) 상으로, 원 시편이 아닌 손상된 구조를 관찰하는 경우가 많이 있다. 특히 Li 금속을 이용한 배터리 소재의 경우, 시편 준비 과정에서 대기(Air) 나 질소(N2) 가스에 노출된 시편은 상호 반응하여 원래의 소재와 전혀 다른 물질로 변하게 된다, 이러한 손상을 방지하기 위하여 환경이 제어된 글로브박스을 이용하여 시편 준비 뿐만 아니라, 현미경과 같은 측정장비내 진공으로 이동시까지 손상없이 분위기와 시편준비 과정의 손상이 없음을 확인되어야 한다. 본 발표에서는 환경 제어된 글로브박스와 연계된 냉각 Ar+-CP-SEM-EBSD, Xe-플라즈마-FIB-SEM-EBSD, TEM-Diffraction을 이용하여 순수 Metal Li의 미세구조를 분석한 사례를 소개하고자 한다.

P30 : 생체재료
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P30-1]
Development of a Composite Filler for Oral Tissue Regeneration Using Magnesium-Substituted Apatite: MINSEONG CHAE(University of Ulsan, Seoul National University), Yoon-Ji Kim, Jin-Yong Jeong(University of Ulsan College of Medicine), Hojeong Jeon, Yu-Chan Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Kyungwoo Lee, Hyunwoo Han, Jinkyung Son(BMPort), Kang-Sik Lee*(University of Ulsan)
Keywords: Tissue restoration, Metal ion substituted apatite, Hyaluronic acid, Biomaterials

Open gingival embrasure (OGE), also known as the 'black triangle,' refers to interdental soft tissue recession and loss due to aging and periodontal disease, causing aesthetic and functional discomfort. Traditional hyaluronic acid (HA) fillers have limitations due to rapid absorption in vivo. In this study, we developed a composite Mg-apatite-hyaluronic acid (MgAp-HA) filler incorporating magnesium-substituted apatite (MgAp) as a matrix to decrease diffusion-driven absorption and enhance filler retention. To establish an OGE recession model, a 5-mm spring U-shaped wire, matching the length of interdental papillae, was inserted interdentally in rats for 7 days to intentionally induce papilla recession. Papilla distance (PD), measured from root to papilla tip, was assessed to evaluate the recession rate. After recession induction, Mg·HA, HA and Phosphate-Buffered Saline (PBS), fillers were injected into the interdental papillae. PD changes were recorded at 1, 7, and 28 days post-injection. Extracted tissues underwent Hematoxylin & Eosin and Masson's Trichrome staining to evaluate residual filler volume and collagen formation. The interdental papillae in the OGE model receded 0.86 ± 0.15 mm after 7 days. In the PBS group, recession continued post-injection. Mg·HA maintained consistently higher retention rates (65.3%, 56.4%, 47.0%) compared to HA (66.6%, 44.4%, 33.3%). Residual filler volume of Mg·HA was 1.89 times higher at day 1, 2.72 times higher at day 7, and 3.97 times higher at day 28 compared to HA. Collagen formation was also higher in Mg·HA at ratios of 1.03, 1.07, and 1.17 times at days 1, 7, and 28, respectively. These findings suggest that the matrix effect of MgAp plays a significant role in sustaining filler volume and enhancing collagen production. This research was supported by the Seoul Bio-Medical Technology Commercialization Support Project (BT230213).

[P30-2]
Piezoelectric Properties of Self-Assembled DNA Origami Films for Tissue Regeneration: Seok Jun Lee, Ju Hun Lee*, Chan Seok Lee*(한양대학교 ERICA)
Keywords: DNA Origami, Self-Assembly, Piezoelectricity, Tissue Regeneration, Bio-piezoelectric interface

DNA origami is a nanostructure fabrication technique that utilizes base-pairing property of DNA to form well-defined shapes in nanometer scale. Although the extensive research has been conducted on its applications in biosensing and drug delivery, studies on its piezoelectric properties remain significantly limited. Previous studies suggest that the DNA molecules exhibit piezoelectricity attributed to intrinsic asymmetric charge distribution. However, the correlation between nanoscale DNA structure and its macroscopic piezoelectric performance has not been elucidated. In this study, we fabricated high-density, self-assembled DNA origami films composed of 6-helix bundle (6HB) nanostructures via evaporation-induced self-assembly method. The nanoscale piezoelectric property of films was characterized using piezoresponse force microscopy (PFM). The piezoelectric DNA origami films have the potential to provide a novel biocompatible platform for applications in tissue regeneration and cell differentiation, where localized electrical stimulation plays a critical role in modulating cellular behavior. The outcome of this work may contribute to the development of next-generation bio-piezoelectric interfaces that integrate nanoscale precision with functional piezoelectricity.

[P30-3]
Periodic and Repeated Photodynamic Therapy with Photoactive Self-expandable Catheter to Enhance Therapeutic Efficacy for Esophageal Carcinoma: Seung Jin Eo(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center), Hyeonseung Lee, Kun Na(The Catholic University of Korea), Do Hoon Kim(University of Ulsan College of Medicine), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)
Keywords: stent, catheter, esophageal cancer, photodynamic therapy, aluminum-phthalocyanine

Localized photodynamic therapy (PDT) using a photoactive stent-based catheter represents a novel therapeutic strategy for esophageal carcinoma. The local PDT system directly delivers reactive oxygen species (ROS) to the esophageal mucosa, but damaged mucosa via oxidative stress is gradually recovered within 3–4 weeks and it is significant limitation for clinical application. Thus, we investigated whether repetitive and periodic PDT using the aluminum phthalocyanine tetrasulfonate (Al-PcS4)-embedded stent-based catheter could maintain therapeutic outcomes. Al-PcS4 was uniformly embedded in silicone membranes via coordination bonding to form a photodynamically active stent-based delivery system. Repeated PDT effectively enhanced cell death rates in KYSE-70 cells. In the xenograft model, MRI-based volumetric analysis revealed that the tumor volume in the third PDT group (57.40 ± 9.26%) was

significantly decreased compared with those in the control (212.07 ± 38.44%, $p < 0.001$) and once (130.77 ± 11.25%, $p = 0.018$) groups, with extensive necrotic tumor destruction confirmed by histological findings. Repeated PDT at one-week intervals was technically successful in the porcine esophagus, resulting in progressive mucosal injuries, luminal narrowing, and histologically verified necrotic changes. The repeatable PDT system has the great potential to effectively prolong the therapeutic effects of esophageal carcinoma. The minimally invasive photoactive stent-based catheter system seems to be an effective and safe promising approach to locally treat esophageal carcinoma.

[P30-4]

Preclinical Evaluation of a Duodenal Metallic Bypass Sleeve for Nutrient Malabsorption-Induced Weight Loss in a Porcine Model : Ji Won Kim, Dong-Sung Won(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center), Hwoon-Yong Jung(University of Ulsan College of Medicine), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)

Keywords: Obesity, Nutrient Absorption, Duodenal-Metallic-Bypass-Sleeve, GIP, GLUT-1

Objectives: This study aimed to investigate the efficacy and safety of a duodenal-metallic-bypass-sleeve (DMBS) to suppress nutrient absorption for treating obesity in a porcine model. Materials and Methods: The DMBS consists of a round disc at the pylorus to prevent migration and a silicone-covered metallic stent placed in the duodenum to inhibit nutrient absorption; were connected by four pillar wires. Twelve pigs were divided into four groups. Group A was control. Group B received DMBS for 4 weeks. Group C received DMBS for 4 weeks followed DMBS removal for 4 weeks. Group D received DMBS for 8 weeks. The therapeutic effects were assessed by comparing the results of endoscopy, fluoroscopy, hormone levels, weight changes, and histological examination. Results: Endoscopic DMBS placement and removal was technically successful. The percentage of total body weight gain (%TBWG) was significantly suppressed in the DMBS-treated groups compared with the control group (all $p < 0.001$). The %TBWG gradually increased after DMBS removal in the group C. All hematologic results were within normal ranges. Mucosal injuries with fibrotic changes were observed in the DMBS-treated groups. The degree of inflammatory cell infiltration and epithelial layer and submucosal thicknesses were significantly increased and the anti-GIP, GLP-1, and GLUT1 positive depositions were significantly increased in the DMBS-treated groups. Conclusions: DMBS placement was effective and safe to suppress weight gain in a porcine model. DMBS-related complications such as migration, jaundice, and pancreatitis did not observe during the follow-up period. DMBS seems to be a novel minimally invasive bariatric endoscopic option for treatment of obesity.

[P30-5]

Detachable Microneedle Patch for Localized EW-7197 Delivery Suppresses Fibrotic Scar Formation via TGF-β Modulation in Wound Healing: 박유빈(Hanyang University, Asan Medical Center), 이강주(Incheon National University), 박정훈*(Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine)

Keywords: Microneedle, EW-7197, Wound healing, Localized drug delivery, TGF-β

Severe dermal wounds frequently cause fibrotic scarring due to excessive transforming growth factor beta (TGF-β) signaling. To promote wound healing outcomes, this study presents a detachable microneedle (d-MN) patch designed for localized and sustained delivery of the selective TGF-β inhibitor EW-7197. The d-MN is composed of up of poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA) drug tips and an SU-8 substrate, which allows for rapid tip detachment and sustained drug release. In vitro and ex vivo studies demonstrated sustained EW-7197 release and >96% detachment efficiency. In a rat excisional wound model, the animals were divided into three groups: control, d-MN, and d-MN@EW-7197. The d-MN@EW-7197 group showed significantly enhanced wound closure, angiogenesis, and reduced inflammatory infiltration. Histological and immunohistochemical analyses revealed decreased dermal fibrosis, collagen deposition, α-SMA, and Ki67 expression in the d-MN@EW-7197 group. These outcomes indicate suppression of fibrotic scar foramation via localized TGF-β modulation The detachable microneedle system, with its proven mechanical property, sustained local delivery capability, and antifibrotic effects, offers a promising therapeutic strategy for suppressing abnormal wound healing and preventing hypertrophic scar formation.

[P30-6]

전극 안정성 향상을 통한 장기간 사용 가능한 체내 삽입형 의료기기용 생분해성 이차전지: 이유림(서울대학교), 최성근(한국과학기술연구원), 강세훈, 강승균*(서울대학교)

Keywords: 생체재료, 삽입형 의료기기, 배터리

체내 삽입형 의료기기의 장기 구동을 위해서는 고에너지·고안정성의 생분해성 전력원 개발이 필수적이다. 그러나 기존 생분해성 전지는 낮은 에너지 밀도와 단회 사용의 한계로 인해 장기간 사용에 제약이 있다. 본 연구에서는 Zn–MoO_3 기반 생분해성 이차전지를 설계하여 용량을 향상시키고 반복적인 충·방전 운용을 가능하도록 하여, 체내 삽입형 의료기기의 안정적 장기 구동을 위한 전지를 개발하고자 한다. 이를 위해 전도성 첨가제를 도입하여 전극 내 전자 및 이온 전도 경로를 확보하고, 활성물질 활용도를 극대화함으로써 전기화학 반응 효율을 향상시켰다. 또한 음극 표면에 다층 보호 코팅 기술을 적용하여 수분 및 불필요한 이온 침투를 제어하고 덴드라이트 성장과 부산물 생성을 효과적으로 억제하였다. 더불어 양극 전극에서는 이온 전도성과 전극 구조 안정성을 동시에 고려한 바인더를 통하여 전극의 기계적 안정성과 충·방전 내구성을 개선하였다. 이러한 복합적 전극 안정화 전략을 통해 제안된

이차전지는 기존 생분해성 전지 대비 전기화학적 성능과 장기 신뢰성을 향상시켰으며, 차세대 체내 삽입형 의료기기용 고성능 생분해성 전력원 설계에 새로운 가능성을 제시한다.

[P30-7]

SLM 적층제조 Ti-6Al-4V 합금의 열처리 조건에 따른 TiO_2 산화층 결정상 비율 제어 및 표면 물성 평가: 이유진, 이용건, 이권준, 임세영(아주대학교), 유휘근, 성지원, 이충현(아주대학교, (주)알파에이아이), 안병민*(아주대학교)

Keywords: selective laser melting, TiO_2 dual crystal phase, Thermal oxidation, surface and interface modification, Ti-6Al-4V

의료용 삽입재로 널리 활용되는 Ti-6Al-4V 합금은 우수한 강도와 생체적합성을 갖추고 있으며, 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM)공정을 통해 정밀하게 구현할 수 있다. 또한, 표면에 TiO_2 적용을 통해 세포 부착성을 향상시키고 골유합 성능을 증가시킬 수 있다. TiO_2 결정상의 종류인 anatase는 높은 표면에너지로 친혈성이 강하며 단백질 흡착이 용이하고, rutile은 화학적·구조적 안정성이 높아 장기적 사용에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 열처리를 통해 Ti-6Al-4V 표면에 TiO_2를 적용하고 anatase와 rutile 결정상 비율에 따른 표면 및 접합 물성을 평가하고자 한다. Ti-6Al-4V 다공성 격자 구조체는 SLM 공정으로 제작한 후, 산화 열처리의 온도를 조절하여 표면에 anatase와 rutile 결정상을 형성하고, 그 비율을 조절하였다. 결정상 비율과 미세조직은 X선 회절(X-ray diffraction, XRD)과 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 통해 분석하였다. 또한, confocal laser scanning microscope(CLSM)로 거칠기를 측정하여 표면 미세 형상을 확인하였다. TiO_2 층의 접합 물성 평가를 위해 비커스 경도시험과 나노인덴테이션 기반 스크래치 시험을 수행하였으며, 이는 열처리 조건에 따른 산화층의 계면 결합력 변화를 간접적으로 비교하는 결과로 활용하였다. 이러한 분석을 통해 anatase-rutile 비율 변화와 표면 및 접합 물성의 상관관계를 확인하였으며, 이는 장기적 내구성 확보 및 생체 삽입재로의 적용에 기여할 수 있을 것이다.

[P30-8]

Multifunctional Self-Healing Polyurethane Coating for Biodegradable Coronary Stents: 조서현(Korea Institute of Science and Technology, Seoul National University), 김영민(Korea Institute of Science and Technology), 선정윤*(Seoul National University), 김유찬*(Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Polyurethane coating, Biodegradable Stent, Coronary stent, Self-healing polymer, Zinc chelation, ROS scavenging, Hemocompatibility, Endothelialization

Cardiovascular disease remains the leading cause of mortality worldwide, with myocardial infarction driven by atherosclerosis being particularly critical. Although drug-eluting stents (DESs) with polymer coatings have improved clinical outcomes by enabling local drug delivery, their permanent implantation and impaired endothelialization due to antiproliferative drugs remain major challenges. In this study, we developed a multifunctional polyurethane (PU) coating synthesized via magnetic-stirrer polymerization, incorporating self-healing, anticoagulant, and reactive oxygen species (ROS)-scavenging properties. Self-healing was enabled through Zn^{2+}-mediated dynamic coordination, allowing efficient microdefect repair and prolonged coating durability. In addition, L-carnitine end-groups were introduced to suppress platelet adhesion, reduce oxidative stress, and enhance hemocompatibility. Compared with conventional polycaprolactone and non-chelating control coatings, the novel PU demonstrated superior mechanical stability, excellent self-healing efficiency, and favorable biological responses. The PU coating promoted endothelial cell proliferation, maintained high cell viability, and displayed controlled degradation without cytotoxic effects. These synergistic features are anticipated to overcome the limitations of current DES coatings by reducing restenosis and thrombosis, while simultaneously supporting vascular regeneration. Thus, this multifunctional polyurethane represents a promising coating material for blood-contacting medical devices, particularly biodegradable coronary stents.

[P30-9]

3D Nanonetworked Silica-Hydrogel Coating on Nitinol Self-expandable Metallic Stents for Anti-Migration: Song Hee Kim(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center), EunYoung Jeon, Sukyoung Kim(Hanyang University), Do Hoon Kim(Asna Medical Center, University of Ulsan College of Medicine), Joonseok Lee(Hanyang University), Jung-Hoon Park*(University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center)

Keywords: Hydrogel, 3D-nanonetworked silica film, Stent migration, Esophageal stricture, Anti-migration

Stent migration remains a significant challenge in the management of esophageal strictures, necessitating the development of innovative anti-migration strategies. A novel hydrogel (HG)-nanonetworked silica film (NSF) coated self-expandable metallic stent (SEMS) for preventing stent migration is developed in this study. The hydrogel-NSF coating demonstrates improved adhesion to stent surfaces and enhanced anti-migration properties. In vivo study using a rat esophageal model shows that HG-NSF@SEMS significantly reduces stent migration rates compared to HG@SEMS and control SEMS (0% vs. 40% vs. 83.3%; $p < 0.01$). Histopathological analysis shows significant differences in tissue response among the study groups (all $p < 0.05$). HG-NSF@SEMS significantly reduces tissue hyperplasia, epithelial thickness, inflammatory cell infiltration, collagen deposition, α-SMA expression, and Ki-67-positive cell proliferation compared to control SEMS (all $p < 0.001$). This study demonstrates the efficacy and safety of HG-NSF@SEMS in preventing stent migration, potentially improving clinical outcomes for patients with esophageal strictures by reducing the need for reinterventions.

[P30-10]

Biofunctional Synergy of Mg^{2+} and Zn^{2+} Ions in Promoting Neurogenesis from Neural Stem Cells: Kwon Jieun(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Hyewon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Korea University), Taeyeon Kim(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Ji-Young Lee(Korea Institute of Science and Technology (KIST)), Seohyeon Cho(Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul National University), Hyung-Seop Han, Yu-Chan Kim*(Korea Institute of Science and Technology (KIST))

Keywords: Magnesium, Zinc, Neural Stem Cell, Neurogenesis, Ion-based Therapy

Neural tissues have a markedly limited capacity for regeneration compared to other biological tissues, making functional recovery after traumatic injuries or degenerative diseases particularly challenging. Among the strategies proposed to address this issue, neural stem cell (NSC) transplantation has gained attention due to its ability to differentiate into neurons and glial cells. However, the therapeutic efficacy of NSC-based approaches remains limited by poor cell survival and insufficient proliferation and differentiation potential. In this study, we explored the combined effects of magnesium ions (Mg^{2+}), which play key roles in ATP synthesis and ion channel regulation and zinc ions (Zn^{2+}), which regulate the cell cycle and gene expression on NSC behavior. Specifically, we examined how co-treatment with Mg^{2+} and Zn^{2+} influences NSC proliferation and differentiation. Our results revealed that simultaneous exposure to Mg^{2+} and Zn^{2+} significantly enhanced neurosphere formation, increased the expression of βIII-tubulin and MAP2, and promoted neurite outgrowth and the formation of structured neuronal networks. These outcomes indicate that the ion combination was more effective in inducing neurogenesis than either ion alone. These findings suggest that Mg^{2+}/Zn^{2+} co-treatment represents a promising strategy to overcome current limitations in ion-based neural regeneration therapies. Further work involving sustained-release biomaterials and in vivo validation will be required to fully realize its therapeutic potential in treating traumatic neural injuries and neurodegenerative disorders.

P31 : 재료강도
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P31-1]
선택적 레이저 용융 Ti-6Al-4V 합금의 α+β decomposition 유도를 위한 후열처리 조건 설계 및 기계적 특성 분석: 이아름, 한재연(국립창원대학교), 이지원, 최용혁(두산에너빌리티 AM개발팀), 홍현욱*(국립창원대학교)
Keywords: Ti–6Al–4V, Selective Laser Melting (SLM), α' martensite, α+β lamellar, α+β decomposition, Post heat treatment, Tensile properties

탄소중립 요구에 따라 경량소재의 중요성이 증대하며, 핵심 경량소재인 Ti–6Al–4V 합금은 우수한 비강도와 인성 특성으로 다양한 산업 분야에서의 적용 가능성이 높다. Ti64의 HCP-α 상과 BCC-β 상은 열처리에 의해 미세조직을 효과적으로 제어할 수 있으며, 높은 생산 비용 절감 및 복잡한 형상 구현을 목적으로 선택적 레이저 용융 (Selective laser melting, SLM)을 접목한 Ti64 합금 적층제조의 연구 필요성이 제기된다. 그러나 SLM 공정의 높은 냉각속도는 β 안정화 원소의 과포화를 유도하여 미세한 α′ martensite 조직을 형성한다. 해당 α’ martensite는 높은 강도를 가지지만 열위한 연성으로 인해 인성이 크게 저하되며, 산업적 활용을 위해서는 후열처리를 통한 α+β phase로의 조직 개선과 연성 및 인성 확보가 필수적이다. 본 연구는 As-built SLMed Ti-6Al-4V 합금의 온도, 시간을 변화시킨 후열처리를 적용하고, 이에 따른 미세조직적 진화와 상온 기계적 물성 변화를 체계적으로 분석하였다. 또한 높은 강도를 유지하면서 동시에 연신율을 향상시킬 수 있는 최적 후열처리 조건 도출을 목표로 하였다. As-built 시편은 미세한 lath α'-martensite 구조와 함께 lath 경계에 β 안정화 원소 (V, Fe)의 과포화 고용이 관찰되었으며, 전반적으로 균일한 조직과 410 Hv 이상의 높은 경도를 보였다. Stress-relief HT (593 ºC/2 hr/AC)는 α' martensite 구조를 유지하면서 lath 경계에서 나노 사이즈의 β 입자의 석출을 촉진함으로써 경도를 소폭 증가시켰다. 그러나 SLMed Ti-6Al-4V 합금에서 Annealing 이후 열처리 효과가 미비한 것으로 확인되어 Stress-relief HT 없이 Annealing을 통한 후열처리 조건을 최적화를 하였다. 800-950 ºC 범위의 고온 열처리는 β 안정화 원소의 확산에 의해 기존 α′ 구조는 α+β lamellar 구조로 분해되었으며, 열처리 온도와 시간이 증가할수록 lamellar 폭이 성장하면서 연성이 향상되었다. 특히, 950 ºC 1 hr 열처리 이후 완전한 α′→α+β decomposition이 확인되었으며, lamellar 폭은 약 1.8 μm, 경도는 약 375 Hv로 측정되었다. 이 조건에서 공정시간 단축과 함께 우수한 강도 및 연성 (Yield strength: 920 MPa, fracture Elongation: 15%)을 확보할 수 있었다.

[P31-2]
Effect of heat treatment time on the fatigue life of 304 stainless steel corrugated pipes: Park Jaehyeon, Yoon Suk Choi*, Hyunsu Lee(부산대학교)
Keywords: 304 stainless steel, heat treatment time, fatigue life

This study investigates the effect of heat treatment time on the fatigue life of 304 stainless steel corrugated pipes. Specimens in the as-received condition and after heat treatment for 16 and 38 minutes were evaluated. To evaluate the effect of heat treatment time, phase fraction analysis using electron backscatter diffraction (EBSD), hardness test, and rotating bending fatigue test were performed. As the heat treatment time increased, a decrease in the martensite fraction and a corresponding reduction in hardness were observed. The fatigue life was highest in the as-received condition, tended to decrease with heat treatment. Nevertheless, among the heat-treated specimens, those treated for 38 minutes exhibited a longer fatigue life compared to those treated for 16 minutes.

[P31-3]
AA6061 합금의 기계적 특성의 크기효과 및 변형속도 효과 분석: 백인섭(경상국립대학교), 팽정인(Max-Planck-Institute for Sustainable Materials), 이근호(국방과학연구소), 강성규*(경상국립대학교)
Keywords: AA6061, 크기효과, 변형속도 효과, 마이크로필라 압축시험

Al-Mg-Si 계열 석출경화형 합금인 AA6061은 우수한 강도 대비 경량성과 내식성을 바탕으로 항공기, 우주 구조물, 방위산업 부품 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용된다. 이러한 응용 환경에서는 변형속도가 건물이나 교량 하중 수준의 약 10^{-4} s^{-1}부터 항공기 사고 시의 10^{2}~10^{3} s^{-1}, 군사 분야의 10^{5}~10^{6} s^{-1}, 그리고 미세 우주쓰레기 충돌 시의 10^{9} s^{-1}까지 매우 다양한 변형속도 환경에 노출된다. 또한, 소재 및 부품의 소형화는 구조재료의 크기를 감소시키고 그로인해 기계적 물성이 크기에 따라 변화하는 크기효과가 보고되고 있다. 따라서 실제 사용 조건을 반영한 크기 효과와 변형속도 효과 분석이 필수적이다. 그러나 기존 연구는 주로 순수 금속을 대상으로 한 마이크로 스케일의 크기효과와 변형속도 효과 분석에 집중되어 있어 실제 산업에 활용되는 합금 재료에 대한 체계적 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 AA6061 합금을 대상으로 마이크로 스케일 압축시험을 수행하여 크기효과와 변형속도 효과를 분석함으로써 실제 응용 환경을 반영한 기계적 거동 변화를 규명하였다. 먼저 시편에 대해 SEM, EDS, EPMA 분석을 통하여 Mg_2Si 석출물의 존재를 확인하였다. 이후 EBSD 분석을 통해 결정 방향을 식별하고, 압축 하중 조건에서 Schmid factor를 계산하여 FCC slip system이 가장 많이 활성화될 수 있는 <001> 방향의 결정립을 선정하였다. 선정된 결정립에서 FIB(Focused Ion Beam)을 이용해 직경 약 1–10 μm 범위의 마이크로필라를 제작하였다. 동일 변형률 속도(0.002 s^{-1})에서 수행된 압축시험 결과, 필라 직경이 감소할수록 항복강도와 CRSS가 증가하는 전형적인 크기효과가 관찰되었으며, 이는 석출물 간 거리가 필라 직경보다 충분히 커 전위 거동이 필라 크기에 지배됨을 시사한다. 또한 동일 직경(2 μm) 조건에서 변형률 속도를 변화시킨

결과, 속도가 증가할수록 항복강도와 CRSS가 상승하는 변형속도 의존성이 확인되었다. 본 연구는 상용 알루미늄 합금의 미세 스케일 기계적 특성을 규명하고 극한 조건에서의 거동 메커니즘 이해에 기여한다.

[P31-4]

Al-Si-Mg-(Cu)-(Zr) 합금에서 열처리에 따른 석출상과 기공 생성 기구분석: 윤영준, 박찬우, 이언진(동국대학교 WISE캠퍼스), 송태웅(HYUNDAI SUNGWOO), 정창열*(동국대학교 WISE캠퍼스)

Keywords: A356, Cu, Zr, Al3Zr, Heat treatment, Porosity

경량화 요구가 증가함에 따라 A356 합금은 모빌리티 산업에서 널리 사용되고 있으며, 동시에 기계적 특성이 우수한 합금의 필요성이 커지고 있다. 그러나 A356 합금은 주조 과정에서 내부에 기공과 같은 결함이 발생하기 쉬우며, 이러한 기공은 소재 수명과 기계적 특성을 저하시키는 주요 원인으로 알려져 있다. 특히 열처리 과정에서 기공이 성장하는 현상에 대한 연구는 보고되고 있으나, 열처리와 더불어 전이원소 첨가로 인해 기공 성장 억제에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Cu 및 Zr을 첨가한 A356 합금에 대하여 용체화 시간 변화에 따른 분산상 거동과 기공률 변화를 분석하였다. 미세조직 관찰 결과, A356 및 0.5Cu 합금은 용체화 시간이 증가함에 따라 기공 성장과 병합이 촉진되어 기공률이 상승하였다. 반면, 0.2Zr 및 0.5Cu–0.2Zr 합금은 장시간 용체화 조건에서도 낮은 기공률을 유지하였으며, 이는 Zr 첨가에 의해 형성된 Al_3Zr 석출상이 기공 성장 억제에 밀접한 관련이 있음을 보여준다. 고온 인장 시험 결과, A356 및 0.5Cu 합금은 기공률 증가로 인해 신율이 저하된 반면, Zr 첨가 합금은 기공률 안정화 효과로 인해 고온 연성을 유지하는 경향을 보였다. 또한, 기공의 크기와 형상의 차이가 기공률에 미치는 영향을 다각적으로 비교 분석하였다. 이를 위해 주사전자현미경(SEM)과 EDS를 이용하여 기공 주변 석출상의 결정 구조와 기공의 형태를 정량적으로 평가하였으며, 3차원 CT 스캐닝을 통해 기공의 분포와 형상을 시각화하였다. 이상의 결과로부터 Zr 첨가 및 열처리 조건 변화에 따른 석출상 거동과 기공 특성 간의 상관관계를 체계적으로 규명하고자 하였다.

[P31-5]

Mn-Cu 합금의 3.5 wt.% NaCl 수용액 조건에서의 부식 피로 거동: 박준영, 목승민, 김상식, 강성규*(경상국립대학교)

Keywords: Mn-Cu alloy, High Cycle Fatigue, Corrosion, Microstructure

Mn-Cu 합금은 대표적인 고감쇠 합금으로, 우수한 내식성과 인장강도로 인해 해양 산업 분야에서 폭넓게 활용된다. 그러나 대부분의 합금은 부식 환경에서 피로 특성이 급격히 저하되는 것으로 알려져 있으며, Mn-Cu 합금의 부식 피로 거동에 관한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 주조된 Mn-Cu 합금을 실제 해수와 유사한 pH 7~8 범위의 3.5 wt.% NaCl 수용액에서 고주기 피로시험을 수행하고, 파면 분석 및 미세조직 관찰을 통해 부식 환경이 피로 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 부식 조건 노출 전, 초기 미세조직을 SEM-EBSD 분석을 통해 확인한 결과, Mn-rich 영역과 Cu-rich 영역으로 구분됨을 확인하였다. 또한 고주기 피로 시편의 미세조직 및 파면 분석을 통해, Mn-Cu 합금의 부식 피로 저항성은 내부의 주조 결함뿐 아니라 해수 부식에 따른 O 및 Cl 확산에도 크게 의존함을 확인하였다. 특히 Mn-rich 영역에서 선택적으로 부식이 발생하고 O와 Cl이 확산하는 현상을 EPMA 분석으로 확인하였으며, 이는 Cu의 높은 부식 저항성에 기인하는 것으로 추론된다. 본 연구를 통해 해수 환경에서 Mn-Cu 합금의 부식 피로 저항성에 영향을 미치는 미세조직적 요인을 확인하였고, 이는 향후 Mn-Cu 합금 기반 해양 구조물 및 부품의 수명 예측과 내식성 향상 설계에 필요한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 예상된다.

[P31-6]

열화상 기법을 활용한 Al-Si-Mg-(Cu)-(Zr) 합금의 초고주기 피로 파괴 분석: 박찬우, 윤영준, 이언진, 정창열*(동국 wise 대학교)

Keywords: A356, Cu, Zr, Very-high-cycle fatigue, Fracture morphology, Infrared, Thermography

환경 변화에 대응하기 위해 수송기기 부품의 경량화는 필수적이지만 동시에 내구성 확보는 핵심 과제로 대두되고 있다. 부품의 내구성은 피로 특성과 밀접한 관계가 있으며 실제 작동 조건에서의 수명을 파악하기 위해서는 108 cycle 이상의 초고주기 피로 평가가 요구되지만, 평가에 장시간이 소요되어 충분한 연구가 이루어지지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 A356 합금에 대하여 Cu 및 Zr 첨가에 따른 초고주기 피로 특성을 평가하고 응력 조건 및 cycle 진전에 따른 시편의 미세온도 변화와 이에 따른 파단 양상을 분석하였다. Cu 및 Cu + Zr 첨가 합금에 대한 일반적인 고주기 피로를 평가하였을 경우, 107 cycle 에서 파단이 발생하지 않는 피로한 응력이 상온에서는 각각 110 MPa 과 120 MPa, 그리고 고온(250°C)에서는 70 MPa 과 75 MPa 으로 나타났다. 그러나 해당 피로한 응력 조건에서 초고주기 피로를 진행한 결과, 108 ~ 109 cycle 까지의 다양한 피로 수명이 나타났고, 수명에 따라 표면균열 및 내부균열 등 다른 파단 양상을 나타내었다. 피로 주기 동안 열화상 기법을 적용하여 피로 시편의 미세온도 변화를 측정할 수 있었으며, 응력 조건 및 합금조성의 변화와 더불어 균열생성 및 진전에 따라 온도 변화 경향이 다르게 나타남을 확인하였다. 이러한 결과로부터 A356 합금의 첨가 원소에 따른 초고주기 피로 특성 평가 및 열화상 온도 변화 측정을 진행하여 균열생성 및 파단 양상과의 상관관계를 파악하고자 하였다. 본 연구는 정부의 재원으로 한국에너지기술평가원 [20214000000010]과 한국연구재단 [LINC 3.0 1345370693]의 지원을 받아 수행된 연구임.

[P31-7]

Fe-22Mn-8Al-0.9C 경량철강의 저주기 피로에서 Cyclic Softening/Hardening 전이와 전위 거동 간의 상관 관계 고찰: 주하연, 김시연(국립창원대학교), 고의석(현대스틸파이프 생산기술연구소), 김치원, 박성준(한국재료연구원 극한재료연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)

Keywords: Lightweight steel, Low cycle fatigue, Cyclic hardening, Dynamic Strain Aging

에너지 발전산업의 효율향상과 온실가스 저감이라는 사회적, 경제적 요구에 발맞춰 고비강도 소재에 대한 연구개발이 진행되고

있으며, 후보 소재로 FeMnAlC 합금계의 경량철강이 고려되고 있다. 발전용 저압터빈 블레이드의 적용 환경을 고려할 때, 피로 특성은 필수적으로 요구된다. 이에 따라 본 연구에서는 발전용 저압터빈 블레이드 적용을 위한 FeMnAlC 경량철강소재의 저주기 피로 거동을 해석하고자 하였다. 본 연구의 합금은 오스테나이트계 경량철강 Fe-22Mn-8Al-0.9C이며, 용체화 처리 후 550°C/6시간 시효 처리하여 경량 철강의 주요 강화 인자인 κ-carbide의 석출을 유도하였다. 그 결과 미세조직은 오스테나이트 기지에 약 10nm 수준의 미세하게 석출된 κ-carbide로 구성되었다. 상온 인장 특성은 항복점 (818 MPa) 이후 인장강도 1051 MPa로 우수한 가공경화뿐만 아니라 46%의 높은 연신율을 나타내었다. TEM을 통한 파단부 미세조직 관찰 결과 Shear-band Induced Plasticity 변형 기구가 지배적인 것으로 확인되었다. 다음으로 핵심 요구 특성인 상온/200°C 저주기 실험 결과 (total strain range, $\Delta\varepsilon t$ = 0.8~2.0%), 상온에서는 Cyclic softening이 지배적으로 발생하고, 200°C에서는 Cyclic hardening이 발생하였다. 또한 상온과 달리 200°C에서는 Hysteresis loop에 serrated flow가 관측되었다. DSA의 따른 Cyclic hardening을 규명하기위해 추가적으로 여러 온도에서 (RT~400°C) 저주기 피로 시험을 진행하였고, Cyclic softening을 규명하기 위해 상온에서 저주기 피로 수명이 5,000 Cycles인 total strain range, $\Delta\varepsilon t$ = 1.4% 조건에서 1,000 cycles, 3,000 cycles 시편과 피로 파단된 5,000 cycles 시편의 전위 거동을 관측하여 본 연구 합금의 저주기 피로 변형 동안 전위 evolution과 Cyclic softening 및 Cyclic hardening 상관성에 대해 고찰하였다.

[P31-8]

초고강도강 가스메탈아크용접 용접부 폭파변형 특성: 박시욱*, 함진희, 김용진, 송정규, 양성호(국방과학연구소)

Keywords: 잠수함, 초고강도강, 폭파변형, 용접

1950년대 미(美) 해군연구소(Naval Research Laboratory, NRL)는 철강 소재 용접부의 성능을 결정하는 요인을 규명하기 위한 연구를 지속적으로 수행해왔다. 이 연구에는 폭파균열생성시험(Crack Starter Test, CST)과 폭파변형시험(Explosion Bulge Test, EBT)을 통한 성능 평가가 포함되었다. 이러한 연구들과 더불어 연강(mild steel), 저합금강(low alloy steel), 담금질 및 템퍼링(quench and tempering, Q&T)강에 대한 다양한 실험을 통해 NRL은 특정 구조물의 운용 중 발생할 수 있는 고장을 방지하기 위한 설계 개념을 정립하게 되었다. 이러한 개념에 따르면 잠수함 선체, 어뢰 방어 시스템 등과 같은 구조물은 폭발 공격이 가해졌을 때 예상되는 막대한 구조 변형을 견딜 수 있도록, 최대한의 강도(strength)와 노치 인성(notch-toughness)을 겸비한 재료를 필요로 한다. 본 연구에서는 초고강도강 가스메탈아크용접(GMAW) 용접부에 대해 폭파시험(CST, EBT)을 실시하여 용접부 변형 특성에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과 해당 소재 용접부는 약 -5°C~-2°C영역에서 높은 변형률 속도의 폭압 하중을 받았을 때 취화가 발생하는 것으로 확인되었다.

[P31-9] Canceled

극저 C함량을 갖는 후판강의 다층용접부 미세조직과 저온 파괴인성: 최동기*(서정대학교)

Keywords: High strength low alloy steel, CVN, CTOD, FCAW, Multi-passes

극한지 환경에서는 영하 수십도 이하의 극저온 조건이 지배적이며, 이러한 조건은 플랜트 구조물에 반복적인 극저온 피로 하중을 유발하여 철강 재료의 기계적 성능 저하와 함께 구조물의 안전성과 내구성에 심각한 영향을 미친다. 이에 따라 선급기관은 해양 플랜트 구조물에 적용되는 강재 및 용접부에 대해 저온 성능을 보증하도록 규정하고 있다. 특히 CVN(Charpy V-Notch) 충격 시험과 균열 선단 개구 변위(Crack Tip Opening Displacement, CTOD) 성능을 요구하고 있다. 따라서 극저온 환경에 적용되는 구조용 강재는 고강도와 함께 우수한 인성을 갖춰야 하며, 용접부 역시 저온 조건에서 충분한 파괴인성을 확보해야 한다. 본 연구에서는 항복강도 460 MPa급, 두께 80~100 mm TMCP 강재를 대상으로 K형 개선의 Butt 이음부를 플럭스코어드아크용접(Flux-Cored Arc Welding, FCAW)으로 다층 용접하였다. 용접은 80% Ar – 20% CO_2 보호가스를 사용하고, 선급 규정 EN 10225에 준하는 입열량 7.0±2.0 kJ/cm 조건에서 MAG 방식으로 수행하였다. 용접시험편은 중간 두께에서 CVN 시편을, 전 두께를 활용해 파괴시험 시편을 각각 채취하였다. 이후 용접부의 금속학적 미세조직을 관찰하고, HAZ(열영향부)에 대한 저온 충격 시험(CVN) 및 파괴인성 시험을 수행하였다. 그 결과를 바탕으로 저온 충격 인성에 영향을 미치는 연성-취성 천이 거동과 파괴인성 특성 간의 상관관계를 고찰하고, 주요 파괴기구를 제시하였다.

[P31-10]

Relationship between tempering temperature and mechanical properties in cast steel for railway components: Seo Namhyuk, Bongseok Kwak, Ji-Woo Park, Min-Su Kim*(KITECH)

Keywords: casting steel, tempering temperature, low-temperature impact toughness, microstructural characteristics

AAR M-201 Grade C steel is a high-strength and high-toughness alloy steel used in critical railway components such as couplers, axles, and suspension parts, which are subjected to severe loads and impacts. Ensuring adequate impact toughness under low-temperature conditions is essential for such applications. Low-temperature impact toughness is closely related to microstructural characteristics, including carbide distribution, bainite formation and fraction, and ferrite grain size. In particular, uniformly distributed fine ferrite and an appropriate fraction of bainite play a key role in suppressing crack propagation and improving low-temperature impact toughness. Furthermore, variations in tempering temperature influence the size and distribution of carbides within bainite, as well as ferrite grain size and bainite lath thickness, thereby affecting low-temperature impact properties. In this study, the Fe-1.3Mn-0.4Si-0.3Ni-0.2C cast steel alloys were solution-treated at 900°C for 4h followed by water quenching, and then tempered at 550-650°C for 4h followed by air cooling. The microstructural changes induced by tempering temperature were analyzed using optical microscopy

and field emission scanning electron microscopy, and the mechanical properties were evaluated through tensile test, impact test, and Brinell hardness measurements. The correlation between microstructural characteristics and tempering temperature was analyzed to reveal its effect on the low-temperature properties of this alloy.

P32 : 가공-열처리
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P32-1]
2단계 공정의 저온질화침탄이 AISI 316L에 미치는 영향: 김현진, 김준호*(한국생산기술연구원)
Keywords: 열처리, 침탄, 질화, 스테인리스강
스테인리스강, 니켈 및 코발트 기반 합금의 표면 경도와 내식성을 향상시키기 위해 질화 또는 침탄 기반의 저온열화학표면처리 공정이 연구되고 있다. 해당 공정들은 침입형 원소와 금속 간의 열화학 반응을 통해 탄소, 질소 또는 이들을 포함하는 침입형 과포화 고용체가 표면에 존재하게 되며, 그 결과 경화층을 형성한다. 일반적으로 질소 및 탄소 가스를 동시에 주입하는 기존의 저온질화침탄 공정은 반응 가스와 합금 원소 간의 반응성 차이로 인해 일반적으로 하부의 침탄층과 상부의 질화층으로 구성된 이중층 구조를 형성한다. 본 연구에서는 기존 방식과 달리 질화 및 침탄 공정을 순차적으로 진행하는 2단계 공정을 적용하였다. 그 결과, 형성된 표면경화층은 기존 방식의 질화침탄공정으로 형성된 경화층보다 향상된 경도가 측정되었다. 또한, 공정 순서는 경도와 내식성을 포함한 경화층의 특성에 변화를 발생시킨다. 이러한 차이를 조사하기 위해 경화층의 미세 구조, 화학 조성 및 격자 상수를 각각 전계방출 주사전자현미경(FE-SEM), 파장 분산형 분광기(WDS), X선 회절(XRD)을 사용하여 분석하였다. 분석 결과, 공정 순서는 층 내 원소 확산 거동과 상 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 뚜렷하게 구분된 상부층과 하부층이 상호 보완적인 역할을 하여 2단계 저온질화침탄 공정으로 형성된 경화층이 기존 공정 대비 최적화된 특성을 확인하였다.

[P32-2]
DED 적층제조된 Inconel 625 성형체 열처리에 따른 조직변화와 인장특성 고찰: 김준혁, 한재연(국립창원대학교), 권영삼(CetaTech), 박정효, 김규식, 김대웅(국방과학연구소), 홍현욱*(국립창원대학교)
Keywords: Inconel 625, Directed Energy Deposition(DED), gamma double prime, Heat treatment, Tensile properties
Inconel 625 초내열 합금은 항공, 방산 등 다양한 산업 분야에서 폭넓게 활용되는 소재이다. 특히 DED(Directed Energy Deposition) 공정과 같은 적층 제조 기술이 주목받고 있으나, SLM(Selective Laser Melting) 공정에 비해 성형체의 미세조직 제어 및 기계적 특성 향상을 위한 체계적인 열처리 조건은 아직 확립되지 않았다. 이에 따라 다양한 열처리 조건과 미세조직–물성 상관성에 대한 심층적인 연구가 요구된다. 본 연구에서는 DED 기반으로 제조된 Inconel 625 합금을 대상으로 후열처리 조건에 따른 미세조직 변화 거동과 상온 인장 특성을 고찰하였다. 강도 향상을 위한 γ″ 상 석출을 유도하고자 direct aging(DA) 및 solution + aging(SA) 열처리를 수행하였으며 aging의 경우 200시간까지 진행하였다. As-built 합금은 적층 방향으로 성장한 columnar 결정립과 뚜렷한 수지상(dendritic) 조직을 보였으며, inter-dendritic 영역에서 Nb 및 Mo가 국부적으로 농축된 미세 석출물이 관찰되었다. DA 열처리에서는 dendritic 조직이 유지된 상태에서 SGB(Solidification Grain Boundary)를 따라 Cr, Mo-rich carbide가 형성되었고, 2시간 이후부터 γ″ 상의 초기 석출이 확인되었다. 이후 시간이 경과함에 따라 γ″ 상의 분율이 증가하고 침상 형태로 조대화 되었으며, 이로 인해 경도는 상승하다가 100시간에서 최대값(290 Hv)을 나타낸 뒤 감소하는 경향을 보였다. SA 열처리에서는 일부 재결정 조직이 확인되었고, 동일한 aging 시간 조건에서 DA 대비 더 높은 경도가 측정되었으며, 200시간 조건에서 최대 경도(305Hv)에 도달하였다. 이는 solution 이후 균일하게 원소가 분포되며 이후 aging 열처리시 미세하고 균일한 γ″ 상 석출에 기인한 것으로 판단된다. 인장 시험 결과, as-built 대비 후열처리 조건에서 모두 강도 향상이 나타났으며, 이는 γ″ 상의 석출 강화 효과에 기인한 것으로 판단된다. 이상의 결과를 바탕으로, 강도와 인성을 동시에 확보할 수 있는 최적의 열처리 설계 방안에 대해 논의하였다.

[P32-3]
전자빔 용접된 Ti-6Al-4V 합금의 레이저 열처리에 따른 변화 분석: 김민재(한국생산기술연구원, 한양대학교), 서성지(포항공과대학교), 김태식, 이재범(한국생산기술연구원, 한양대학교), 한정호(한양대학교), 박지용*(과학기술연합대학원대학교)
Keywords: 전자빔 용접, Ti-6Al-4V 합금, 용접 후열처리, 미세조직, 기계적 물성
Ti-6Al-4V 합금은 높은 강도, 낮은 밀도, 우수한 내식성으로 항공우주와 해양 산업에서 널리 사용된다. 대형·복잡 부품의 제작에는 용접이 필수적이며, 특히 전자빔 용접(EBW)은 높은 에너지 밀도와 빠른 속도로 좁고 균일한 용접부를 형성하여 변형을 최소화한다. 그러나 용접 과정 중 급냉으로 인해 취성 α′ martensite가 생성되고, 재료에 악영향을 미치는 인장 잔류응력이 축적되고 기계적 물성을 저하시킨다. 전통적으로는 로(furnace) 열처리를 통해 α′를 α+β 조직으로 분해하고 잔류응력을 완화해 기계적 특성을 개선하였으나, 1~4시간의 장시간 공정과 전면 가열 특성으로 인해 대형·복잡 부품의 국부 열처리에 비효율적이다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 EBWed Ti-6Al-4V 용접부에 레이저 기반 국부 후열처리를 적용하였다. 실험에서는 용접만 진행한 시편인 조건, 전통적인 열처리 방식인 로 열처리, 국부 레이저 열처리 조건을 비교하여 미세조직, 경도, 인장 특성, 굽힘성, 잔류응력 경향성을 비교 분석하였다. 그 결과 레이저 열처리는 로 열처리 대비 처리 시간을 약 98.7% 단축하면서도 동일한 수준의 α′ 분해가 일어난 것을 확인할 수 있었다. 더불어 기계적 물성 측면에서 연성과 굽힘성을 향상시키면서도 강도 저하를 최소화하였으며, 잔류응력 저감 효과가 뚜렷하게 나타났다. 짧은 공정 시간과 선택적 가열을 통해 생산성과 에너지 효율성을 동시에 확보할 수 있었으며, 이는 항공우주 등 고부가가치 부품의 용접 후 성능 개선에 효과적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

[P32-4] Canceled

극 박판 소재의 주름 개선을 위한 유한요소해석 기반 시뮬레이션 방법론: 표창민*(한국생산기술연구원)

Keywords: 극박판, 주름, 시뮬레이션, 유한요소해석

본 연구는 초박형 금속 소재인 극박판의 제조 및 가공 과정에서 발생하는 주름 결함을 개선하기 위해 유한요소(FE) 기반 시뮬레이션을 수행하고, 이를 바탕으로 공정 적용 방안을 제시하였다. 극박판은 두께가 수십 마이크로미터(μm) 수준으로 매우 얇아, 패턴 가공이나 증착 공정과 같은 후속 제조 단계에서 주름이 품질 저하와 공정 불량의 주요 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 장력 부여, 평판 프레스, 롤 프레스 등 다양한 열처리·가압 방법을 조합한 후보 공정을 설정하고, 각 조건에서의 주름 변화 양상을 2D plane strain 해석을 통해 분석하였다. 해석 결과, 초기 주름의 크기보다 형상 기울기와 이에 따른 굽힘 강성이 최종 주름 크기에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 두께 방향의 소성 변형 유도가 주름 제거에 효과적임을 확인하였다. 또한 실제 생산 적용을 위해 균일한 가압이 가능한 장비의 개발 필요성과 주름 형상 측정 데이터 확보의 중요성을 도출하였다. 본 연구는 극박판 가공 시 주름 제어를 위한 정량적 근거를 제공하며, 향후 고정밀·고신뢰성 금속 마스크 및 전자부품 제조 공정의 품질 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P32-5]

Heat Treatment Optimization of Maraging Steel for Application in Extrusion Dies: JIWON CHOI, BYOUNGYONG IM, DAEGUEN KIM(고등기술연구원), HYEONGJU KIM, HYEOK PARK(로체 시스템즈), JAELYANG PARK*(고등기술연구원)

Keywords: Maraging steel C300, Heat Treatment, Microstructure, Mechanical Properties, Extrusion Dies

Molds are essential for the mass production of products with precise dimensions and desired geometries, requiring both high precision and durability to ensure quality and productivity. SKD61 alloy has traditionally been employed as the primary mold material; however, increasing product complexity and material diversification have necessitated advancements in mold manufacturing technology. In this study, maraging steel C300 was investigated as a potential replacement for SKD61 in aluminum hot extrusion processes due to its superior mechanical performance. Maraging steel C300 is a low-carbon, high-nickel ferrous alloy that combines high strength and toughness without compromising ductility. Its strengthening mechanism involves solution treatment to form a martensitic matrix, followed by aging treatment that promotes precipitation hardening. To maximize these properties, heat treatment experiments were carried out. Solution treatment was performed at 620–920 °C, and aging treatment at 420–500 °C, using specimens of 5 × 20 × 20 mm heated at 10 °C/min in air. Oxide films formed during heat treatment were removed by polishing prior to property measurements. X-ray diffraction analysis revealed that a fully martensitic single phase was achieved above 820 °C. Hardness measurements indicated an increase proportional to both aging temperature and time, reaching a maximum of 57.5 HRC after aging at 480 °C for 7 h. The average tensile strength at room temperature was measured to be 2005 MPa (based on three specimens). These results clearly demonstrate that maraging steel C300 provides superior mechanical properties compared with conventional SKD61 alloys. Following the property evaluation, a prototype mold was fabricated from solution-treated maraging steel using laser processing. The mold was designed as a 2 × 2 × 2 cm cube with both vertical and curved features. Surface characterization was performed using confocal microscopy and field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM). Confocal microscopy revealed that areas visually appearing vertical were in fact closer to curved surfaces, while FE-SEM analysis showed severe edge breakage, irregular dents, and localized contamination along side surfaces. These observations suggest potential reductions in wear resistance and performance, which could lead to mold overloading, premature fracture, and process failure during extrusion. Consequently, extrusion speed and productivity may be negatively affected. In summary, maraging steel C300 exhibits clear advantages over conventional alloys in terms of hardness and tensile strength, highlighting its strong potential as an alternative material for aluminum extrusion dies. However, surface integrity issues observed in the fabricated prototype indicate the need for further optimization. Future work will focus on improving surface quality and evaluating mold performance under actual extrusion conditions to fully establish maraging steel C300 as a high-performance mold material.

[P32-6]

대형 단조품의 질량효과(Mass effect) 예측: 신현정, 김동배*, 유가영((재)대구기계부품연구원), 이진모, 이채훈((주)태웅)

Keywords: heat treatment, cooling condition, mass effect, Preform, ring blank

최근 풍력등 중국 및 아시아 대형 단조품 시장의 경쟁이 심화됨에 따라, 대형 잉곳(ingot)에서 최종 단조품(forged ring blank)까지 일관 생산이 가능한 가격경쟁력 확보 기술이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 단조 온도로 가열 후, 다양한 냉각속도를 인위적으로 구현시켜 냉각속도와 미세조직 및 기계적특성을 확인하였다. 또한 실험을 통해 구축된 냉각거동 데이터를 바탕으로 유한요소법(Finite Element Method)에 기반하여 Scale up된 10~20 ton급 소재의 냉각속도를 예측하였다. 해석의 신뢰성을 확보하기 위해 소재의 밀도, 비열, 열전도도를 실험적으로 측정하고, 이를 바탕으로 열전달계수를 보정하여 해석 입력값으로 반영하였다. 본 연구 결과는 대형 링 단조 공정에서 최적 냉각 프로파일을 사전에 설계함으로써, 미세조직 균일화 및 기계적 성능 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P32-7]

가스터빈 압축기용 고청정 3.5NiCrMoV강의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성: 이영민, 김동배*, 유가영, 남지윤, 신현정((재)대구기계부품연구원), 김남용((주)태웅)

Keywords: 고청정강, 가스터빈 압축기, 열처리 조건, 미세조직, 기계적 특성, 잔류응력

가스터빈 압축기용 로터는 장시간 고온·고응력 환경에서 사용되므로, 고청정화된 대형 단조재의 안정적인 기계적 특성과 잔류응력 제어가 필수적이다. 본 연구에서는 고청정 3.5NiCrMoV 단조재를 대상으로 열처리 조건에 따른 미세조직, 기계적 특성, 잔류응력 거동을 평가하였다. 퀜칭-템퍼링 조건을 변화시켜 인장강도, 경도, 충격특성을 분석하고, SEM-EDS를 통해 미세조직과 개재물의 특성을 분석하였다. 또한 템퍼링 온도와 유지시간 변화에 따른 잔류응력 분포를 측정하여 미세조직 및 기계적 특성과의 연관성을 조사하였다. 본 연구에서는 대형 가스터빈 압축기 로터용 3.5NiCrMoV 단조재의 최적 열처리 조건 확립 및 신뢰성을 확보하기 위해, 고청정 3.5NiCrMoV 원소재를 단조하여 제작하고, 다양한 열처리 조건에서 미세조직, 기계적 특성 및 잔류응력을 분석하였다.

[P32-8]

ARAA (Advanced Reduced Activation Alloy)강 소재의 열처리 조건 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성 평가: 이호식*(에이치브이엠)

Keywords: ARAA, 저방사화강

핵융합 에너지는 '인공태양'이라 불릴 정도로 환경오염 물질을 거의 배출하지 않으며, 자원 고갈의 우려도 없어 미래의 청정 에너지원으로 큰 주목을 받고 있다. 핵융합로는 핵융합 반응에서 생성된 중성자의 운동에너지를 열에너지로 변환함과 동시에 방사선을 효과적으로 차폐하는 역할을 수행해야 한다. 이러한 핵융합로의 구조재료는 높은 중성자 조사 환경과 고온·고압의 극한 조건에 장시간 노출되기 때문에, 우수한 내조사성, 크리프 저항성, 고강도 및 고인성, 열피로 저항성 등의 특성이 요구된다. 현재 핵융합로 구조재로 가장 유망한 후보 소재는 저방사화강(Advanced Reduced Activation Alloy)으로, 기존의 내열강인 Modified 9Cr-1Mo 강에서 고방사화 원소인 Mo와 Nb을 저방사화 원소인 W, V, Ta 등으로 대체하여 방사선 저감성과 고온 기계적 특성을 향상시킨 소재이다. 본 연구에서는 진공유도용해(VIM) 공정을 통해 ARAA(Advanced Reduced Activation Alloy)강을 제조하였다. 목표 성분에 맞는 정확한 조성을 구현하기 위해 각 합금원소의 수율을 고려하여 용해 과정을 설계하였으며, 용해 시 편석 문제를 방지하기 위해 진공아크재용해(VAR) 공정을 통해 재용해를 진행하였다. 제조된 ARAA강 소재는 단조 및 압연 공정을 거쳐 최종적으로 700 mm(W) × 3500 mm(L) × 20 mm(T) 규격으로 제작되었다. 이후 다양한 열처리 조건에 따른 미세조직 변화 및 기계적 특성을 분석하고 평가하였다.

[P33-1]
기계학습을 활용한 분극곡선으로부터의 부식특성 추출: 정용주, 장희진, 김희수*(조선대학교)
Keywords: 전기화학, 부식, 동전위분극시험, 분극곡선, 기계학습

동전위분극시험은 재료의 부식거동을 평가하는 데 널리 사용되는 전기화학적 기법이다. 일반적으로 부식전위(E_{corr}), 부식전류밀도(i_{corr}), 타펠 기울기(Tafel slope), 공식 전위(E_{pit}), 부동태 등 주요 부식 특성은 수동적인 곡선 분석을 통해 추출되며, 이 과정은 많은 시간과 숙련도를 요구할 뿐만 아니라 사용자의 주관에 따른 편차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 동전위분극곡선으로부터 주요 부식 특성을 자동으로 예측하기 위한 기계학습 기반 분석을 제안하였다. 예측대상은 분극곡선의 가장 기본적인 지표인 E_{corr}와 i_{corr}로 설정하였다. 실험을 통해 획득된 분극곡선 데이터는 로그 변환 및 다운샘플링(downsampling) 등 전처리 과정을 거쳐 입력 데이터를 구성하였다. 기계학습 기법으로는 다층 퍼셉트론(Multilayer Perceptron, MLP)과 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM) 네트워크 등을 활용하여 지도학습 회귀 모델을 구축하였다. 구축된 모델을 통하여 다양한 분극곡선 형태에 대해 양호한 예측정확도를 나타냈으며, 이를 통하여 분극곡선으로부터 신속하고 일관된 부식 특성의 추출이 가능함을 확인하였다.

[P33-2]
Al-Si 도금강의 Mg 및 Zn 함량 변화에 따른 부식 거동 조사: 이수진, 진주연, 장희진*(조선대학교)
Keywords: 부식, 도금, Al-Si, Mg, Zn

최근 핫스탬핑 공정에 사용되는 Al-Si 용융도금강판은 표면에 형성되는 Al_2O_3와 SiO_2와 같은 산화막을 통해 부식을 억제할 수 있으나, 균열을 통해 염화이온이 침투할 경우 희생방식성이 없기때문에 산화막이 파괴되어 모재를 보호할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해 도금층에 다양한 합금 원소를 첨가하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 모재에 대한 희생양극 효과를 부여하기 위해 Mg이나 Zn과 같이 부식 전위가 낮은 원소를 첨가하는 방법 등이 연구되고 있다. Al-Si 도금에 Zn을 첨가할 경우, 전위가 낮은 Zn이 먼저 부식되어 희생양극의 역할을 수행하며 Zn 부식 생성물을 통해 모재를 보호한다. Mg의 경우, 주로 Mg2Si 금속간 화합물의 석출을 통해 도금층의 경도를 향상시키며, Si보다 먼저 부식됨으로써 희생양극의 역할을 수행한다. 본 연구에서는 중심합성법을 이용하여 Al-Si(10 wt.%)에 Zn(0, 7.5, 15 wt.%)과 Mg(0, 2.5, 5 wt.%) 함량 조합으로 총 9종의 도금 조성을 설계하였고, 각 원소의 함량 변화가 미세조직 및 부식 거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 3.5 wt.% NaCl 수용액에서의 동전위 분극 시험과 FE-SEM/EDS 분석을 진행하였다. 또한, 중심합성법 기반 반응표면분석을 통해 Mg과 Zn첨가 시, 원소의 함량 변화가 내식성에 미치는 영향을 비교하였다. 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2023R1A2C1004270)

[P33-3]
Ti-39Nb-6Zr 합금의 미세조직 제어에 따른 표면처리공정 최적화 연구: 나윤희, 이재관, 이동근*(국립순천대학교)
Keywords: Ti-39Nb-6Zr alloy, beta titanium alloy, microstructure control, acid etching, surface treatment

베타 합금인 Ti-39Nb-6Zr (TNZ40) 은 우수한 생체적합성과 낮은 탄성계수를 가져 응력 차폐 현상을 효과적으로 완화할 수 있다. 또한, 열처리를 통해 ω상 석출과 미세조직을 비교적 용이하게 제어하여 원하는 강도와 연신율을 구현할 수 있어 임플란트 소재로 활발히 연구되고 있다. 그러나 합금 자체의 표면은 골세포 증착을 충분히 유도하지 못하며, 임상 성능 향상을 위해 골유착을 촉진하는 표면 처리는 필수적이다. 이러한 표면 처리 방법 중, 비교적 간단하고 경제적인 공정으로 표면 거칠기를 증가시킬 수 있는 산 에칭(acid etching)이 적용되고 있다. 본 연구에서는 미세조직 제어가 산 에칭에 미치는 영향에 대해 분석하기 위해 각 다른 온도 조건에서 열처리를 진행하였으며, 이후 단일 강산 조건을 적용하여 에칭을 수행하였다. 이에 미세조직 제어에 따른 탄성계수 및 표면 거칠기와 형상 분석을 통해 최적의 산 에칭 조건을 도출하였다.

[P33-4]
Effects of Cu^{2}? and Cl^{-} Ions on the Corrosion of Aluminum Alloy: Han YeWon(Korea Institute of Industrial Technology, Hanyang Univ.), Ha OnYou(Korea Institute of Industrial Technology, Sungkyunkwan Univ.), Oh SeKwon*(Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Heat exchanger, aluminum alloy, copper ion (Cu^{2+}), chloride ion (Cl^{-}), corrosion behavior, electrochemical evaluation

Heat exchangers are critical mechanical components utilized across a wide array of fields, including industrial processes, automotive applications, and heating, ventilation, and air conditioning systems. Previously, copper has been the predominant material for heat exchangers due to its excellent thermal conductivity. However, the recent surge in copper prices has prompted the substitution of copper with aluminum. Aluminum is a metal with passive film properties, but the passive layer of aluminum is easily destroyed by ions such as chloride ions (Cl^{-}), easily causing localized corrosion such as pitting. Furthermore, as aluminum is an electrochemically active metal, its contact with more noble metals like copper can lead to galvanic corrosion. Thus, investigating the effects of copper ions and chloride ions on the localized corrosion behavior of aluminum is of significant importance. This study aims to investigate the influence of variations in copper ion and chloride ion concentrations on the corrosion behavior of aluminum alloys. The research involves a detailed

evaluation of the electrochemical behavior of aluminum alloy under controlled conditions with varying copper and chloride ion concentrations. Using potentiostat-based electrochemical measurements, progression of corrosion was systematically analyzed by quantitatively measuring the corrosion rate. Experimental findings revealed that an increase in copper ion concentration from 0 mg/L to 10 mg/L led to approximately a 75-fold increase in corrosion rate (i_{corr}). Similarly, an increase in chloride ion concentration from 0 mg/L to 1000 mg/L resulted in over a 54-fold acceleration in corrosion rate. Furthermore, to evaluate the influence of surface treatment methods on the initial stages of corrosion, accelerated corrosion testing was conducted. Subsequently, the morphology of the corroded specimen surfaces was precisely analyzed using a scanning electron microscope (SEM).

[P33-5]

가스터빈 체결용 코발트강 Seal pin의 열표면처리 공정 최적화에 관한 연구: 최은영, 박인욱, 이범무, 서진규, 허성보*(한국생산기술연구원)

Keywords: 가스터빈, 코발트강, Seal pin, 열처리, 미세구조

최근 대용량급 가스터빈 수요가 증가추세에 맞춰 주요 가스터빈 핵심 부품들에 대한 설계 및 제작기술 확보에도 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 특히 체결류의 사용 환경이 고온, 고압, 고진공 등 극한의 환경에 노출되는 경우가 많아지면서 체결부품의 요구 성능이 높아짐에 따라 후발주자들의 기술 추격이 가속화되고 있다. 국내에서는 발전, 특수 볼트 및 금속 화스너 분야에 세계적 선도 기업들과의 기술격차로 인해 진입을 시도하지 못하다가 최근 정부와 대기업의 주도로 부품 국산화율을 높이기 위한 연구가 진행 중이다. 가스터빈에 사용 되는 씰핀(seal pin)은 체결에 주요 부위에 사용되는 것으로 다 단의 휠 집합체를 체결 및 지지하기에 구조적 안정성과 내구성이 요구된다. 해당 제품은 코발트강을 활용하여 가공, 열처리, 표면처리 등이 포함된 복합 공정을 활용하고 있으나 기존 대비 물성 향상이 필요한 상황이다. 특히 고온에서 수행되는 열처리 공정의 안정화와 조직변형에 대한 예측이 필요하며 이에 대한 연구를 추진 하고자 한다. 또한 가공성 향상, 고용화 조건의 최적화가 필요하며 이때의 인장강도, 항복강도, 표면경도 등이 요구 스펙을 확보하여 기존 공정 대비 동등이상의 연구결과를 확보 하고자 한다.

[P33-6] Canceled

표면특성 제어를 통한 방오염·내마모 특성 향상 질·산화물 복합 코팅 개발 : 김영석*, 정용, 신연철(에이피스(주) / APIS Co., Ltd)

Keywords: 방오염성, 표면에너지, 아크 이온 플레이팅, 반도체 금형, 산화물

고집적, 고성능 반도체 패키징 기술이 발전함에 따라, 에폭시 몰딩 컴파운드(Epoxy Molding Compunds)를 사용하는 몰딩 공정의 정밀도와 신뢰성 요구 수준이 점차 높아지고 있다. 이러한 기술 변화는 반도체 칩을 외부 환경으로부터 보호하는 EMC 성형 공정에서 금형의 정밀도와 내구성에 대한 한층 더 엄격한 기준을 요구한다. 하지만 반복적인 고온·고압 공정 중 금형 표면에 EMC의 에폭시 수지 및 필러 잔여물이 부착되는 파울링(fouling) 현상은 여전히 생산성을 저해하는 핵심적인 난제로 남아 있다. 이러한 파울링은 금형의 세척 주기를 단축시켜 설비 가동률을 저하시킬 뿐 만 아니라, 성형품의 표면 결함 및 치수 정밀도 저하를 유발하여 최종 제품의 수율에 직접적인 악영향을 미친다. 기존의 H-Cr, TiN, CrN계 코팅은 내마모성에는 우수하나 EMC와의 화학적 친화력으로 인해 방오염성에는 뚜렷한 한계를 보이고 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, EMC와의 반응성을 원천적으로 억제할 수 있고 화학적으로 매우 안정하며 낮은 표면에너지를 갖는 산화물 기반의 새로운 코팅 시스템을 개발하고자 한다. 산업적으로 양산에 용이한 반응성 아크 이온 플레이팅(Reactive Arc Ion Plating)법을 이용하여 코팅을 증착하고, 코팅의 표면에너지, 기계적 내구성, 방오염 성능에 미치는 상관관계를 체계적으로 규명하여 차세대 반도체 패키징 금형에 적용이 가능한 최적의 코팅 솔루션을 개발하고자 한다. 감사의 글 이 연구는 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원 (RS-2025-25440602, 반도체 패키징 금형 부품의 방오염 및 내마모성 향상을 위한 나노다층구조 복합(질·산화물) 코팅 기술 개발)에 의하여 수행 되었습니다.

[P33-7]

바나듐 첨가에 따른 Cr-Al-V-O-N 코팅막의 특성 변화에 관한 연구: 허성보, 김왕렬, 신수정, 박인욱*(한국생산기술연구원)

Keywords: 바나듐, 내마모, 미세구조, 마그네트론스퍼터링

최근 고온내마모 코팅막 합성기술은 주요 기계/금속 및 재료 산업 분야에 지속적으로 응용되고 있다. 대표적으로 소재부품, 디스플레이, 태양전지, 항공, 우주 방산 등 제품에 응용되어 내구성과 기능향상을 목적으로 활용 되어 지고 있다. 그러나 기술의 고도화와 사용환경, 고온, 고압 환경 등에 반복적 사용에 따라 한계점을 극복하기 위한 연구가 추진 중이다. 특히 바나듐이 첨가된 코팅막은 고온에서 자가 윤활특성을 갖기 때문에 다양한 분야로 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 반응성가스인 질소분위기 하에서 고순도 과 타겟을 사용해 비대칭 마그네트론 스퍼터링에 의해 실리콘 웨이퍼 및 기판에 증착하고자 한다. 타겟 전압을 증가시키며 바나듐의 조성 변화에 대해 고찰 하였고 코팅막 내 미세구조는 바나듐 함량에 상관없이 모두 주상정 구조를 나타내었다. 또한 첨가된 바나듐 합금타겟의 타겟 파워가 증가함에 따라 코팅막의 두께는 2.8 um 까지 증가하였다. Cr-Al-V(~7at%)-N 코팅막에서 바나듐 함량 에서 최대 경도 값은 33.4 GPa 로 나타났다. Ball-on-disk 타입의 마모시험을 실시하여 코팅막의 마찰 특성을 분석 하였으며 700ºC 까지 고온테스트도 동시에 수행 하여 결과를 고찰 하고자 한다.

P34 : 열전
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P34-1]

Zn 도핑된 Bornite $Cu_5Fe_{1-x}Zn_xS_4$의 열전특성: 권혁민, 오현식, 김일호**(국립한국교통대학교 반도체신소재공학과)

Keywords: thermoelectric; bornite; doping

Bornite(Cu_5FeS_4)는 지구상에 풍부한 원소로 구성된 친환경 열전 반도체로 주목받고 있다. Bornite는 온도에 따라 서로 다른 세 가지 결정구조를 가지며, 473 K 이하에서는 저온 orthorhombic 구조, 473 K에서 543 K 사이에서는 중온 cubic 구조, 그리고 543 K 이상에서는 고온 cubic 구조를 형성한다. 복잡한 고유 결정구조로 인해 낮은 격자 열전도도를 나타내어 고효율 열전소재로서의 잠재력을 지닌다. 본 연구에서는 Fe^{3+} 이온을 Zn^{2+} 이온으로 치환하여 추가적인 전하 캐리어(정공)를 도입함으로써 전기적 특성과 열전 성능 향상을 도모하였다. $Cu_5Fe_{1-x}Zn_xS_4$ (x = 0.02~0.08) 조성을 목표로, Cu, Fe, Zn, S 분말을 화학양론적으로 계량하여 기계적 합금화(mechanical alloying, MA) 및 열간 압축 소결(hot pressing, HP) 공정을 수행하였다. Ar 분위기에서 350 rpm으로 6시간 MA를 진행하였고, 이후 진공 상태에서 70 MPa 압력 하에 723 K에서 2시간 HP 소결하였다. 제조된 MA-HP 시편에 대해 상 분석, 열분석, 미세조직 관찰을 수행하였으며, 전기전도도, 열전도도, 제벡계수, 파워팩터 및 무차원 성능 지수(ZT)를 측정하여 Zn 도핑에 따른 bornite의 열전특성을 평가하였다. This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P34-2]

Bornite $Cu_5Fe_{1+y}S_4$의 비화학양론적 Fe 조성변화에 따른 전하수송 및 열전특성: 오혜민, 이승민, 오현식, 김일호**(국립한국교통대학교 반도체신소재공학과)

Keywords: thermoelectric; bornite; non-stoichiometric; off-stoichiometric

보르나이트(Bornite, Cu_5FeS_4)는 낮은 열전도도와 용이한 전기적 특성 조절로 인해 유망한열전소재로 주목받고 있다. 본 연구에서는 보르나이트 구조에서 Fe 조성의 변화($Cu_5Fe_{1+y}S_4$; –0.06 £ y £ 0.06)를 통해 캐리어 농도를 제어하고, 이에 따른 열전특성 변화를 조사하였다. 시료 합성과 성형을 위해 기계적 합금화(mechanical alloying, MA) 및 열간 압축 소결(hot pressing, HP) 공정을 적용하였다. Ar 분위기에서 350 rpm으로 6시간 MA를 수행하였으며, 이후 합성된 분말을 진공 상태에서 70 MPa 압력 하에 723 K에서 2시간 동안 HP 소결하였다. XRD 및 SEM 분석 결과, 비화학양론 시편들도 보르나이트 구조를 유지하고 있었고 2차상의 생성은 관찰되지 않았다. 격자상수의 경우, Fe 결핍량이 증가하면 a축과 b축이 증가하고 c축은 감소하는 경향을 나타냈고, Fe 과잉량이 증가하면 a축과 c축이 감소하고 b축은 증가하는 경향을 보였다. Fe 결핍량이 증가하면 잉여 정공의 제공으로 캐리어(정공) 농도가 증가하고 이동도는 약간 감소하였다. 그러나 Fe 과잉량이 증가해도 캐리어 농도가 증가하고 이동도는 매우 감소하였다. Fe 과잉의 경우 Cu 공공의 증가로 정공 농도가 증가한 것으로 해석된다. 이에 따라 Fe 함량(y)이 0.06에서 –0.06으로 감소할수록 전기전도도가 증가하였다. 제벡계수는 Fe 결핍량이 증가하면 양의 값으로 감소하였지만, Fe 과잉량이 증가하면 음의 값으로 증가하였다. Fe의 비화학양론 효과에 의해 파워팩터가 증가하고 격자 열전도도가 감소하여, $Cu_5Fe_{1.06}S_4$가 673 K에서 ZT = 0.61의 가장 우수한 열전성능을 나타냈다. This study was supported by the Small-Medium Enterprise Innovation Growth Support Project of the Korea RIC Association and the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P34-3]

고상 합성으로 제작된 Wittichenite Cu_3BiS_3의 열전 특성 분석: 이푸른, 이도현, 권혁민, 김일호**(국립한국교통대학교 반도체신소재공학과)

Keywords: thermoelectric, wittichenite, mechanical alloying, hot pressing

Wittichenite(Cu_3BiS_3)는 사방정계(공간군 $P2_12_12_1$)의 구조를 갖는 반도체로, 1.0–1.6 eV의 광학 밴드갭을 지니며, 차세대 태양전지 및 열전소재로 주목받고 있다. 특히, 상용 열전소재에서 문제되는 독성과 희소성의 한계를 극복할 수 있는 대체 재료로서의 잠재력이 크며, 최근 Cu_3BiS_3의 열전 물성에 관한 연구가 점차 확대되고 있다. 본 연구에서는 Cu_3BiS_3의 열전 성능을 평가하고, 전하 수송 특성에 영향을 미치는 구조적 요인을 규명하고자 하였다. 이를 위해 Cu, Bi, S 원소 분말을 아르곤 분위기에서 기계적 합금화(MA)한 후, 진공 상태에서 열간 압축 소결(HP)하여 벌크 시편을 제조하였다. X-선 회절 분석 결과, Cu_3BiS_3의 회절 피크 이외에 2차상이 관찰되지 않아 wittichenite 단일상이 성공적으로 형성되었음을 확인하였다. MA-HP 공정조건에 따른 미세조직, 상변화 등의 구조적 안정성과 함께 열전특성의 변화를 분석하여, wittichenite에 대한 고상합성 최적 조건을 도출하고자 하였다. This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P34-4]

$Cu_4Bi_4Se_9$의 고상합성 및 열전성능: 추규성, 김성윤, 권혁민, 김일호**(국립한국교통대학교 반도체신소재공학과)

Keywords: thermoelectric, $Cu_4Bi_4Se_9$, mechanical alloying, hot pressing

Cu계 칼코제나이드 열전재료는 지구상에 풍부한 원소를 활용하여 우수한 열전성능과 환경친화성을 동시에 달성할 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 Cu_2Se, Cu_2S 등은 높은 전기전도도와 낮은 열전도도를 보여 중온 영역에서의 열전재료로 주목받고 있으나, 상변화와 조성 불안정성 등 해결 과제가 남아있다. $Cu_4Bi_4Se_9$는 복잡한 결정구조를 가지며, 낮은 격자 열전도도와 적절한 밴드갭을 통해 우수한 제벡계수와 전기전도도를 기대할 수 있는 열전재료이다. 이 화합물에 대한 연구 보고가 아직 제한적이나, 열전성능 향상 가능성으로 열전 신소재 후보로 부각되고 있다. 본 연구에서는 $Cu_4Bi_4Se_9$의 합성조건과 열전특성을 체계적으로 조사하였다. Ar 분위기에서 350 rpm으로 6시간 기계적 합금화(MA)를 수행한 후, 523~623 K에서 각각 2시간 열간 압축 소결(HP)로 벌크 시료를 제작하였다. X선 회절 분석 결과, 분말 상태에서는 2차상이 없었으나 고온 소결 시 2차상이 일부 생성되었다. 이에 대한 상분석, 열분석, 미세조직 관찰 및 전하수송을 평가하여, $Cu_4Bi_4Se_9$의 열전성능에 대한 실험적 데이터를 제공하였다. This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P34-5]

수열합성 교반 세기에 따른 Te 화합물 기반 나노 구조체 변화와 열전 특성 평가: 김지우, 이동현, 정용욱(국립한국교통대학교), 김은도((주)아스트로텍), 정용진*(국립한국교통대학교)

Keywords: Te화합물, 수열합성, 나노구조체

현재 사회에서 전기, 자동차, 공장, 가전제품, 컴퓨터 등을 쓸 때마다 엄청난 열이 버려진다. 즉, 에너지를 만들거나 사용할 때 대부분이 열로 낭비된다는 것이다. 이 열은 폐열 형태로 존재해 활용이 어려운 경우가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 주목받는 기술 중 하나가 열전 재료를 활용한 에너지 회수 시스템이다. 열전 재료는 온도 차가 존재할 때 전기를 생산하는 성질을 가지며, 이때 대표적인 재료 중 도핑 방법과 정도에 따라 p형 – n형 제어가 가능한 Te 화합물 기반 열전반도체의 용액 합성에 따른 결정성장 제어 기술을 연구하고자 하였다. 본 연구에서는 수열합성 시 교반에 따른 결정성장 효과를 파악하기 위해 Oil bath를 이용하여 합성한 나노구조체 변화를 살펴보고 열전 특성을 분석하였다. 본 연구는 나노구조 제어를 통한 열전 특성 향상의 가능성을 제시함으로써, 고효율 열전소자의 실현 가능성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P34-6]

Sb-Te 화합물 수열합성 과정에서의 CNT 복합화 전략에 따른 소재의 열전특성 변화 연구: 전세준, 조성우, 신미소, 정용진, 안태규(국립한국교통대학교)

Keywords: 안티모니텔루라이드, 탄소나노튜브, 수열합성

최근 몇 년 세계적으로 화석에너지의 고갈, 환경오염 등으로 인해 신재생에너지와 같은 대체 에너지원 확보를 위한 관심이 증가하고 있는데, 산업시설이나 태양광 등 낭비되고 있는 다양한 폐열을 회수하여 전기 에너지로 변환하여 사용할 수 있는 열전 소재는 지속적인 관심을 받고 있다. Antimony telluride는 좁은 밴드 갭과 낮은 열전도도를 가진 축퇴반도체 특성으로 열전소자로 응용될 수 있다. 열전효율의 향상을 위한 방법으로 Te 화합물의 합금화, 도핑, 복합체 엔지니어링이 있는데, 본 연구에서는 Sb-Te 화합물을 수열합성 하는 과정에서의 CNT의 복합화 전략을 제시하여 전기전도도를 향상시키기 위한 연구를 진행하였다. 수열합성 및 복합화 결과 Sb-Te 화합물의 p-type 특성보다 CNT의 n 도핑으로 인한 n-type 특성이 우세함을 확인하였고, XRD, SEM, XPS를 통해 Sb-Te/CNT 복합체의 결합구조, 결정상 및 나노 구조를 분석하였다. 본 연구로부터 Te 화합물/CNT 복합체의 열전 반도체 물성을 제어할 수 있는 합성 전략을 제시할 수 있었다.

[P34-7] Canceled

가스분무법으로 제조된 n-type BiTeSe 합금 분말의 입도 제어를 통한 열전특성 향상: 하지원, 백건우, Gangala Anil Kumar, Rathinam Vasudevan, 홍순직*(국립공주대학교)

Keywords: Gas atomization, BiTeSe alloys, Thermoelectric properties

Bi-Te계 합금은 실온에서 우수한 열전성능을 보이는 소재이나, n형 소재의 열전성능은 p형에 비해 상대적으로 저조하여 이를 개선하기 위한 연구가 지속적으로 요구되는 실정이다. 이에 본 연구에서는 가스분무법으로 n형 BiTeSe 합금 분말을 제조한 후 분말 입도를 최적화하여 열전성능을 향상시켰다. 가스분무법으로 제조된 분말을 입도에 따라 200 μm 이하, 200-500 μm로 분급하였으며, 통전가압소결법을 이용하여 소결체로 제작하였다. 분급된 분말의 미세조직은 주사전자현미경으로 관찰하였고, 소결체의 열전특성을 평가하기 위해 전기전도도 및 열전도도를 측정하였다. 그 결과 200 μm 이하의 분말은 대부분 구형을 나타내었으며, 200-500 μm 크기의 분말에서는 구형과 판상형 분말이 함께 관찰되었다. 300 K에서 200-500 μm 분말의 최고 전기전도도 값은 1772.69 S/cm이며 이는 초기 분말의 입도 차이에 기인한 것이다. Seebeck 계수는 미세 결정립계에서의 캐리어 산란 효과로 인해 분말 입도가 작을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 450 K에서 200-500 μm 입도를 가진 소결체의 열전성능지수(ZT)는 200 μm 이하 시료보다 16.07% 향상되어 0.87에 도달하였다.

[P34-8]

Lattice thermal conductivity suppression in non-stoichiometrically doped SnTe through nanostructuring: Son Hyoju, Donghyun Shin, Suhyeon Woo, Hyojin Jun, Joseph Ngugi Kahiu, Ho Seong Lee*(Kyungpook National University)

Keywords: Thermoelectric materials, SnTe, Nanostructuring

SnTe-based thermoelectric materials have attracted attention as promising non-toxic candidates for mid-temperature power

generation. However, their performance remains limited due to a relatively low Seebeck coefficient and high lattice thermal conductivity. In this study, we enhanced the thermoelectric properties of SnTe by introducing non-stoichiometric doping and investigated the effects of each dopant. Bi doping effectively reduced the thermal conductivity and optimized the carrier concentration, leading to a balanced improvement in both electrical and thermal transport properties. Furthermore, phonon scattering introduced by nanostructuring and grain boundary engineering significantly suppressed the lattice thermal conductivity, resulting in a maximum zT of ~1.3 at 873 K. A two-pair TEG module consisting of p-type SnTe and n-type PbTe was also fabricated, exhibiting an output power exceeding 650 μW under a temperature gradient of $\Delta T = 485$ K. These results demonstrate that doping and microstructure engineering are effective strategies for improving the mid-temperature thermoelectric performance of SnTe-based materials.

P35 : 이차전지 원료소재
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P35-1]
Development of Thermal Runaway Blocking Strategy through Reinterpretation of Degradation Mechanisms in Ni-rich Layered Cathodes: Heo Junyoung, Hyeonjoong Jung, Seongmin Kwak, Ahin Song, Jeongsik Yun*(Incheon Nat'I Univ.)
Keywords: Li-ion batteries, Ni-rich NCM, Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, Thermal Runaway Suppression, Cation Mixing, Doping, Degradation

$LiNi_{0.90}Co_{0.05}Mn_{0.05}O_2$ (NCM) is a representative Ni-rich layered oxide that has attracted significant attention as a promising cathode material for electric vehicles (EVs) and energy storage systems (ESS) due to its high energy density and excellent rate capability. However, the high Ni content induces structural instability and oxygen release, which trigger exothermic reactions under high-temperature and abusive conditions, ultimately leading to thermal runaway. In this study, we reinterpret the major degradation mechanisms of Ni-rich layered oxides, specifically cation mixing and irreversible structural transition to the rock-salt phase, and propose a doping-based shut-down strategy to fundamentally block the onset of thermal runaway. The doping process was conducted through substitution at Li and transition-metal sites during synthesis, and the structural and chemical characteristics were analyzed using XRD and SEM. The electrochemical properties were evaluated by charge–discharge tests, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), and open-circuit voltage (OCV) measurements. Notably, the doped samples exhibited higher charge–discharge capacity and improved capacity retention at room temperature compared with the pristine material. Future work will include high-temperature OCV evaluation under 100% SOC conditions, along with high-temperature electrochemical tests and multi-faceted characterization techniques such as in-situ XRD, XPS, TEM, and EDS, to further elucidate the effects of doping strategies on thermal runaway suppression. This approach provides new design guidelines for enhancing the high-temperature stability and safety of Ni-rich layered cathodes, thereby contributing to the mitigation of EV fire hazards and the development of high-energy and intrinsically safe lithium-ion batteries.

[P35-2]
탈철공정 배출 슬래그 내 NiO 회수 반응 촉진 방안 도출: 신현우(동아대학교 금속공학과), 강영조*(동아대학교)
Keywords: NiO 환원, 탈철 슬래그, 환원제, ICP-OES 분석

최근 환경오염이 심각해짐에 따라 친환경 전기차 시장이 급성장하고 있으며, 이에 따른 리튬 이온 전지(LIB) 수요 증가로 NCM 계열 양극재의 주요 원소인 Ni 제련 및 정제 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. Ni의 제련 과정에서 배출되는 탈철슬래그에는 미환원된 NiO가 존재하며, 이는 유가금속 자원으로서 회수 가치가 크지만 슬래그 조성 변화에 따른 NiO 환원 거동에 대한 연구는 아직 충분하지 않다. 본 연구에서는 적정량의 NiO를 함유한 FeO-SiO_2계 슬래그에 대하여 해당 슬래그 조성 조건에 따른 환원 반응의 열역학적 가능성 및 환원제 종류에서의 NiO 환원 효율을 평가하였다. 실험은 Ar-분위기 하에 1400°C에서 유도용해로 실험을 수행하였으며, 환원제 투입 후 시간에 따른 샘플링을 진행하고 ICP-OES(Inductively Coupled Plasma)분석을 통해 NiO 환원 거동을 검토하였다. 본 연구는 Ni 제련 과정 중 탈철슬래그 내 NiO 환원을 통한 유가금속 회수 및 공정 최적화 조건 도출에 중요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

[P35-3] Canceled
Ni Doping in $ZnMn_2O_4$ Cathodes for Improved Cycle Life of Aqueous Zn-Ion Batteries via Mn Dissolution Suppression: 박혜선, 전상은*(경북대학교)
Keywords: Zn-ion battery, $ZnMn_2O_4$, Ni doping

$ZnMn_2O_4$(ZMO)는 224 mAh g^{-1}의 높은 이론용량을 가져 낮은 용량을 갖는 수계 Zn 이온 배터리의 용량을 향상시킬 수 있는 양극재로 주목받고 있다. 그러나 충·방전 중 양극내 Mn^{3+}의 불균등화 반응으로 산화·환원 활성이온인 Mn이 용출될 수 있어 수명 안정성이 낮다. 본 연구는 ZMO에 Ni을 도핑하여 Mn의 산화수를 높임으로써 전하 중성을 유지하고, Mn^{3+}의 양을 줄여 Mn 용출을 억제하며 구조적 안정성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 $ZnMn_{2-x}Ni_xO_4$(x=0.5, 1.0, 1.5)를 양극재로 합성하였고 도핑 함량에 따른 Zn이온 배터리의 수명 향상 효과를 비교하였다. Ni 도핑은 Mn^{3+}를 Mn^{4+}로 변화시켰고, Mn^{3+}의 비율은 낮아졌다. 또한 ZMO의 정방정계 구조를 입방정계로 전환하고, unit cell volume이 확장되었다. 그 결과, Ni이 도핑된 모든 ZMNO는 ZMO보다 높은 비용량 및 향상된 수명 특성을 보였으며, 특히 $ZnMnNiO_4$는 278 mAh g^{-1}의 비 용량과 1000사이클 후 80%의 용량 유지율을 나타냈다. 이는 Ni의 도핑 농도 증가로 인한 Jahn-Teller 왜곡 감소와 unit cell volume의 확장에 따라 전극내 삽입된 Zn ion 간 반발력이 감소된 것으로 생각된다. 반면 ZMNO-1.5에서는 NiO 및 ZnO 이차상이 형성되어 ZMNO-1.0보다 낮은 수명 안정성을 나타내었다. 본 연구는 ZMO에 적정량의 Ni 도핑을 통해 Mn 용출량을 감소시키고 수명 특성을 향상시켜 ZMNO 계열이 수계 Zn 이온 배터리용 양극 소재로 활용될 수 있음을 입증하였다.

[P35-4]

카복실산계 추출제의 유가금속 용매추출공정 특성과 적용성 평가: 박연우*, 엄형섭, 정은진(포항산업과학연구원)

Keywords: 이차전지, 유가금속, 리사이클링, 용매추출, 카복실산계 추출제

이차전지의 보급과 함께 니켈, 코발트, 망간과 같은 유가 금속의 안정적 회수는 중요한 과제로 부상하고 있다. 이러한 금속을 효율적으로 회수하기 위한 방법 중 하나로 용매 추출법이 널리 활용되고 있으며, 특히 광석 및 폐이차전지 침출액으로부터 유가 금속을 선택적으로 분리하는 상용 공정이 구축되어 있다. 특히 용매 추출 공정에서 인산계 추출제(예: PC88A)를 활용하여 코발트와 니켈을 회수하는 것이 일반적인 상용 공정으로 알려져 있다. 그러나 마그네슘 농도가 높은 용액에서 니켈을 추출하거나, 코발트와 니켈을 동시에 회수해야 하는 상황에서는 인산계 추출제보다 카복실산계 추출제를 사용하는 것이 상대적으로 유리한 선택이 될 수 있음이 보고되었다. 또한 카복실산계 추출제는 인산계 추출제 대비 환경 및 독성 측면에서 우수성을 평가받아 유럽/북미에서 사용되는 추세다. 그리고 유럽과 미국에서는 단순히 성능뿐만 아니라, 규제 적합성까지 포함한 공정 설계가 필요하기 때문에 카복실산계 추출제가 규제 대비형 추출제로서 인정받고 있다. 그럼에도 불구하고 카복실산계 추출제는 그 특성으로 인한 공정상의 제약과 문제점으로 인해 실제 산업에 적용하는 빈도는 제한적인 상황이다. 본 연구에서는 카복실산계 추출제의 화학적·공정적 특성을 검토하고 적용 과정에서 나타날 수 있는 문제점을 구체적으로 제시하였다. 더 나아가 이러한 한계를 극복하기 위한 대응 방안을 탐색하여 카복실산계 추출제를 용매 추출 공정에 활용할 수 있는 가능성을 평가하고자 한다.

[P35-5]

공정 변수 제어를 통한 탄산리튬 제조공정 평가: 박연우*, 정은진, 엄형섭(포항산업과학연구원)

Keywords: 이차전지, 리튬, 리사이클링, 유가금속회수

이차전지 산업의 급격한 성장과 함께 고순도 탄산리튬 확보는 중요한 기술적 과제로 대두되고 있다. 일반적으로 이차전지급 탄산리튬을 확보하기 위한 상용공정은 탄산나트륨과 리튬 함유 용액의 반응을 통해 리튬 침전물을 형성하고 이것을 중탄산화 및 열분해 과정을 거쳐 제조한다. 그러나 최근 리튬 가격이 하향세를 보이며 가격 경쟁력이 중요해진 만큼, 탄산리튬 제조공정을 단순화 하기 위한 노력이 요구되는 상황이다. 이 과정에서 탄산리튬의 순도를 높이면서도 공정을 최소화하기 위한 연구가 수행되어 왔다. 예를 들어, 탄산나트륨 슬러리의 농도와 투입 속도, 반응 온도, 교반 속도 등의 조절을 통해 결정 성장 및 불순물 제거가 개선되고, 이를 통해 이차전지급 고순도 탄산리튬을 제조할 수 있음을 보고한 문헌들이 존재한다. 그러나 기존 문헌의 연구는 주로 불순물 농도가 낮은 합성 용액을 기반으로 진행되어, 실제 리사이클링 공정에서와 같이 고농도의 나트륨 등 불순물이 존재하는 조건은 충분히 반영하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 고농도의 나트륨이 포함된 황산리튬 용액을 대상으로 탄산나트륨 슬러리의 투입 속도를 조절하여 탄산리튬을 제조하고, 수세 횟수에 따른 순도 변화를 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 탄산나트륨 투입 속도가 탄산리튬 순도에 미치는 영향을 규명하고, 불순물 조건이 까다로운 리사이클링 공정조건에서도 이차전지급 탄산리튬 확보가 가능한지 평가하고자 한다.

[P35-6]

수계 아연-이온 전지용 음극재 Annealing 조건에 따른 전기화학적 특성 거동 연구: 전찬수(한국생산기술연구원), 윤기혁, 안건형(동국대학교), 한준희, 전재열*(한국생산기술연구원)

Keywords: Zinc-Ion Batteries, Anode, Zn-Al alloy, Electrochemical Performance, Microstructure

수계 아연-이온전지(Zinc-Ion Battery, ZIB)는 수계 전해질을 사용하여 단락(short circuit) 발생 시 리튬-이온전지(Lithium-Ion Battery, LIB)의 고질적 문제점인 발화 위험이 없으며 독성이 없고 유기 용매 대비 빠른 이온 전도 특성을 지니고 있다. 또한 아연(Zinc)은 낮은 산화 환원 전위 및 리튬(Lithium) 대비 약 3배에 이르는 높은 부피 당 용량을 가지며 매장량이 풍부하기 때문에 경제성 또한 갖추고 있다. 하지만 수계 전해질 사용으로 인하여 덴드라이트 형성, 아연 산화물 부산물 생성, 빠른 용량 저하 등의 한계가 존재하는데, 이와 같은 부반응을 최소화하고자 다양한 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 소재 자체 내식성 향상 및 부반응 억제를 통한 전지 특성 향상을 목적으로 기존 순수 Zn 음극재 대비 Al을 소량 첨가한 Zn-Al 음극재 제조 후 Annealing 처리 조건에 따른 전기화학적 특성평가를 수행하였다 전지 특성 평가 결과, Annealing 처리 시간에 따라 전지 수명에 유의미한 차이가 있음을 확인하였다.

[P35-7]

마이크로파 침출을 활용한 PGM 폐자원의 이차전지 소재 전환 기술: 진연호, 김희선, 장대환, 양재교*(고등기술연구원)

Keywords: PGM, 니켈, 마이크로파, 침출

PGM(Platinum Group Metals) 함유 폐촉매 및 산업 부산물로부터 유가 금속을 효율적으로 회수하고 이를 이차전지 소재로 전환하는 기술 개발은 자원순환과 친환경 소재 확보 측면에서 큰 의미를 가진다. 본 연구는 건식 제련 공정을 통해 PGM과 컬렉터 금속(Fe, Ni 등)을 합금 형태로 농축한 후, 습식 공정을 통해 컬렉터 금속을 선택적으로 침출하고, 특히 니켈(Ni)을 탄산니켈($NiCO_3$) 형태로 회수하여 이차전지용 전구체로 활용 가능한 기반 기술을 확립하는 것을 목표로 한다. 특히 침출 반응에는 마이크로파 유도 가열 기술을 도입하여 금속 용해 속도 향상과 공정 에너지 효율 개선을 동시에 달성하고자 하였다. 전처리된 합금 시료는 Pt-Ir-Ni-Fe 계로 구성되어 있으며, 이 중 Ir과 Pt는 침출 저항성이 높은 반면, Ni과 Fe는 염산에 선택적으로 용출되는 특성이 있다. 본 연구에서는 저농도 염산(1~3 M)을 이용하되, 마이크로파를 활용한 가열 방식으로 반응을 진행하여 반응 시간을 단축하고 침출 선택성을 극대화하였다. 침출 실험은 고액비, 산 농도, 마이크로파 출력 제어 통한 온도 및 반응 시간 등을 변수로 설정하여 최적 조건을 도출하였다. 침출액으로부터는 침전법을 적용하여 니켈을 탄산니켈 형태로 전환·회수하였으며, 생성물의 순도 및 물리화학적 특성은

이차전지 전구체로서 활용 가능한 수준임을 확인하였다. 실험 결과, 마이크로파 기반 침출 공정은 기존 열수 침출에 비해 동일 조건에서 최소 10배 이상의 빠른 침출 속도를 보였으며, Ni의 선택적 침출도 우수하게 나타났다. 특히, 고체 잔사로 Pt 및 Ir이 안정적으로 분리되었으며, 침출액 중 Ni은 탄산나트륨을 첨가함으로써 고순도 탄산니켈로 회수되었다. 회수된 탄산니켈은 수세 및 열처리를 통해 XRD 및 SEM 분석을 통해 구조적 안정성과 입도 제어 측면에서 이차전지 양극재 전구체로 적용 가능성을 검증하였다. 본 연구는 PGM 회수 공정과 이차전지 소재 생산을 연계한 융합 기술로, 폐촉매 및 금속 부산물 자원의 고부가가치화를 실현할 수 있는 실용적 해법을 제시하였다. 특히 마이크로파 기반 침출 공정과 탄산니켈 회수 기술의 결합을 통해 친환경적이고 경제적인 이차전지 원료 생산 체계를 구축할 수 있으며, 이는 향후 지속 가능한 배터리 소재 공급망 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P35-8]

수침출 및 알칼리 로스팅을 통한 침출잔사 흑연의 불순물 제거 및 구조 회복: 김기현, 안낙균, 박경수*(고등기술연구원)

Keywords: 리튬이차전지 재활용, 침출잔사 흑연, 불순물 제거, 구조 회복, 재생 흑연 음극재

전기차 및 에너지저장시스템 확산으로 사용 후 리튬이차전지 발생이 급격히 증가하고 있다. 특히 습식제련 재활용 공정에서 침출잔사 형태로 배출되는 흑연은 거의 매립되고 있어 환경적, 경제적 문제가 발생한다. 침출잔사를 다시 흑연 음극재로 재사용하는 연구가 진행 중에 있으며, 전극 및 집전체 유래 불순물 제거와 열화된 구조 회복을 통한 재활용이 필요하다. 본 연구에서는 2단계 공정으로 침출잔사 흑연의 정제와 재생을 시도하였다. 이는 양극재 유래 전이금속 및 기타 산불용성 불순물 정제와 저온 재생을 포함한다. 해당 공정 후 회분 함량은 감소하였으며, XRD/Raman 분석에서 (002) 피크 강화, 면간 거리(d_{002}) 감소, I_D/I_G 감소가 확인되어 결정성 회복이 입증되었다. XPS 결과 sp^2 구조의 복원 효과도 나타났다. 또한, 간단한 경제성 평가를 통해 산업적 확장성을 확보하고자 하였다.

P36 : 표면계면
Room 1층 다목적홀 2A, 10월 31일

[P36-1]
Femtosecond Laser-Engineered High-Nickel NCM Cathodes for High-Energy and High-Power Lithium-Ion Batteries: KIM YEONSU, KIM MINJIE(홍익대학교), KIM MINHYE(서울과학기술대학교), MIN GYEONG-EUN(홍익대학교), PARK CHANG-KYU(서울과학기술대학교), CHO JIUNG*(홍익대학교)
Keywords: Laser Processing for Secondary Battery

The rapid growth of electric vehicles, artificial intelligence, and data centers has accelerated the demand for advanced energy storage systems, highlighting the need for next-generation batteries that combine high energy density with high power capability. However, thick electrodes designed for high capacity often suffer from increased internal resistance and poor power performance, while thin electrodes provide high power but limited energy density, resulting in an intrinsic trade-off. In this study, we propose a novel approach that integrates high-nickel NCM cathodes with femtosecond laser-based electrode processing technologies to overcome these challenges. High-Ni NCM cathodes offer high reversible capacity and energy density, but their commercialization is limited by interfacial instability, microcrack formation, and accelerated capacity fading. To address these issues, optimized electrode compositions and stable microstructures were designed. In parallel, femtosecond laser texturing was applied to transform conventional planar electrodes into three-dimensional architectures, thereby enhancing lithium-ion transport and reducing charge-transfer resistance. Laser edge etching improved coating uniformity and suppressed local current hotspots that can induce lithium dendrites. Furthermore, femtosecond laser notching with burst-mode optimization and Bessel beam shaping was employed to minimize dross formation during electrode cutting, ensuring precise electrode patterning. Overall, this work establishes a new electrode manufacturing strategy that simultaneously achieves high energy density, high power performance, and enhanced safety, providing a promising technological foundation for the commercialization of next-generation energy storage systems.

[P36-2]
Bioinspired redox-coupled conversion reaction in FeOOH-acetate hybrid nanoplatelets for Na ion battery: SHIN SEUNGWON, Woojin Kim(Hongik Univ.), Bumchul Park*(고려대학교/ Korea Univ.), Jiung Cho*(Hongik Univ.)
Keywords: Sodium-ion battery(SIB)

Lithium-ion batteries (LIBs) dominate the market due to high energy density but face limitations such as scarce resources, high cost, and environmental concerns. Sodium-ion batteries (SIBs) are considered a promising alternative due to their abundance and low cost, but their large ionic radius and lack of suitable anode materials pose challenges. In this study, FeOOH, a conversion-reaction-based anode material compatible with Na, was used. While FeOOH offers structural stability and abundance, Na storage causes structural collapse and uneven conversion reactions. Inspired by the biochemical principle of FeOOH and acetate forming layered structures in nature, a hybrid nanostructure was designed. Acetate was inserted to expand the b-axis of lepidocrocite-type FeOOH, enabling Na insertion to induce Fe_3O_4 conversion and simultaneous Na_2CO_3 formation/decomposition, facilitating ion transport. Half-cell tests with coin cells optimized binder and conductive additive combinations, and electrochemical performance, reaction mechanisms, and resistance were analyzed via galvanostatic charge/discharge, cyclic voltammetry, and EIS, while structural characteristics were examined with XRD and SEM. The results demonstrate that acetate-inserted lepidocrocite nanoplates can serve as active SIB anode materials, providing a foundational model for designing redox-coupled conversion reactions in inorganic–organic hybrid structures.

[P36-3]
Adsorptive Surface Properties of Mesoporous Double-Walled Carbon Nanotubes Synthesized by Fluidized-Bed CVD: Nam Seung hyun, CHO HYE RI(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON)), KIM MIN JUN(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON), Chonnam National University), KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency (KCARBON))
Keywords: Double-walled carbon nanotube, micropore, mesopore, pore structure, chemical vapor deposition

Double-walled carbon nanotubes (DWCNTs) with over 80% selectivity were synthesized via a fluidized-bed chemical vapor deposition process using Fe/Al_2O_3-supported catalysts. The structural and chemical properties of the as-grown samples, including inner and outer diameters, crystallinity, and carbon yield, were systematically characterized by high-resolution transmission electron microscopy, field-emission scanning electron microscopy, Raman spectroscopy, and thermogravimetric analysis. In addition, nitrogen adsorption–desorption measurements at 77 K were employed to evaluate the porosity and adsorption behavior before and after purification. The resulting DWCNTs exhibited an average outer diameter of approximately 2.60 nm and an inner diameter of 1.90 nm, with an interlayer spacing of 0.35 nm. Notably, the nanotubes showed a reduced tendency for bundle formation and demonstrated mesoporous adsorption characteristics with high surface area and pore volume. These structural and textural features suggest that the

synthesized high-yield DWCNTs can serve as promising candidates for next-generation energy storage systems, particularly supercapacitors requiring high surface area and accessible porosity.

[P36-4]

Surface Characteristics of Double-Walled Carbon Nanotubes Synthesized via CO_2 Resource Utilization in Fluidized-Bed CVD: CHO HYE RI, NAM SEUNG HYUN, KIM MIN JUN, KIM DONG YOUNG*(Korea Carbon Industry Promotion Agency)

Keywords: Carbon dioxide conversion, Single-walled carbon nanotubes, Fluidized-bed, CO_2 resource utilization, Nanopore structure

The circular utilization of carbon dioxide (CO_2) is increasingly recognized as essential for achieving carbon neutrality, shifting attention from simple storage to conversion into high-value carbon nanomaterials. Double-walled carbon nanotubes (DWCNTs), in particular, exhibit greater thermal and chemical stability than single-walled counterparts and possess distinctive electrical and optical properties, positioning them as promising next-generation materials. In this study, we investigated a stepwise fluidized-bed chemical vapor deposition (FB-CVD) route that converts CO_2 to DWCNTs using two discrete catalytic stages: a Ni/Al_2O_3 catalyst to convert CO_2 into CH_4, followed by a Co/Al_2O_3 catalyst for DWCNT growth. A dual-reactor configuration within the fluidized-bed system enables efficient gas-phase contact and thermal management across the sequential steps. The structural and chemical characteristics of the synthesized DWCNTs were analyzed using field-emission scanning electron microscopy, high-resolution transmission electron microscopy, Raman spectroscopy, and thermogravimetric analysis. Furthermore, the porosity of the DWCNT networks was characterized using the α_s-plot–based subtracting pore effect method, while micropore and mesopore distributions were quantified by the Horvath–Kawazoe model and the Barrett–Joyner–Halenda model, respectively. This study demonstrates a viable pathway for transforming industrial CO_2 emissions into advanced DWCNT materials and establishes a foundation for the future industrial-scale production of CO_2-derived DWCNTs.

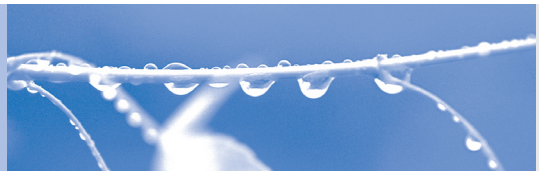
[P36-5]

항공부품용 PTFE/STS의 온도 변화에 따른 마찰마모거동 연구: 김인서, 정동일, 최현주*(한국자동차연구원)

Keywords: wear test, PTFE, cryogenic environment, coefficient of friction, aircraft parts

우주탐사 장비의 신뢰성과 구동 효율을 확보하기 위해 극한 환경에서도 성능 저하 없이 안정적으로 작동 가능한 재료 개발의 중요성이 증대되고 있다. 윤활유 사용이 제한되는 우주 환경에서는 낮은 마찰계수와 우수한 내마모성을 갖는 고체윤활제의 적용이 요구되며, 세라믹 분말이 포함된 PTFE(Polytetrafluoroethylene)계 고분자복합재료는 -200°C~260°C의 온도 범위에서 물성 안정성과 우수한 마찰저감 특성으로 우주항공 회전체 부품용 코팅재료로 크게 주목받고 있다. 본 연구에서는 -150~120°C 온도 범위에서 PTFE계 고분자복합재료의 마찰마모특성을 평가하기 위해 항공부품용 재질인 스테인리스강 표면에 PTFE계 고분자복합재료를 코팅한 시험편을 제작하였으며, pin-on-plate 방식의 마찰마모 시험평가를 실시하였다. 온도 조건별 마찰계수(COF) 및 마모량을 측정하였으며, 마모흔의 단면/표면 분석을 통해 온도 변화에 따른 마찰마모거동을 비교하였다. 시험결과로, 온도가 감소할수록 마찰계수가 일부 증가하는 경향을 보였는데 이는 극저온 환경을 포함한 PTFE계 고분자복합재료 코팅의 온도 변화에 따른 마찰마모거동을 이해하는데 도움이 될 것이라 판단되며 향후 우주항공 부품용 재료 연구에 참고자료로 활용될 수 있다.

발표자 색인



ㄱ

강갑훈 우주2-3
강결찬 P27-3
강경록 P11-12
강덕호 P2-22
강동수 국산화1-2
강동욱 P3-26
강동현 P19-8
강민혁 마그네슘2-3
강성훈 소프트1-2
강수성 P3-13
강승연 학생3-5
강원묵 P4B-5
강재동 P11-40
강준이 P5-8
강지형 웨어러블3-2
강창민 P9-10
강청아 P5-13
강태웅 저탄소2-3
강헌 P5-23
강현식 표면계면2-2
강현우 열처리1-2
강호성 적층3-4
강호정 P24-3
강희삼 저탄소1-1
고건호 P25-4
고경민 P22-2
고신범 P2-12
고원석 철강B4-1
고재훈 학생2-6
고진석 수소1-1
고태영 재료강도2-4
곽륜호 수소1-4
곽종현 P16-6
곽태준 철강A4-3
구광모 폐자원2-1
구본우 적층6-3
구지호 터빈1-4
구태균 타이타늄2-3
권민철 P4A-1
권시은 적층3-2
권아람 P13-21
권예리 P11-55
권오학 폐자원1-2
권용남 우주1-2
권지민 P27-20
권택규 P20-2
권해웅 마그넷1-1
권혁민 P34-1
권혁준 피로3-1,국산화1-3
권홍기 용접1-3,P16-9
김가은 P19-10
김건 고온2-3
김건흥 P14-6
김경민 초탄성2-3
김경표 집합1-2
김경환 용접2-1
김규낙 P2-10
김규헌 철강B1-2
김근우 전산4-1
김기범 고엔3-2
김기현 P35-8,이차전지1-4, P8-19
김대현 집합2-2
김덕 저탄소2-4
김도원 학생2-3
김도현 P12B-18
김동명 AW-3
김동오 P6-9
김동완 전산4-2
김동욱 비철2-6,소재AI2-1
김동하 철강B2-2
김동혁 피로1-2
김동호 수소2-3
김동환 P9-5,적층4-2
김두연 P2-6
김래언 재료강도2-3
김려현 P21-7
김무진 정책2-3
김문수 철강B5-3
김민규 P13-3,학생2-5
김민균 P18-5
김민수 용접1-4,P18-10
김민재 P32-3
김민종 고엔4-4
김병재 P23-6
김병주 용접3-5
김병준 대학원생1-5
김보규 P28-8
김보호 철강A5-4
김보희 피로1-5
김봉고 P29-10
김봉철 고온1-2
김상규 수소2-5
김상태 집합미세2-1
김선기 P5-17,P5-16
김선민 P15-7
김성원 P18-3
김성진 적층7-5
김세종 알루미늄3-3
김세호 수소경제2-1
김세훈 AW-1
김세희 적층8-3
김송이 P9-16
김수민 학생3-3,대학원생1-3
김수빈 P4A-10
김수정 P9-11,P28-19
김수헌 철강B4-2
김영무 피로1-3
김영민 수소경제2-4
김영서 P17-6
김영석 P33-6
김영수 철강A2-2
김영우 P3-17
김영찬 피로3-2
김영훈 역학2-2,P3-9
김완배 P2-1
김용근 P3-25
김용유 알루미늄3-2
김용호 P5-18
김용희 철강기술2-2
김우겸 에너지가공2-3
김우혁 타이타늄1-1
김은주 P8-2
김은채 P26B-14
김인서 P36-5
김인아 P8-17
김장중 분석1-1
김재성 마그네슘2-4
김재연 P29-1
김재인 P19-11
김재황 저탄소3-3
김재훈 소성1-5
김정기 터빈3-1,초탄성2-4
김정석 재료강도2-5
김정욱 항공1-2
김정한 에너지가공1-4
김종명 철강B3-4
김종형 역학1-5
김종훈 타이타늄1-2,P10-2
김주호 P8-15
김준혁 P32-2,P3-12
김중석 철강A1-3
김중훈 P21-3
김지수 P16-10
김지우 P34-5
김지현 P28-16,철강A2-3
김지훈 철강B2-1
김진우 P4B-10,집합미세2-3
김참일 P5-20,P5-19
김채원 타이타늄3-3
김태빈 P7-8
김태식 반도체1-7
김태엽 P11-47
김태윤 복합1-1,P20-9
김태형 P2-25,P2-17, P2-26
김하늘 알루미늄1-4
김학현 P2-18
김현 P5-10
김현빈 우주2-1
김현서 P2-24
김현영 P27-7
김현우 국산화2-5
김현진 P32-1
김형욱 정책3-2
김형준 알루미늄2-6, 철강B1-4,정책3-3
김혜주 철강A4-6
김홍민 P23-2
김홍석 피로2-4
김효규 P3-23
김효원 에너지3-2
김희성 피로4-3

ㄴ

나윤희 P33-3
나혜성 P2-21
남서우 P28-15
남수민 알루미늄1-6
남승훈 터빈4-4
남지민 용접3-3
남태현 초탄성1-1
남효문 P2-28
노주림 P16-4
노한섭 철강B5-1

ㄷ

도정현 국산화2-1

ㄹ

류호진 AW-4

ㅁ

마태동 우주1-3
명다빈 철강A4-1
명재우 P8-16
문광현 고엔2-2
문병기 폐자원1-4
문병록 수소2-4
문선영 P2-27
문제혁 P22-6
문주연 철강B4-3
문준혁 상변태1-5,P14-8
문지성 학생1-6
문찬혁 P12B-16
문천우 나노융합1-6
민기득 재료강도3-1,우주2-2
민동준 철강기술1-1

ㅂ

박강현 고엔2-6
박건우 P17-2
박령주 학생3-4
박민로 마그넷1-5
박민우 NeXS3-2
박민지 P28-6
박민호 발광2-3
박봉천 철강B2-3
박상규 P23-8
박상원 철강A2-5,P10-4
박상현 열전1-5
박성민 상변태2-4
박성혁 집합미세1-4
박성현 P2-3,타이타늄1-3
박성환 이차전지1-3
박소연 적층4-3
박수빈 타이타늄3-1
박시욱 P31-8
박시현 P28-13

박연경 P28–7
박연우 P35–4,P35–5
박용욱 P12A–11
박유빈 생체2–2,P30–5
박유진 P12B–12
박윤지 적층8–1
박윤창 P29–6,P29–12, P29–9
박재범 이차전지2–1
박재영 국산화1–6
박재형 P18–2
박정섭 철강A4–5
박정연 P10–5
박정현 P16–7,P16–5
박정훈 스마트1–1
박종성 표면계면2–4
박주현 철강기술2–3
박준범 철강A5–3
박준상 표면처리1–4
박준서 P9–8
박준영 P31–5
박지영 적층1–5
박지원 타이타늄2–4
박지환 초탄성1–4
박진균 이차전지2–2
박진수 적층2–4
박진웅 P11–63
박찬근 철강A1–5
박찬범 P7–15
박찬우 P31–6
박찬희 초탄성2–1
박태연 P4B–4
박태원 P28–4
박태윤 P6–5
박하음 P3–2
박현 집합미세1–2
박현우 P20–1
박현철 P2–23
박혜선 P35–3,WISET1–2
박효진 고엔2–3,여성1–2, P1–40
방진현 P12B–11
배규열 용접3–1
배동화 수소2–2
배민혁 P16–8
배장현 알루미늄3–7
배준호 폐자원3–1
백건우 적층1–1
백민아 P6–4
백성현 P5–24
백원종 P15–14
백인섭 P31–3
백종민 P16–2,용접3–2, P16–3
백하은 P27–14
변진언 학생2–1
부홍은 나노융합1–2

ㅅ

사공만재 알루미늄2–3
서기완 P18–4,타이타늄2–1
서세덕 P28–12
서예진 적층5–2
서원욱 P2–32
서위걸 집합2–1
서재완 P21–1
서정후 P11–57
서혜진 P18–1
서희창 P28–11
설재복 알루미늄3–1
성덕규 P20–3
성민영 고엔2–4
성예찬 항공3–3
성지혜 P20–6
성효경 에너지가공2–4,피로3–3
소영섭 P4A–23,P1–64
소원재 P22–8,P16–13
소윤지 폐자원2–4
소지영 P2–14
손도상 P3–5
손성하 철강B1–1
손수정 고엔3–5
손인수 터빈1–1,피로1–1
손지희 열전1–4
손하영 폐자원2–5
손현우 알루미늄2–2
손현택 폐자원3–2
송건호 P21–6
송덕용 대학원생1–4
송람 P5–22
송민준 P10–3
송용설 정책4–1
송유진 P3–4
송전영 터빈4–1
송호정 재료강도3–4
송화영 P14–17
신누리 분석1–5
신명균 철강기술2–1
신선미 P17–12
신승혁 철강B2–4
신승환 P4A–5
신영호 P18–11,P18–12
신재우 에너지가공2–1
신종훈 항공3–4
신지용 알루미늄1–5
신필욱 P4A–27,P1–42
신현우 P35–2
신현정 P32–6,P22–7
심문세 저탄소3–2
심상훈 수소경제1–4
심선호 P2–13
심영래 P9–1,P9–2
심충용 비철1–3,폐자원2–3
심현석 웨어러블1–4

ㅇ

안교진 피로4–2
안동혁 고온1–3
안동현 P16–12
안두홍 피로1–4
안성민 반도체1–5
안성열 NeXS3–4
안양덕 P2–30
안은영 P15–5
안재은 P5–15
안지영 비철2–1
안찬울 P6–10
안치성 P3–29
안효주 철강A1–2,P8–7
양선영 역학1–3
양수미 복합1–2
양승우 P21–5
양원석 P5–14
양준열 P4B–6
양회석 폐자원1–1
양희평 용접2–3
어광준 저탄소3–1
여준기 고온3–2
여지윤 나노융합1–4
염준빈 P12B–4
염진석 P19–6,P17–9
염화성 적층6–1
예대희 폐자원3–4
예정원 P4A–12,철강B2–6
오동규 재료강도1–4
오문열 P12A–10
오병헌 P9–7
오승철 국산화1–5
오승환 저탄소1–2
오용록 에너지가공1–2
오은기 P17–1
오창석 인공1–3
오혜민 P34–2
옥명렬 스마트2–1
우정현 역학1–4
우한별 터빈1–2
원윤정 NeXS3–1
위재혁 P11–45
유병문 P6–14
유승민 표면계면1–2
유진영 인공1–2
유채은 용접1–2
유한준 P12A–1
유현용 항공3–2
유현지 역학1–1,P28–1
유형규 P4A–9
유형조 폐자원1–3
유효상 P5–21
유희덕 P8–13
윤경식 P13–9
윤누가 철강A3–5
윤대원 터빈3–2
윤병현 폐자원3–5
윤석현 국산화2–3
윤성민 용접2–2,P27–16
윤성영 P11–56
윤연희 P5–2
윤영준 P31–4
윤영철 P11–29
윤주희 고엔2–1
윤준원 P21–8
윤중묵 저탄소1–3
윤지민 P19–7,P17–8
윤지상 P3–19
윤지현 P9–13
윤태영 전산5–1
윤혜진 P14–4,P1–39
윤희숙 스마트3–3
이강진 고엔4–2
이강현 P13–6
이경환 P5–7
이계만 철강B5–2
이광석 정책2–4
이광석 철강기술1–3
이규필 P4B–1
이나경 P8–1
이도성 수소1–3
이도연 P26B–23
이도원 적층1–3
이도윤 P5–6
이동건 P23–7
이동근 AW–2
이동휘 표면계면1–4
이동희 P2–4
이두열 피로2–3
이락규 P29–7
이명준 상변태1–4,P27–2
이민숙 P2–33
이민영 P3–7
이민호 P3–1
이병찬 열처리1–3
이병현 피로3–4
이빈 집합미세1–5
이상곤 국산화2–2
이상봉 집합미세1–3
이상엽 비철1–1
이상원 P4A–8,터빈3–3
이상익 알루미늄3–4
이상환 P24–5,P24–4
이서영 P23–4
이선 P21–10,학생3–2
이선영 여성2–2
이성광 P6–2,학생2–7
이성호 타이타늄3–4
이소영 고엔1–1,비철1–5, P27–19
이수연 열처리1–4
이수정 P10–6
이수진 P33–2
이슬 국산화1–4
이승민 P29–11,적층7–4, P3–20
이승연 P3–30
이승엽 마그네슘1–1
이승용 고온2–2
이승진 발광2–2
이승찬 P27–11
이승환 P3–14
이승희 소성1–3
이시안 생체2–3
이시연 역학2–1
이시온 알루미늄1–3
이시우 고엔3–4
이신애 P28–2
이아름 P31–1
이영민 P32–7,P22–5
이영호 P3–21
이용건 고엔4–1
이우영 P5–1
이원찬 고온3–4
이유림 P30–6
이유진 P27–18,P30–7
이윤모 철강A3–3
이윤승 고온2–4,P11–27
이윤호 P5–5
이은세 P22–1
이재범 P25–1
이재영 스마트3–2
이재용 P6–19
이재혁 P4A–11

이재현 발광1-3
이재형 알루미늄1-1
이재호 소성1-4
이재흥 적층6-5
이정광 P36-1,P1-25
이정민 P4A-3
이정아 전산2-1
이정연 P26A-7
이정찬 P6-1
이정한 P9-12
이정헌 스마트2-3
이정훈 철강B1-5,수소경제1-1
이종현 폐자원1-5
이주영 P3-16
이주희 표면처리1-1
이준민 대학원생1-2
이준석 P4B-11
이준엽 대학원생1-1
이준혁 비철1-4
이지언 P8-1
이지욱 정책2-2
이지원 학생1-5
이지혁 P8-6
이진구 P9-14
이진영 철강B1-3
이창수 에너지가공1-3
이탁영 고온2-1
이태수 발광1-4
이태혁 폐자원2-2
이푸른 P34-3
이한샘 철강B4-5
이해철 비철1-2
이헌구 정책2-1
이헌경 WISET1-4
이현석 초탄성2-5
이현주 P14-1
이현준 P2-7
이형수 P9-15
이혜미 타이타늄3-2
이호 전산1-3
이호식 P32-8
이호영 재료강도1-3
이홍철 피로2-2
이효연 P14-1,P1-36
이효정 학생1-4
이희상 P5-11
이희열 P12A-2
임규석 P2-9
임민혁 적층3-3
임성진 P27-6
임송희 전산5-2
임승혁 P6-8
임시은 적층4-4
임영빈 P26B-10
임용수 P21-4
임재한 P21-12
임종묵 피로4-4
임진수랑 고엔1-6,P18-8
임진환 타이타늄1-4
임태협 마그넷2-4
임하윤 알루미늄2-5
임하은 P3-24
임현빈 P4A-2
임현태 P3-28,P3-27

ㅈ

장도현 P3-15
장동민 적층7-2
장민관 고온3-3
장서현 P28-3
장성문 P27-8
장수민 P9-3
장연하 표면계면2-3
장익제 P23-5
장재철 알루미늄3-5
장정아 비철2-3
장준호 학생3-6
장태완 P2-15
장태진 고엔1-5
장한휘 인공3-2
장형욱 전산2-2
장희진 터빈4-2
전경화 P1-3
전규민 생체1-4
전석우 정책3-4
전세준 P34-6
전세훈 P26B-15
전영수 수소경제2-2
전우진 P26B-16
전찬수 P35-6
전창우 터빈2-1
전초록 상변태1-3
전호정 스마트3-1
정다은 항공1-3
정대한 P5-9
정대호 피로4-1
정대훈 용접3-4
정동율 철강A4-4
정동일 표면계면2-1
정무섭 저탄소1-4
정민섭 P21-11
정민재 P3-18
정범진 웨어러블1-3
정수민 P12A-9
정수진 P6-15
정영길 저탄소3-4
정용석 AW-5
정용주 P33-1
정용훈 에너지3-6
정윤종 고엔2-5
정은미 철강기술1-2
정은진 P26A-15,철강A3-4
정이 P9-9
정이화 P2-8
정인호 저탄소2-2
정일찬 철강B5-4
정재우 적층7-6
정종욱 적층2-3
정종현 철강B3-2
정주리 고엔1-4
정주은 P7-16
정준모 P2-3,P1-41
정지윤 수소3-2
정진곤 P2-29
정진휘 국산화1-1
정차희 적층2-6
정창현 P3-10
정택용 P8-12
정하국 P20-10
정현 수소3-4
정현우 비철2-4
정현호 폐자원3-3
정혜은 용접1-1,P21-9
정혜지 알루미늄2-4
정회연 P28-14
정휘윤 P4A-4,상변태2-2
정희재 P4B-7
제승근 마그넷1-4
조가은 P27-1,WISET1-6
조다한 철강A4-2
조대현 항공2-2
조덕현 고온3-1
조민서 철강A1-4
조서현 P30-8
조연하 P23-1
조영근 재료강도2-1
조용준 수소1-2
조용훈 적층1-4
조준영 P6-13
조지현 역학2-4
조진우 P12A-14,정책1-1
조현욱 P28-9
조훈휘 NeXS2-2
조휘재 전산2-3
주경준 국산화2-4
주소연 여성3-1
주수빈 적층2-5
주재성 타이타늄2-2
주하연 용접2-5,P31-7
진연호 P35-7
진혜승 항공3-1

ㅊ

차다은 적층8-2
차은빈 수소3-1
차은환 P8-9
천민준 반도체1-4
천세영 P6-18
천세호 마그네슘1-2
천재은 인공1-1
천현석 알루미늄3-6
최건한 P20-11
최광수 소성1-1,P24-6
최다은 P12B-19
최단웅 고온2-4
최동기 P31-9
최동인 적층1-2
최동현 용접1-5
최문수 표면처리1-3
최미선 초탄성2-2
최미진 우주1-1
최범모 이차전지1-2
최보윤 반도체1-2
최상규 반도체1-6
최수환 P6-11
최순원 P4A-6
최승혁 적층5-4
최영근 P26A-1
최영재 스마트1-3
최우석 P2-2
최원석 수소경제1-3
최유림 P11-59
최윤석 피로2-1
최은비 적층6-4
최이정 생체2-1
최재혁 역학2-3
최재훈 P17-3
최정원 학생1-7
최정현 P16-1
최정후 학생2-2
최주미 고엔1-2
최준영 P2-19,비철2-5
최준혁 인공2-1
최지환 고엔4-3
최현주 알루미늄2-1
추규성 P34-4

ㅍ

표창민 P32-4,P16-11

ㅎ

하륜 이차전지1-1
하수빈 P4B-9
하은유 P2-31
하윤철 철강A1-1
하재민 P12A-4
하주영 P8-10
하지원 P34-7
하헌영 여성2-1
하효정 수소1-5
한규미 적층5-1
한동윤 P18-9
한동진 P2-5
한상윤 상변태2-3,P27-22
한성희 P28-10
한수빈 P21-2
한승준 P1-4
한인성 알루미늄1-2
한재연 P9-4,재료강도3-2,적층5-3
한정훈 P6-16
한지혜 P5-12
함주빈 P28-17
함지웅 P26B-19
허민아 P4A-7
허성보 P33-5,P33-7
허성준 분석1-2,P29-2
현명우 P27-5
현보 심 P23-3
현세미 여성1-1
홍동성 P4B-8
홍명환 P15-13,P15-9
홍민기 적층5-5
홍석우 P13-1
홍석원 P28-18
홍성찬 수소3-3
홍종화 에너지가공2-2
홍지우 P24-1
홍창완 상변태2-1,P29-8
홍현빈 P22-3
홍현욱 터빈2-2
황규빈 수소1-6
황병철 에너지가공1-1
황원구 적층2-2
황유진 철강B3-3
황재호 P2-11
황정우 타이타늄3-5
황지인 비철2-2

A

ABBAS MUHAMMAD AOUN P4B-2

Ahn Subin P27–14, 상변태2–6
AhYeon Cho P1–61
ALI NAVEED P11–19
An gunwoong 마그네슘1–4
Andersson Anton 철강A3–1
Appiah Emmanuel Owusu 표면계면1–5

B

Baek Gyuin P15–3
Baek HaSeong P17–10
BAEK SEUNGJU 에너지1–2
Bayi Nelson 고엔4–5
Bee Lyong Yang P6–17
Bilal Muhammad 적층8–3
Bo–Hyun Park P19–3
Bong Hoon Kim 웨어러블2–4
Byung Chul Yeo K–Taiwan1–2
BYEONGKWON LEE P19–9, P5–4

C

Chan Ho Moon P1–56
Changhwan Choi P11–54
Chansu Jeon P33–7
Chih–Huang Lai K–Taiwan1–1
Cho AhYeon 인공1–2
Cho Gyuhyeon P26B–5
Cho Haejoo 적층8–4
CHO HYE RI P36–4
CHO Hyeonwoo P7–14
Cho Jaeha P26B–2
Choe Hyejin 나노융합1–1
Choi Dain P17–5
Choi Hyeonbin P26A–14
Choi Jaehyeok P7–11
Choi Janghoon P26B–1
Choi Jungyoon P7–4
CHOI SEO YUN P26A–13
Choi Seul Ki WISET1–7
Choi Shi–Hoon 집합미세1–1
Choi Won Woong P12B–8
Chu Young 반도체1–3
Chung Yoonmoon P6–3
Chung Youngjun P15–12

D

Dae Hyeok Kwon P11–36
Daehan Chung P11–39
Dereje Degefa Geleta 철강A5–2
Dilshodbek Yusupov P4B–3
Do hyeon Jung P11–46
Dong Hyun Lee P13–14
Dong In Han P1–29
Dong Won Jeon P1–28
Dong–Sung Won 생체1–2
Dongbeen LEE P11–51
DongEung Kim 소재AI2–2
Donghee Shin P1–44
Dongjoon Rhee 나노융합2–1
Dongmin Kim P11–17
Dongwook Kim P11–64
Dongyeon Kim P11–5
Duk–Hee Lee P11–17, P11–20

E

EOM SANGMIN P12B–21
Eunji Lee P1–65
Eun Ji Seo P11–25
Eun Seong Kim P1–19
Eunchae Oh P11–34
EunChan Wang 표면처리1–2
Eunsoo Choi 초탄성1–2
Eunyeong Yang 여성1–3
E–Wen Huang K–Taiwan2–1

G

Gal Chang Woo 적층7–3
Galkin Vitalii 마그넷1–3
Gao Zhe 역학1–2
Gargi Roy 용접2–4
Gayun Kim P1–10
Geonwoo Kim P1–11
Gerald Selasie Gbadam P26A–11
Giheon Ha P1–7
gim hyesu P12B–24
Gupta Radha P26B–20
Gwak Sujeong P26A–4
Gyeongeun Seok P11–16
Gyuri Kim P12A–12

H

Ha Giheon P1–59
Ha Jung Woo P13–17
Ha Neul Kim P15–1
Haitao Zhu 복합1–6
Han Dahye P8–14
Han Dong In 분석1–1
Han Ingyeong P13–12
Han Jihoon P29–5
Han YeWon P33–4
Hayan Shin P13–4
Hee–Tae Jeong P22–4, P14–7
Heeju Kim P8–4
HeeRa Lee P11–58
Heo Changhoon 전산5–3
Heo Junyoung P35–1, WISET1–8
heo sung 발광1–1
Hobeom Kim 발광2–5
Hong In Jeong P1–5
Hong Woojin P26B–8
Hun–Min Jo P12A–3
Hwajoong Kim P1–62
Hwan–Hee Cho 웨어러블3–1
Hwang Jun Beom 에너지3–3
Hwang Wooseop 인공3–3
hwanwook lee P12B–25
Hyangsoo Jeong 수소경제1–2
Hyechan Park P1–14
Hyemin Ryu P11–26
Hyeon Han 나노융합2–2
Hyeonbeen Noh 고온1–1
Hyeonggeun Kim P11–37
Hyeongmin Yu P11–22
Hyeonsoo Wi 학생1–2
HYESEONG CHOI P27–12
Hyesung Jo P11–3
Hyeuk Jin Han 소재AI1–1
Hyoun Woo Kim P26A–5
Hyun–hak Kang P10–1
Hyun–Ki Kang 적층2–1, 터빈1–3
Hyungdoh Lee P15–6
hyunjoong kim P13–19
HYUNJUN KIM 생체2–4, P19–2
Hyunjung Yi 웨어러블2–2

I

Ibrahim Tijani P26A–9
INSEO KO WISET1–1, P1–47

J

Jae Bok Seol 터빈4–3
Jae Gyeong Yoo P11–13
Jae Ho Kim P11–12
Jae–Deuk Kim P1–31
Jaecheon Kim P12B–17
Jaehong Lee 스마트2–2
Jaehoon Jung P7–18
Jaehun Kim P11–48
JaeHwang Kim NeXS2–4
Jaehyeok Seo P26A–2
Jaejung Park P11–6
Jaewon Jang P1–16
Jaeyeon Oh P1–13
Jang Jimin P12A–15
Jang Sejin P27–4
JANG SEONGBO P1–60
Jang Ye Ryeong P13–2
Jang–Ung Park 웨어러블1–2
Je Hyeong An P19–1
Jeon Hee Yeon P26B–21, P14–10
Jeon Minseo WISET1–5
Jeong Hyeon Ji P20–7
Jeong Hyeonjong P13–16
Jeong Kyeongjae 집합미세2–2
Jeong Seong–Yong 나노융합2–3
Jeong Seoyeon P25–2
Jeong So Yun P18–6
Jeong Tae Kim P27–21
Jeong–Min Cheon P1–1
JeongA Kim P1–27
JEONGMIN KIM P14–5
JeongWon Yeh P11–14
Jeongwoo Ham P1–58
Ji Sanghyun P27–15
Ji Won Kim P30–4
Ji–In Chung P8–5
Jiang Wenchun NeXS1–2
Jieun Yun 에너지1–3
Jihoon Kim P11–7
Jihun Kim P11–8
Jihyun Kim P1–8
Jimin Han P11–33
Jimin Park 스마트1–2
Jin Goo Lee P14–15
Jin Jae Eun P20–5
Jinho Kim P1–18
JinHo Park P14–13
Jinhyeok Kim 열처리1–1
Jinju Jeong P11–44
JINKYU LEE P11–10
Jinuk Moon P11–30
Jinwoo Seok P20–4
Jisoo Seo P1–57
JIWON CHOI P32–5
Jo Kwanghyeon P12B–5
JO SUNGGEUN P14–16
Jong Hyeok Lee 소성1–2
Jong Min Park 열전1–2
Jong–Hyeok Kwon NeXS3–5
jongtae kim P3–3,P1–6
Joo Sinhyong P2–16
Ju Hyoeng Yu P11–60
Ju Jihwan 소프트1–1
Ju Seokhwan 철강B4–4
Juhyun Kim P1–49
Jung Dongmyung P12B–26
Jung Jae–Gil NeXS2–3
Jung Jong Gun P7–7
Jung Taemin P7–3
Jung Woo–Jin 전산1–1
Jung Yonghoon 에너지2–2
Junghun Bae P12B–22
JUNHO SEONG P12B–20
Junoh Jung P14–2
Junseok Shim 생체1–1
Junyong Choi 인공2–2
JunYoung Kim P14–3
Juree Jung P1–15
Juyoung An P1–63
Juyoung Han 학생1–1

K

Kang hyunhak P17–4
Kang Joonhee 인공3–1
Kangazian Kangazi Jalal 적층4–1
Kanghee Ku 웨어러블3–3
Kangkeon Lee 학생1–3, P1–48
Keunki Cho 마그넷2–2, P1–38
Khushahal Thool 집합1–1
Ki Hyun Park P1–45
KIHOON KIM P1–51
Kim Bokyeong P18–7
Kim Do–hyeon 마그네슘1–5
Kim Dongmin P12A–30
Kim Dongwoo P26B–22
Kim doyun P7–13
Kim Geonwoo P30–6
Kim Gwanho P7–10
Kim Gyuwon P26B–17
Kim Haeun P8–3
Kim Heejoo 에너지3–1
Kim Ho–Jeong P13–15
Kim Hyoung Seop 고엔3–1
Kim Hyung Jun P19–4
KIM JAEGEOL P12B–3
Kim Jaehyuk P13–20
Kim Jaeil 초탄성1–3
Kim Jaemyung NeXS1–3
Kim Jang hee P20–8
kim jimin 집합2–4
Kim Juhyun P26B–7
Kim Junhyeok P7–8
KIM KIHOON P26B–9
Kim Kyung Il P5–25
Kim Min Jun 표면계면1–1
Kim Minho 집합1–5
Kim Minhyeok 표면계면1–3
Kim Samuel P15–11

Kim Seo Hyun 나노융합1-5
KIM SEOHEE P25-3
Kim Seong Chan P13-11
kim seongjun P13-7
Kim Serin P13-10
Kim Seung Woo P26A-12
Kim Seungwon P12B-10
Kim SeungYeon P15-4
KIM SUMIN P3-6
Kim Taekyung 발광1-2
Kim Taeyeon 생체1-3
KIM TAIHOON 전산3-1, 전산3-1
Kim Woojoong P7-5
Kim Yejoon 에너지3-4
Kim Yeonji P7-12
Kim Yeonjoo P7-1
KIM YEONSU P36-1
Kim Yoon-Seong 전산3-4
Ko Eun Chan P5-3
Ko Junwoo P26B-4
Ko myeongbum P12B-7
Koo Hyeonsoo 항공2-1
Kumar Nishant 철강A2-4
Kwangmin Choi P11-24
Kwangsoo Kim P1-32
Kwon Jieun P30-10
Kwon Minwoo P26A-10

L

Lee Byungju 전산6-2
Lee Chang Wook 철강B1-6
Lee Chang-Lyoul 발광2-1
Lee Chanseok 소재AI2-3
Lee Cheoljae P26A-8
LEE HWANHUI 전산1-2
Lee Jieun 나노융합1-3, P27-10
Lee Jihye 반도체1-1
Lee Jongil P13-8
Lee Jun-Seo P15-10
LEE JUNEYOUING P27-9
Lee Junpyo P7-6
Lee Kang Taek 수소경제2-3
Lee Kyungmi P13-5
Lee Min-Su 복합1-3, P17-11
Lee Minho P26B-12
Lee SangLim P12A-8
Lee Seongho 인공3-3
Lee Soyun 전산3-3
Lee Su Min P26B-3
Lee Won-Kyu 에너지2-1
LEE WONHO P12B-13
LEE WONHYOUNG P27-13, P29-3
Leonardo Rocha P8-18
Lim Kwang-Hyeok 재료강도3-3
Liu Hongxiu 마그네슘2-5
Lulu Lyu P1-26

M

Mallappa Mahanthappa P6-12
Marie-Aline Van Ende 철강A2-1
Min Hyungi 인공2-4, P1-59
Min Jihong 에너지3-5
MINSEONG CHAE P30-1
MinSung Kang P1-23
Moon-Jo Kim K-Taiwan2-3
Moon Kee Choi 소재AI3-2
MOON YEONG HEUM P26A-6
munhwan lee P1-21
Murugesan Mohanra 집합1-3
Myeongjae Heo P12B-23

N

NAKAMOTO HISASHI 재료강도1-2
Nam Seung hyun P36-3
Nam SeungJin 적층6-2
Nguyen To Hai Ha P19-5
Nguyen Xuan Viet P2-20
NHAT NAM HOANG P7-2

P

Park Chang Hyun 에너지1-1
Park GwangMin 열전1-3
Park Gyumin P27-17
Park Haesun 소재AI1-2
Park Hyun Gyu P12B-14
Park Jaehyeon P31-2
Park Jihoon 마그넷1-2
Park Jonghyun 발광2-4
Park Ki Duck 분석1-4
PARK KI SEONG 인공2-5
Park MinSeong 전산2-4, P12B-27
Park Sehyeon P15-2
park sejin 인공1-4
Park Seokmin P14-4
Park Seonhye 전산6-3
Park SeungJun P7-9
Park Sun Jae P15-8
Park Sung Hyuk 폐자원3-6
Park Taehyeon P12B-15
PARK TAEJOON 소재AI1-3
PARK TAEYEON P28-5
Park Yejun 상변태1-2, 철강B2-5
Perumal Naveenkumar P14-12
Priyannth Ramasami Sundharbaabu P11-62

R

Rahmatul Hidayati P4B-12
Raihan Hashmi Muhammad 적층5-6
Raj Narayan Hajra 항공1-1
Renhao Wu P1-30
RO IJUN P6-7
ROHIT RAJ 집합2-3
Ryu Jieun P8-11
Ryu Wook Ha 상변태1-1

S

Sang Jin Park P11-4
SangJeung Park P11-53
Sangmin Song P11-18
Sangwoo Ryu P11-68
SAURABH THORAVAT P11-38
Se Hun Joo 소재AI3-1
Seeun Oh P11-20
Semi An P12A-6
Seo Ho June P26B-13
Seo Hyeon Moon P11-61
Seo Hyun Kim P1-24
Seo Jisoo P26B-11
Seo Jong Hwa P1-55
Seo Namhyuk P31-10
seo seungpyo P26B-6
Seo-Hui Park P12B-9
Seohee Jang P1-34
Seohui Jo P12A-5
Seojoon Bang P1-54
Seok Ju Kang 웨어러블1-1
Seok Jun Lee P30-2
seokho lee P1-35
Seong Uk Ju P11-52
Seong-Jin Kim P8-8
seongmin Choi P13-13
seongsu Choi P1-37
Seongu Kim P11-23
Seoung-yooun Yu 마그네슘2-1
Seoyeon Kim P11-31
Seung Jin Eo P30-3
Seung Pyo Seo P1-53
Seunghyeon Kim 학생2-4
Seunghyun Oh P11-15
Shaik Mahammad Ali 고온1-5
Shi-Hoon Choi NeXS2-1
SHIM EI-JOON P6-6
Shin EunAe P7-17
Shin Gaheun 인공2-3
Shin Min Chang 터빈2-3
Shin Seonho 고엔1-3
SHIN SEUNGWON P36-2
Shin Subin WISET1-3
Shin Yongjin 나노융합2-4
Sim Gi Beom P12B-6
Siwon Yu P11-28
SK Samim Akther P14-11
Sojin Jung P11-42
Sokyun Hong 수소2-1
Son Hyoju P34-8
Song Eunjeong P12B-2
Song Hee Kim P30-9
SONG JOOYEON P12A-13
Song Yu-Jin 집합1-4
Soo Yeol Lee K-Taiwan2-2
Soomin Cheon P1-52
Stefanus Harjo NeXS1-1
Su Min Lee P1-43
Su-rin Cho 마그네슘2-2
Subin Ahn P11-11
Suin Hwang P12A-7
Sujin Lee 마그넷2-3, P11-1,P11-2
Suk-Won HWANG 웨어러블2-1
sukwoo kang P26B-18
Sun-Jae Kim P14-14
Sung Hwan Hong P3-22
Sung-Geun Choi P11-41
Sungeun Kim P1-17
Sungjae Yoo P1-50

T

Tae Gyeong Kim P9-6,고온1-4, P3-11
Tae-Hoon Kim 마그넷2-1
Tae-Woo Lee 웨어러블3-4
Taebin Kim P1-46
Taehong Kim P11-35
Taehoon Park P26A-3
Taeyeon Kim P1-20
Takayuki Iwama 철강A3-2
Tea-Sung Jun P17-7

V

vikas Shivam P4B-13, 고엔3-3
Vu Ba Linh 열전1-1

W

WENLONGZHOU 복합1-5
Won hyo Yoo 재료강도1-1
Won Pyo Hong 마그네슘1-3
wonhyoung Choi P1-9
Wooseop Hwang P1-12
Wootack Chung P1-2
Wu Renhao 적층3-1
Wuyoung Goh P14-9

X

XUE HAN 복합1-4

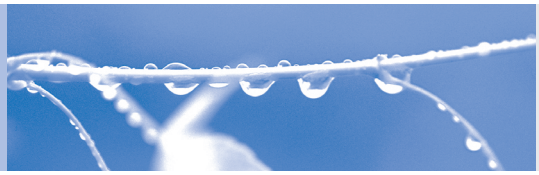
Y

Yang Jeong Park 전산6-1
YANG LURONG P11-32
Yang Sojeong 전산6-4
Yao Su P3-8
YEJIN KANG P11-21
Yejung Choi 전산3-2
Yeongrae Cho 학생3-1
Yeonji Son P11-49
Yeonwoo Do P1-33
Yesmurat Myngzhassar 철강A5-1
YongJoo Kim K-Taiwan1-3
Yoon Min 저탄소2-1
Yoon Pil-Hwan P24-2
Young A Lee P11-9
Young Keun Kim 특별1-1
Young Min Song 웨어러블2-3
Young Woo Han P1-22
Yubhin Cho P12B-1
Yubin Kim P11-43
Yun Jane 상변태2-5, P29-4
Yun Kwag P11-50

Z

Zaigham Saeed Toor 분석1-3
ZHANG BAOCHAO P13-18
ZHENGTONG SHAN NeXS3-3
松田 有趣 재료강도2-2

2025년도 추계 학회상 수상자



1. 금속 · 재료상
◆ 김동명(LG에너지솔루션)

2. 현대제철 학술상
◆ 정용석(한국공학대학교)

3. 세아해암학술상
◆ 류호진(한국과학기술원)

4. 동국송원학술상
◆ 이동근(국립순천대학교)

5. 송천학술상
◆ 김세훈(한국자동차연구원)

6. 친환경소재혁신상
◆ 김미소(한국과학기술원)

7. 첨단소재학술상
◆ 심우영(연세대학교)

8. 현대제철 신진학술상
◆ 정은진(포항산업과학연구원)

9. 윤동석상
◆ 강정신(서울대학교)

10. 청웅상
◆ 설재복(국민대학교)

11. 철재상
◆ 최현주(국민대학교)

12. 서정상
◆ 이기호(포스코)

13. 김용진상
◆ 오승주(고려대학교)

14. 최호영상
◆ 박민혁(서울대학교)

15. 두산에너빌리티 젊은연구자상

- 김은성(포항공과대학교)
- 박진웅(국립한밭대학교)
- 이진영(연세대학교)
- 이태윤(고려대학교)
- 한주연(국민대학교)

16. SPRINGER-MMI 논문상

- 강남현(부산대학교)
- 박성혁(경북대학교)
- 안병민(아주대학교)

17. SPRINGER-EML 논문상

- 김상섭(인하대학교)
- 김수영(고려대학교)
- Shuye Zhang(Harbin Institute of Technology)

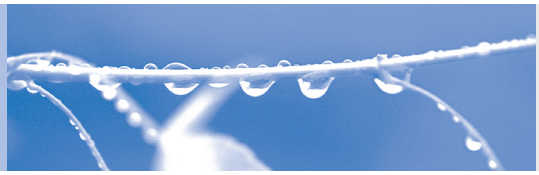
18. KOFWST · KIM 젊은연구자상

- 박효진(포항공과대학교)
- 양은영(국립한밭대학교)
- 현세미(한국원자력연구원)

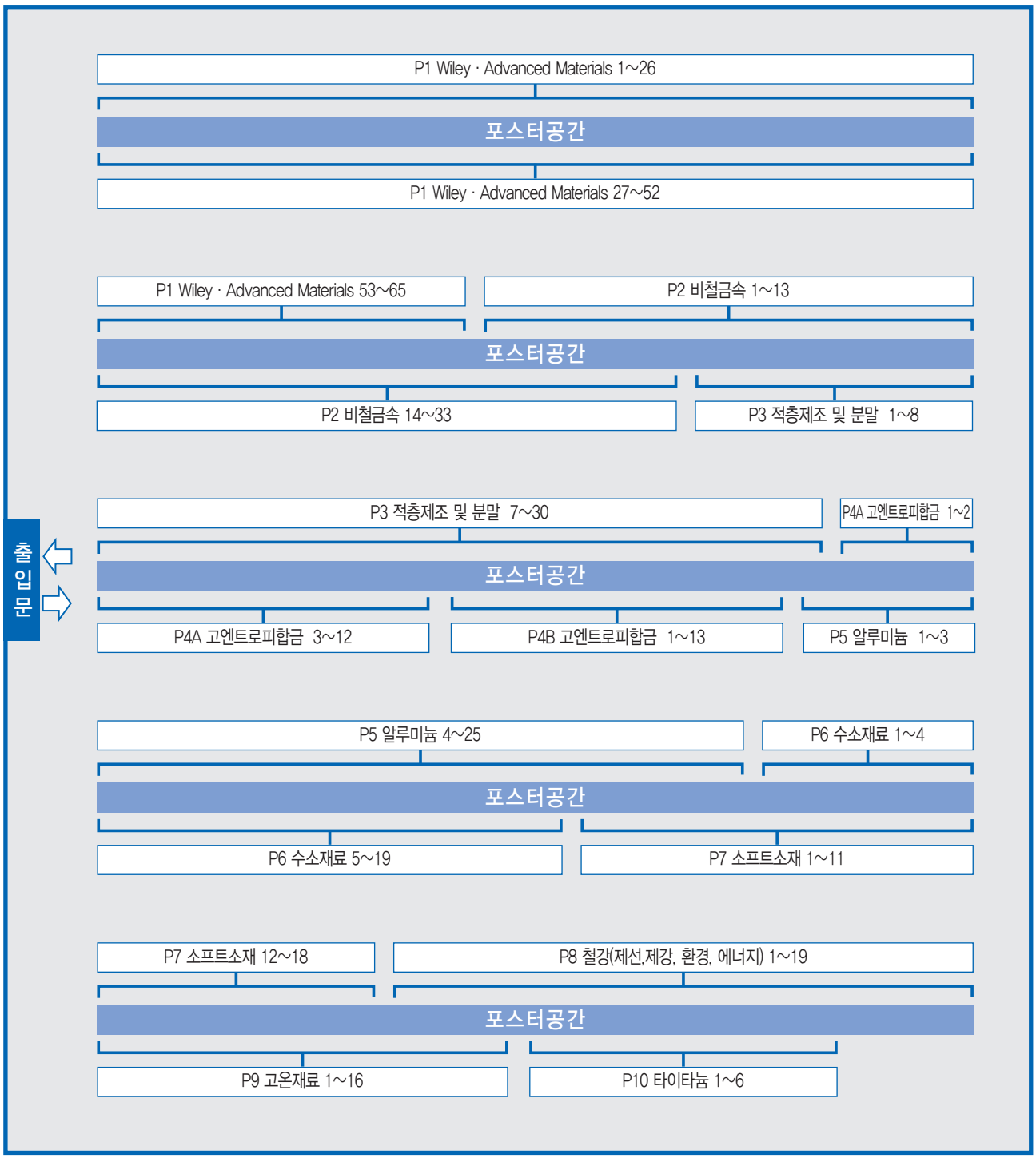
19. MTDI 장학금

- 임진수랑(부산대학교)

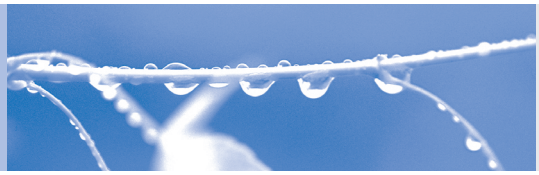
포스터배치



10월 29일(수) 포스터발표 (Poster-I)



포스터배치



10월 30일(목) 포스터발표 (Poster-II)

P11 Wiley · Advanced Materials 1~26

포스터공간

P11 Wiley · Advanced Materials 27~52

P11 Wiley · Advanced Materials 53~64 | P12A 전산재료과학 1~13

포스터공간

P12A 전산재료과학A 14~16 | P12B 전산재료과학 1~23

출입문

P12B 전산재료과학 24~27 | P13 마그넷 1~21 | P14 에너지재료 1

포스터공간

P14 에너지재료 2~17 | P15 디스플레이재료 1~10

P15 디스플레이재료 11~14 | P16 용접 및 접합 1~13 | P17 집합조직 1~8 | P18 인공지능재료과학 1

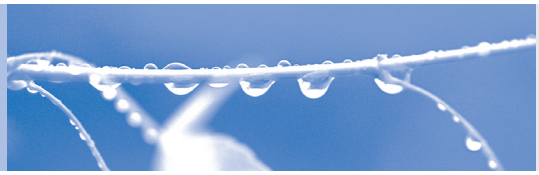
포스터공간

P18 인공지능재료과학 2~12 | P19 마그네슘 1~11 | P20 복합재료 1~4

P20 복합재료 5~11 | P21 철강(압연, 강종개발, 후처리) 1~12 | P22 소성가공 1~7

포스터공간

P22 소성가공 8 | P23 항공재료 1~8 | P24 주조 및 응고 1~6 | P25 반도체 1~4



10월 31일(금) 포스터발표 (Poster-III)

P26A 나노융합소재 1~14 | P26B 나노융합소재 1~12

포스터공간

P26B 나노융합소재 13~23 | P27 상변태 1~15

P27 상변태 16~22 | P28 역학측정 1~19

포스터공간

P29 재료분석 1~12 | P30 생체재료 1~10 | P31 재료강도 1~4

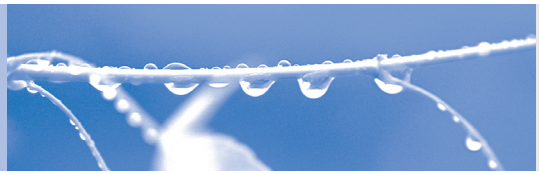
P31 재료강도 5~10 | P32 열처리 1~8 | P33 표면처리 1~7 | P34 열전 1~5

출입문

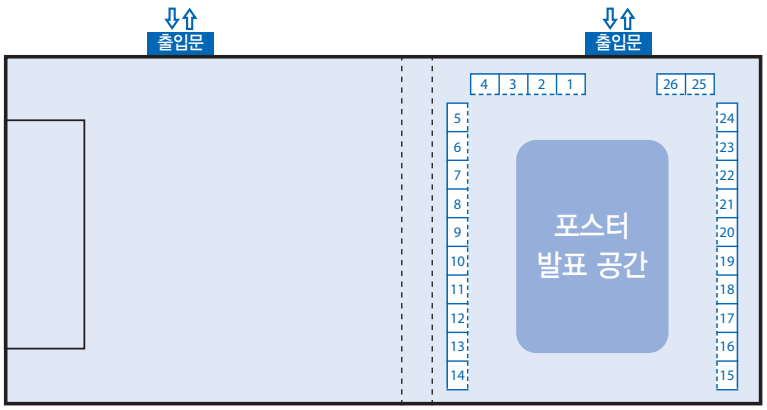
포스터공간

P34 열전 6~8 | P35 이차전지 원료소재 1~8 | P36 표면계면 1~5

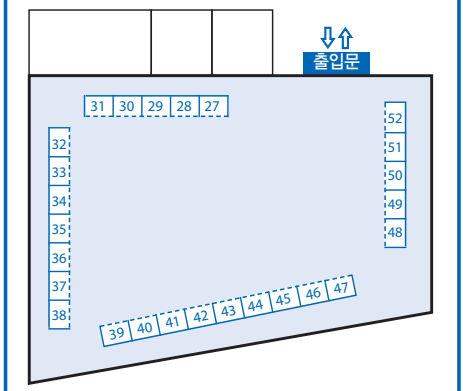
부스배치



김대중컨벤션센터 1층_다목적홀 2



김대중컨벤션센터 1층_열린홀



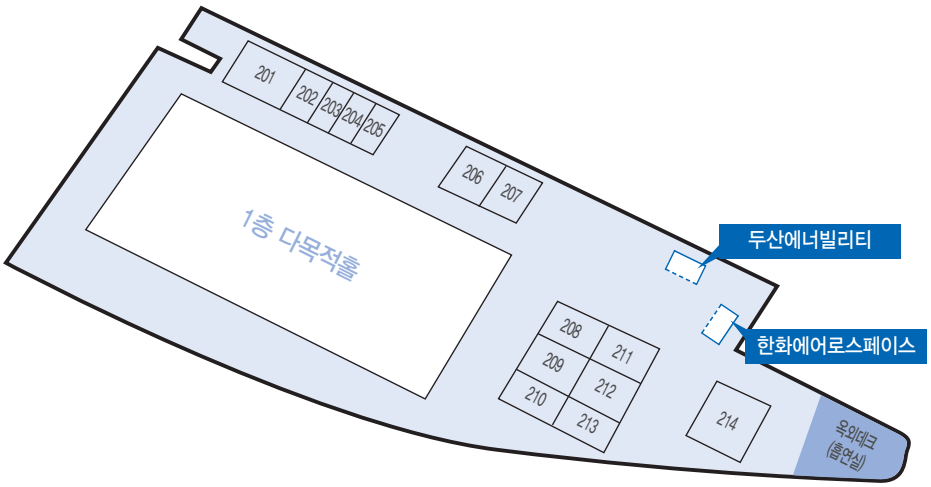
학회 부스 참가회사

1	(주)나노파이오니아
2	(주)만진교역
3	(주)테스트원
4	주식회사 에스엘에스씨
5	(주)에이스이앤지
6	(재)포항산업과학연구원 분석평가센터
7	Anton Paar Korea
8	주식회사 루안
9	HITACHI ELECTRON MICROSCOPES ㈜이공교역
10	JEOL Ltd.
11	퓨전이엔지
12	(주)유로사이언스
13	파트너스랩 주식회사
14	(주)아이넥서스
15	Vishay Micro Mesurment
16	Quantum Design
17	주식회사 갓테크
18	Thermo-Calc Software Korea LLC
19	(주)진일퍼스텍
20,21	써모피셔사이언티픽(Thermo Fisher Scientific)
22	(주)하이록스코리아
23	오엠에이콤 유한회사
24	주식회사 엠엔피
25	크라이오에이치앤아이(주)
26	Kobelco Research Institute, Inc.
27	(주)아이티브에이아이
28	SY SCIENCE CO.
29	비전플러스 주식회사
30	한국재료연구원 극한소재실증연구기반조성사업단
31	한국재료연구원 소재혁신선도본부
32	ZEISS 코리아
33	(주)신영사이언스
34	시편전처리센터
35	(주)진우테크
36	(주)프론틱스
37	스마트코퍼레이션
38	파이로테크
39	코린스테크
40	태명과학(주)
41	부산대학교 공동실험실습관
42	(주)에프엠케이
43	비포스 주식회사
44	엠티엠코퍼레이션
45	(주)웨이브센스
46	(주)솔루션랩
47	(주)알앤비
48	(주)유아이티
49,50,51,52	테스코 & 엠티디아이

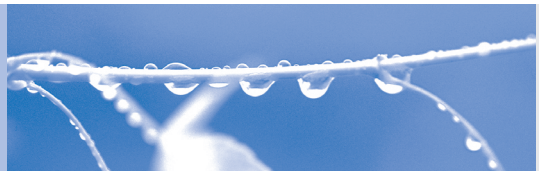
부스배치-인력채용 특별 부스

김대중컨벤션센터 2층_회의실 로비

인력채용 특별 부스



경품 추첨 안내



◆ 학술대회 전시부스 18곳 이상을 순회하여, 도장(18개)을 받으셔서 응모함에 응모하시면 추첨을 통하여 아래 경품을 드립니다.

◆ **경품 추첨 일시 : 10월 30일(목) 12:30~13:00 / 10월 31일(금) 13:00~13:30**

◆ **경품 추첨 장소 : 1층 열린홀**

	10월 30일 (목)	10월 31일 (금)
1등 (1명)	 [다이슨] 슈퍼소닉 헤어드라이어 Y24	 [다이슨] 슈퍼소닉 헤어드라이어 Y24
2등 (2명)	 [Apple] 워치 SE (40mm, 스타라이트)  [Apple] 워치 SE (44mm, 미드나이트)	 [Galaxy] 워치 7 (40mm, 크림)  [Galaxy] 워치 7 (44mm, 그린)
3등 (3명)	 [Apple] 에어팟 4세대 액티브 노이즈(화이트)	  [Galaxy] 버즈3 프로(실버/화이트)
4등 (4명)	 [Starbucks] 기프트카드 (15만 원)	 [Starbucks] 기프트카드 (15만 원)
5등 (5명)	 [신세계] 상품권(10만 원)	 [신세계] 상품권(10만 원)

CHINWOO TECH
SAMPLE PREP. CENTER

대한민국 부품 및 소재기술 발전에 기여하는 (주)진우테크

센터소개

- 각종 재료 및 제품에 대한 시편 전처리 및 분석 서비스
  광학, SEM, 경도측정 및 EBSD, SIMS 등
  금속, 전자, 세라믹, 반도체, 자동차 부품, 생체재료,
  섬유, 종이, 광물 등 대상 정밀 절단 서비스
  (제품 내부 구조 및 재질 연구(벤치마킹)을 위한 정밀 Damage Free절단)
- 분석 기술지원
  각종 재료 및 제품 시편전처리 기술 제공 및 컨설팅 가능

현황

- 중소대기업, 정부출연연구소 및
  대학들과의 활발한 관련 기술 교류 및
  서비스 지원
- SEM 장비 EV010,
  EDS장비 X-MaxN80

주요 보유 장비 / 분석서비스

- 각종 Wheel Cutting 장비 (Low & High Concentrations)
- Diamond Wire & Band Saw Cutting 장비 (~Φ470mm Max.)
- Mounting 장비 (Hot & Cold 진공 챔버)
- Grinding/Polishing & Micro Milling 장비
  (진동, 전해연마기 및 MultiPrep, X-Prep 등)
- Jig & Fixture 및 관련 장비 (Cross Section tool & TCF 등)
- 분석장비 (Image Analyzer, SEM, EDS, Micro-Vickers 등)



상세 기술자료, 장비 평가, 소모품 샘플 및 기술 상담이 필요하시면,
(주)진우테크 시편전처리 센터로 연락 주시길 바랍니다.

E-mail : info@chinwoo.co.kr
전화 : 031-777-1277

Struers





Axitom-5/-400
대형 절단기

X,Y,Z축 방향 이송으로 대형 및 복잡한 형상 시편 절단
직관적인 인터페이스로 매우 간단한 조작
ExciCut 모드로 단단한 시편 절단 및 휠 소모 절감
AutoStop 모드로 샘플 절단 완료시 자동정지

Xmatic
전자동 연마기

연마천 자동교체
8개의 홀더 로봇암 캐비닛











Tegramin
자동 연마기

전체 커버와 이중축 구조 헤드
완벽한 EBSD샘플을 위한
진동및 뒤틀림 방지

정기 세미나 개최

본사에서 직접 교육
연 2회 세미나 개최 (7월, 10월)
세미나 신청 문의 환영





㈜ 만진교역
MANJIN TRADING CO., LTD
시편가공장비, 경도기 및 소모품

서울시 마포구 동교로 16길 27(만진교역 빌딩) / Tel : (02)324-5145(代) Fax : (02)324-0935
E-mail : info@manjin.co.kr http://www.manjin.co.kr