

2020년도 한국소성가공학회
춘계 학술대회 초록집

일 시 : 2020년 6월 25일(목)~26일(금)
장 소 : 휘닉스 평창
주 최 : 한국소성가공학회
후 원 : 엠티엠코퍼레이션(주), 오엠에이,
오토폼엔지니어링코리아(주), MFRC,
(주)솔루션랩, 화신(주), 이지테크

GWCVB 강원국제회의센터
Gangwon Convention & Visitors Bureau



제 1 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 팀버 A홀

○특별세션- 고 김동원 전회장님 추모세션

(14:00~15:45)

좌 장 : 이경훈 (㈜ 솔루션랩)

14:00~14:15	인사말	
14:15~14:45	냉간 압연 강판의 가공경화 특성에 대한 연구	김권희*(고려대학교)
14:45~15:05	소성가공에서 파괴가공한계를 예측하기 위한 연성 파괴조건	허훈*(한국과학기술원)
15:05~15:25	순 티타늄 판재의 거동 모사를 위한 비연합유동법 칩을 이용한 등방-왜곡경화 모델의 고찰	김영석*,팜콕투안,김진재(경북대학교)
15:25~15:45	초음속 가속발사장치의 최적화연구	정동택*(한국기술대학교)
15:45~16:00	Coffee Break	

○특별세션- 고 김동원 전회장님 추모세션

(16:00~17:15)

좌 장 : 홍주표 (한국기술교육대)

16:00~16:15	유한요소법 구성방정식에서의 기계학습 적용에 대한 고찰	이경훈*(㈜솔루션랩),강경필(㈜솔루션랩),유정훈(연세대학교)
16:15~16:30	변형률구배 결정소성학 재료 모델과 미래 활용 방안	김홍규*(국민대학교)
16:30~16:45	시간의존법 기반의 성형한계 결정에 관한 고찰	김형중*,류경상,최원석(강원대학교)
16:45~17:00	핫스탬핑 소재의 금형 내부 급속 냉각 공정 중 열간 전단 공정기술	김동언*,최현석,강정진,전용준(한국생산기술연구원)
17:00~17:15	성형성을 고려한 치과용 투명교정장치 설계에 관한 연구	이종길*(한국산업기술대학교)

제 2 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 팀버 B홀

○ 특별세션 - 스마트팩토리

(14:00~16:30)

좌 장 : 홍석무(공주대)

14:00~14:15	자세추정 알고리즘에 이미지 전처리 및 얼굴 가림이 미치는 영향	노은솔*,이사랑,홍석무(공주대학교)
14:15~14:30	CNN 기반 공조 덕트 청소 로봇의 자율주행 알고리즘 개발	이사랑*,노은솔,홍석무(공주대학교)
14:30~14:45	머신 러닝을 활용한 에스컬레이터 덕트 먼지의 정량적 판단 알고리즘 개발	이사랑*,노은솔,홍석무(공주대학교)
14:45~15:00	머신러닝 및 이미지 전처리를 활용한 코팅 볼트 선별 알고리즘 개발	노은솔*,이사랑,홍석무(공주대학교)
15:00~15:15	Coffee Break	
15:15~15:30	벨브 금속의 표면처리 시 화학물질 첨가 효과	고영건*(영남대학교)
15:30~15:45	미세조직 기반 결정소성-연속체손상역학 결합 유한요소 해석에 의한 베어링강의 구름접촉피로 수명 예측	박진홍*(서울대학교),이기정,권순우(현대자동차),이명규(서울대학교)
15:45~16:00	유리 마이크로 프레넬 존 플레이트 어레이 금속 성형	한윤가*(연세대학교),이주호,신룡,김동현,강신일(연세대학교)
16:00~16:15	구형 압입시험의 유한요소해석과 결합된 인공 신경망을 활용한 일축 인장 거동의 예측	정경재*(서울대학교),이혁재,권오민,정진욱,권동일,한홍남(서울대학교)
16:15~16:30	딥러닝으로 접근한 DP강의 미세조직과 기계적 물성 연결	김용주*(포항공과대학교),박형근,정재면,김형섭(포항공과대학교)

제 3 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 팀버 C홀

○ 특별세션 - 고강도 소재의 성형 장비 실증

(14:00~15:00)

좌 장 : 봉혁중 (KIMS)

14:00~14:15	알루미늄 7075 합금의 열처리 조건에 따른 기계적 물성과 성형성에 대한 연구	문찬미*(서울대학교),이진우,이명규(서울대학교)
14:15~14:30	초고강도강관의 파괴 물성 도출에 관한 실험적 연구	유동훈*(재료연구소),이진우,봉혁중,이영선,김대용(재료연구소)
14:30~14:45	알루미늄 B-point 요크 적용을 위한 냉간 단조 공정 분석	배성준*,이영선,이진우(재료연구소)
14:45~15:00	프레스-인발 복합 성형 공정에서의 초고강도강 판재 마찰 및 온도 특성에 관한 해석적 연구	이기정*,이진우,봉혁중,이영선,이명규(서울대학교)
15:00~15:15	Coffee Break	

○ 일반발표 - 경량금속

(15:15~16:45)

좌 장 : 최시훈(순천대)

15:15~15:30	SLM 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 마모, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 후열처리의 영향	박태현*(인하대학교),백민석, Yongho Sohn,이기안(인하대학교)
15:30~15:45	AA6014 Al 합금과 CFRP(Carbon Fiber reinforced polymer) 소재의 마찰 교반 용접에 대한 연구	앤드류*,이연승,이목영,김정환(한밭대학교)
15:45~16:00	베타어닐된 Ti-6Al-4V 합금의 고온성형공정변수에 따른 미세조직 변화	김동민*,권용남,이동준,석무영(재료연구소)
16:00~16:15	대각단조 시 AA1100의 변형 거동에 미치는 온도의 영향에 관한 연구	김민성*,김정균,권상철,김순태,정효태,김환욱,최시훈(순천대학교)
16:15~16:30	지르코늄 합금 튜브의 소성 가공에 의한 성능 특성	김현길*(한국원자력연구원),김일현(한양대학교)
16:30~16:45	공기층 이미지를 이용한 소수성 알루미늄 표면의 젖음 상태 평가	문인용*(한국기계연구원),강성훈,오영석,김세중,이호원(재료연구소)

제 4 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 아젠다 1A홀

○ 일반발표 - 일반금속가공

(14:00~15:15)

좌 장: 이기안 (인하대)

14:00~14:15	이종금속 집합부에서의 갈바닉 부식 거동에 대한 실험 및 전산모사 연구	조훈휘*(한밭대학교), Sam Yaw Anaman, Solomon Ansah, 홍성태(울산대학교), 이종숙(전남대학교)
14:15~14:30	STS 316L-페라이트계 저합금 경사조성재료를 이용한 Direct Energy Deposition 제조 및 특성평가	신기승*(한밭대학교), 김정한, 윤지현, 김대환, 이동준, 장혜정, 최하늘, 박용호(부산대학교)
14:30~14:45	높은 이방성 재료에 대한 TFD 획득 시 적합한 삼축성 정의에 대하여	Rickhey Felix*, 홍석무(공주대학교)
14:45~15:00	3D 프린팅 공정으로 적층된 공구강의 경도 향상을 위한 레이저 공정 조건 연구	오민철*(한국생산기술연구원), 박남수, 배기현, 이종섭, 김용배, 서종덕, 송정환(한국생산기술연구원)
15:00~15:15	박강판 슬리팅 불량 사례 분석과 슬리팅 시뮬레이터 실험에 의한 공정인자 영향 연구	박기철*(포스코)
15:15~15:30	Coffee Break	

○ 일반발표 - 일반금속가공

(15:30~16:30)

좌 장: 정효대 (강릉원주대)

15:30~15:45	Selective laser melting 공정으로 제조된 IN738LC 소재의 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향	김규식*(인하대학교), 김명세, 이기안(인하대학교)
15:45~16:00	3차원 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 활용 Stellite21 초합금 적층시 열전달 특성분석	이광규*(조선대학교), 안동규, 이민규(한국생산기술연구원)
16:00~16:15	CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금과 FCC 단상을 갖는 steel계 합금의 신장플랜지성 비교	최연택*(포항공과대학교), 배재웅(포항공과대학교), 박정민(포항공과대학교), 김형섭(포항공과대학교)
16:15~16:30	Cr-Mn-Fe-Co-Ni계 콤플렉스 과고용 합금의 변형 기구 변화에 따른 성형능 평가	예정원*(서울대학교), 이명규, 박은수, 김찬양(서울대학교)

제 5 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 아젠다 1B홀

○ 일반발표 - 압출 및 인발, 압연 (14:00~15:00)		좌 장: 고대철 (부산대)
14:00~14:15	잔류 응력 편차 저감을 위한 MRD 설계 및 적용	백창현*(부산대학교), 김정훈, 고대철(부산대학교)
14:15~14:30	유한요소해석 기반 FCC계 냉간 인발 고엔트로피 합금의 변형률 예측 및 검증	조한솔*(재료연구소), 배성준, 나영상, 이동근(순천대학교), 이광석(재료연구소)
14:30~14:45	해석을 통한 슬라이드 레일의 금형 형상 및 소재 직경 최적화 연구	정선호*, 임재혁, 김용배, 최석우, 이종섭(한국생산기술연구원)
14:45~15:00	NbTi소재를 이용한 초기 공정 온도 및 변형량에 따른 초전도 특성에의 영향	문인용*, 김희락, 이호원, 오영석, 김세종, 정재면, 강성훈(재료연구소)
15:00~15:15	Coffee Break	
○ 일반발표 - 플라스틱, 금형가공 (15:15~16:00)		
15:15~15:30	마이크로-나노 계층 구조의 마이크로 웰 어레이 성형을 통한 국부적 표면 플라즈몬 공명 바이오 센서 플랫폼 개발	김동현*(연세대학교), 엄태국, 강신일(연세대학교)
15:30~15:45	Joule-Thomson 효과를 이용한 금형 급속 냉각시스템 개발의 기초연구	김미진*(광주대학교), 이병옥(아주대학교), 최재혁(광주대학교)
15:45~16:00	이중관 액압성형 기술을 이용한 내부과형을 갖는 관재부품 제작	한상욱*(부산대학교), 문영훈(부산대학교)

제 6 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 아젠다 2홀

○ 일반발표 - 박판성형 (14:00~15:45)		좌 장 : 송정환 (한국생산기술연구원)
14:00~14:15	새로운 이방성 경화 복합 항복 함수 개발 및 FCC, BCC 합금으로의 적용	후퀴*(카이스트),윤정환(카이스트)
14:15~14:30	금속 소성학을 위한 머신러닝 기반 구성모델	피에만 파질리*,장동필,윤정환(카이스트)
14:30~14:45	전산 속도가 향상된 결정 탄점소성 모델 개발과 유한 요소 해석을 통한 검증	전보혜*(창원대학교),정영웅(창원대학교)
14:45~15:00	인자분석을 통한 주요 설계변수에 따른 볼트홀 성형성 평가	장인제*(한국생산기술연구원),배기현,송정환,이종섭,박남수,최석우,정세환,이희중(LG전자 생산기술원)
15:00~15:15	리튬 이온전지용 알루미늄 초박판의 블랭킹 공정에 관한 연구	김민기*(부산대학교),강길석,고대철,신현집(주상아피에스)
15:15~15:30	프레스 성형공정 기반 풀림방지 와셔의 방사형 톱니형상 성형을 위한 다단공정 설계	전용준*(한국생산기술연구원),최현석,김동연(한국생산기술연구원)
15:30~15:45	TRIP1180 판재의 성형공정에서 코팅 금형의 정량적인 마모거동 평가	방준호*(한국생산기술연구원),송정환,배기현,박남수,이명규,김홍기(포스코),정철영(대우공업)
15:45~16:00	Coffee Break	
○ 일반발표 - 박판성형 (16:00~17:30)		좌 장 : 김세중 (KIMS)
16:00~16:15	판재성형을 위한 열간 가변금형 개발	이인규*(한국생산기술연구원),이성윤,정명식,박동용,고대철,이상근(한국생산기술연구원)
16:15~16:30	프리프레그 압축성형공정을 통한 핫 스탬핑 차체 부품의 복합재 일체성형	정용훈*(부산대학교),이순명,성동진,고대철(부산대학교)
16:30~16:45	스탬핑 공정을 이용한 차량용 스틸/카본 부품 제조에 관한 연구	류재창*(부산대학교),김재홍,박정은,이병룡,고대철(부산대학교)
16:45~17:00	CFRP를 포함한 다중소재 SPR 접합의 수치 모델링과 해석적 검증	김성호*(한국생산기술연구원),송정환,이종섭,최석우,박영도,박남수,정철영,배기현(한국생산기술연구원)
17:00~17:15	DCB 시험을 통한 적층 금속 판재에 삽입 되어있는 얇은 접착 층의 모드I 응집법 평가	박현일*(한국재료연구소),이진우,김지훈,김대용,김세중(한국재료연구소)
17:15~17:30	Hybrid composite part의 계면거동 예측	박준수*(부산대학교),김재홍,이찬주,홍종빈,고대철(부산대학교)

제 7 발표회장

2020. 6. 25(목)

▶▶ 2층 아젠다 3층

○ 일반발표 - 단조

(14:00~15:30)

좌 장: 오영석(KIMS)

14:00~14:15	SUS 304 볼스타드 자동다단냉간단조 공정의 완전해석	변종복*(경상대학교), 이창주(㈜대동), 서일동(㈜대동), 전만수(경상대학교)
14:15~14:30	금형의 예압을 위한 금형인서트의 프레스 압입 공정의 다물체 탄소성 유한요소해석	전만수*(경상대학교), 변종복(경상대학교), 전유종(우주산업), 강성목((주)풍강)
14:30~14:45	볼트 체결력을 고려한 M8 블라인드 리벳 너트 형상 최적설계	구본준*, 최정목, 홍석무(공주대학교)
14:45~15:00	하중 및 변위 복합 부과 기능의 금형을 활용한 서스펜션 스트럿 마운트 부품의 판단조 공정의 탄소성 유한요소해석	박기근*(태진다이텍), 장성민((주)엠에프알씨), 이재성((주)태진다이텍), 전만수(경상대학교)
15:00~15:15	자동다단냉간단조용 S25C 선재코일의 상온과 중온 사이에서 유동응력의 특성	이현준*(경상대학교), 조규섭(생산기술연구원), 이광희((주)풍강), 임수근(경상대학교), 전만수(경상대학교)
15:15~15:30	복합재료 판재의 체적소성가공에서 박리 현상의 3차원 탄소성 유한요소해석	정승원*((주)엠에프알씨), 정석환((주)엠에프알씨), 홍석무(공주대학교), 정완진(서울과학기술대학교), 전만수(경상대학교)

제 8 발표회장 - 포스터 발표

※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.(포스터 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표논문은 심사합니다.)
 ※ 포스터판 사이즈 : 가로 79cm×세로 146cm (논문 1편당 1개), 포스터는 발표자가 준비합니다.

2020. 6. 25(목)

▶▶ 1층 포레스트 홀

(15:00~17:00)		좌 장: 김대용(KIMS)	
15:00~17:00	P 01	너트 자동다단냉간단조 공정의 금형 최적설계 FE 모델에 관한 연구	변종복(경상대학교)*,이광희(㈜풍강), 전만수(경상대학교)
	P 02	압조 센서를 활용한 냉간단조 단조기의 금형 수명 파손 모니터링	강성목*,강기주,염승록,이광희, 김진용(㈜풍강)
	P 03	2.1 GPa 급 Directly Quenched Ultra-High Strength Low Alloy Steel:미세조직, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 Hot Rolling Reduction Rate의 영향	백민석*,김영균,박태원, 함진희,이기안(인하대학교)
	P 04	냉간단조 금형의 가공 및 압입에 따른 잔류응력 분석	김경일*,노우람, 조규섭(한국생산기술연구원)
	P 05	D6AC강의기계적성질에미치는오스테나이트처리영향	손영일*,이석재(국방과학연구소)
	P 06	다공성 임플란트 제조를 위한 Ti6Al4V 필라멘트의 압축성형에 관한 연구	박창순*,이혜진,임성주,김용배,정병관, 임성식(한국생산기술연구원)
	P 07	FE 해석을 통한 Ø0.8mm 텅스텐 와이어 인발(Drawing) 공정의 최적화 설계	박창순*,이혜진,임성주,박경태,박진호, 임성식(한국생산기술연구원)
	P 08	냉간 단조용 선재의 열처리 시 발생 가능한 표면 이상성에 대한 연구	이유환*,박형기,제강현,이명진, 김석(태양금속공업㈜)
	P 09	초고강도 체결용 부품의 제조 방법에 따른 기계적 물성 및 체결 특성 평가	이유환*,송승우,이인제(태양금속공업㈜)
	P 10	열처리 조건에 따른 광폭 Ti-6Al-4V 판재의 미세조직 및 기계적 특성 변화 연구	박찬웅*,신기승,최미선,이현석,김정한(한밭대학교)
	P 11	금속분말사출 성형된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직 변화 거동	김민준*(영남대학교),백승훈,윤동근, 김중하,이은혜,고영건(영남대학교)
	P 12	냉간 성형 스프링의 응력제거 열처리에 따른 형상 변화와 잔류응력 및 경도에 미치는 영향	신동열*,주윤창,신정규(주식회사 영흥)
	P 13	실험계획법과 유한요소해석을 이용한 자동차 컴프레서 디스크 전단공정 설계	최용진*,이성윤,이인규,이상곤,황선광,김상영,정명식(한국생산기술연구원)
	P 14	임프린팅 공정 시 PET 필름의 두께 별 미세패턴 전사특성 연구	박정연*,윤길상, 이동원(한국생산기술연구원)
	P 15	마이크로 핫엠보싱 공정 시 패턴크기에 따른 PS 필름의 변형특성 비교	박정연*,윤길상, 손정언(한국생산기술연구원)
	P 16	세포보관용기의 극저온 사용강도에 영향을 미치는 사출성형인자 분석	박정연*,이순례,손민규,윤길상, 이동목(한국생산기술연구원)
	P 17	다단 인발 봉재의 변형률 예측	이성민*,이인규,이성윤,차경제,문영훈, 이상곤(한국생산기술연구원)
	P 18	알루미늄 샤프트 다단 단조공정의 해석 및 실험적 연구	이성윤*,이인규,이성민,황선광,황원석,박재욱,이상곤(한국생산기술연구원)
	P 19	유한요소 해석을 이용한 차량용 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 프로그래시브 금형 설계	이성윤*,이인규,이상곤,최용진,배국진,김상영,정명식(한국생산기술연구원)
	P 20	플라즈마 전해 산화 시 Mg-Al-Zn 합금에 형성되는 MgO 층의 핵 생성 및 성장	백승훈*(영남대학교),나쉬라니사,김민준, 윤동근,고영건(영남대학교)

제 1 발표회장 - 포스터 발표

※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.(포스터 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표논문은 심사합니다.)
 ※ 포스터판 사이즈 : 가로 79cm×세로 146cm (논문 1편당 1개), 포스터는 발표자가 준비합니다.

2020. 6. 26(금)

▶▶ 1층 포레스트 홀

	(9:00~11:00)		좌 장: 구태완(부산대)
9:00~11:00	P 21	저온분사 공정 도중 Mo 분말의 소성 변형 거동 분석 연구	박동준*,정양일,박정환,이영호,최병권,김현길
	P 22	Zr합금 튜브 냉간 필거링용 윤활제 개발	박민영*,박기범,차정우(한전원자력연료㈜)
	P 23	이속압연을 통한 초미세 결정립 저탄소강의 정적 어닐링 시 미세조직 변화	윤동근*(영남대학교),김민준,박선엽,고영건(영남대학교)
	P 24	자동차용 알루미늄 도어 인너의 온간 드로잉 성형에 관한 연구	서창희*((재)대구기계부품연구원),석주성,송영빈,임용희,권태하,전효원,오상균
	P 25	전단변형에 의한 강판의 {110}	김인수*(금오공과대학교)
	P 26	레이저 패터닝이 22MnB5소재의 원형 튜브 시편을 이용한 준정적 압괴시험에 미치는 효과 분석	이원주*,김형규,박재훈,응우옌, 통, 양예지,김도형,윤종현(한양대학교)
	P 27	블랭킹 금형의 마모에 따른 기가급 강재의 옛지신장성에 미치는 영향	박재훈*,원찬희,정유형,안강환(포스코),윤종현,트루엣반도이(한양대학교)
	P 28	극저온 신선공정을 통한 고강도-고연성 CP-Ti 선재 제조	안지섭*,조아라,김선형,정명식,문영훈,황선광(한국생산기술연구원)
	P 29	알루미늄 첨가가 고망간 트립 강의 저주기 피로 특성에 미치는 영향	장경현*,이종수(포항공과대학교)
	P 30	Al6061 알루미늄 합금 도어 내판 열간성형공정 특성 연구	정경근*,김동욱,정정봉,김진성,최진영,조영진,엄광용,배호정(한국자동차연구원)
	P 31	자동다단냉간단조 중 공기 갇힘 현상의 3차원 유한요소해석 및 검증	정승원*(㈜엠에프알씨),김동희(㈜신도),서창민(㈜신도),전만수(경상대학교)
	P 32	가이드롤 사용 평 링롤링 공정에서 소재의 폭퍼짐에 관한 유한요소해석 및 검증	김민철*((주)엠에프알씨),조주현(동은단조(주)),김진국(동은단조(주)),문호근((주)엠에프알씨), 전만수(경상대학교)
	P 33	나노 압입 시험을 활용한 고장력강판의 결정립계 강화에 관한 연구	정병석*,조우진,이재은,김황선,한홍남(서울대학교)
	P 34	Correlation of microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy with tungsten addition	가드윈*,계인석,오용준(한밭대학교)
	P 35	Cyclic softening behavior and damage accumulation of tempered martensitic steel under different fatigue modes	가드윈*,오용준,천영범,조승연(한밭대학교)
	P 36	ABS 제품의 결합 강도를 높이기 위해 생성된 Groove의 내부 결합이 결합부의 응력 분포에 미치는 영향	김호*,안동규(조선대학교)
	P 37	상변화가 고려된 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 적층시 적층부 부근 잔류응력 특성 분석	이광규*,안동규(조선대학교)
	P 38	초음파 나노 표면 개질화된 구리의 강도에 미치는 잔류응력의 영향	김은성*,이학현,문지현,아마노프 아웨즈한,김형섭(포항공과대학교)
	P 39	Fe-6.5Mn-0.08C 중망간강의 충격 특성에 미치는 열처리의 영향	윤영철*,이상인,황병철(서울과학기술대학교)
	P 40	인공신경망 모델을 이용한 고강도 API 라인파이프 강의 변형능 해석	신승혁*,이상인,황병철(서울과학기술대학교)
	P 41	사출성형 중 사출속도에 따른 금형의 진동 신호 변화에 대한 연구	이준한*,김종선(한국생산기술연구원)

제 1 발표회장 - 포스터 발표

※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.(포스터 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표논문을 심사합니다.)
 ※ 포스터판 사이즈 : 가로 가로 79cm×세로 146cm (논문 1편당 1개), 포스터는 발표자가 준비합니다.

2020. 6. 26(금)

▶▶ 1층 포레스트 홀

(09:00~11:00)		좌 장: 구태완(부산대)	
09:00~11:00	P 42	관통볼트의 냉간단조 성형을 위한 항복비제어강의 항온변태처리 공정 설계	김기한*,배성준,윤은유,이영선(KIMS)
	P 43	인공신경망을 활용하여 목표질량제품을 생산하기 위한 사출성형조건에 관한 연구	양동철*,김중선(한국생산기술연구원)
	P 44	Coupled Eulerian-Lagrangian 기법을 사용한 AA6014-SGACUD 이중 소재의 마찰 교반 용접 전산모사	명동준*,김우영,김덕호,박찬훈,이명규(서울대학교)
	P 45	초고장력강판의 인장-압축 거동 비교	김재훈*,정재봉;김지훈(부산대학교)
	P 46	유한요소해석과 다결정 소성모델을 활용한 비대칭 압연공정에서의 집합조직 분석	권지혜*,이학현;김형섭(포항공과대학교)
	P 47	Stainless steel 316L의 Laser Metal Deposition 최적 공정 조건 탐색	사공만재*,박정민,김은성,김형섭(포항공과대학교)
	P 48	Liquid Metal Flex Spline의 구조 및 가공	김지영*,유근희,박은수(서울대학교)
	P 49	절삭성이 향상된 무연 황동 개발	예정원*,윤국노,이시연,박은수(서울대학교)
	P 50	Wedge형 전조금형의 형상에 따른 워 기어 성형 특성 연구	윤덕재*,윤상현,김응주(한국생산기술연구원)
	P 51	Al-Mg합금 판재의 냉간 압연 시 성형성에 미치는 중간열처리와 압하율 조건의 영향	김정균*,김민성,최시훈(순천대학교)

목 차

1. 특별세션 – 고 김동원 전회장님 추모세션 (제 1 발표회장)

- 냉간 압연 강판의 가공경화 특성에 대한 연구
..... 김권희* / 19
- 소성가공에서 파괴가공한계를 예측하기 위한 연성파괴조건
..... 허훈* / 20
- 순 티타늄 판재의 거동 모사를 위한 비연합유동법칙을 이용한 등방-왜곡경화 모델의 고찰
.....김영석*,팜콕투안,김진재 /22
- 유한요소법 구성방정식에서의 기계학습 적용에 대한 고찰
.....이경훈*,강경필,유정훈 / 24
- 변형률구배 결정소성학 재료 모델과 미래 활용 방안
..... 김홍규* / 25
- 시간의존법 기반의 성형한계 결정에 관한 고찰
..... 김형중*,류경상,최원석 / 26
- 핫스탬핑 소재의 금형 내부 급속 냉각 공정 중 열간 전단 공정기술
.....김동언*,최현석,강정진,전용준 / 27

2. 특별세션 – 스마트팩토리 (제 2 발표회장)

- 자세추정 알고리즘에 이미지 전처리 및 얼굴 가림이 미치는 영향
..... 노은솔*,이사랑,홍석무/ 29
- CNN 기반 공조 덕트 청소 로봇의 자율주행 알고리즘 개발
..... 이사랑*,노은솔,홍석무 / 30
- 머신 러닝을 활용한 에스컬레이터 덕트 먼지의 정량적 판단 알고리즘 개발
.....이사랑*,노은솔,홍석무 / 31
- 머신러닝 및 이미지 전처리를 활용한 코팅 볼트 선별 알고리즘 개발
..... 노은솔*,이사랑,홍석무 / 32
- 벨브 금속의 표면처리 시 화학물질 첨가 효과
.....고영건* / 33
- 미세조직 기반 결정소성-연속체손상역학 결합 유한요소해석에 의한 베어링강의 구름접촉피로 수명 예측
..... 박진홍*,이기정,권순우,이명규 / 34
- 유리 마이크로 프레넬 존 플레이트 어레이 급속 성형
..... 한윤가*,이주호,신룡,김동현,강신일 / 35
- 구형 압입시험의 유한요소해석과 결합된 인공 신경망을 활용한 일축 인장 거동의 예측
..... 정경재*,이혁재,권오민,정진욱,권동일,한홍남 / 37
- 딥러닝으로 접근한 DP강의 미세조직과 기계적 물성 연결
.....김용주*,박형근,정재면,김형섭 / 38

3. 특별세션 – 고강도 소재의 성형 장비 실증 (제 3 발표회장)

- 알루미늄 7075 합금의 열처리 조건에 따른 기계적 물성과 성형성에 대한 연구
..... 문찬미*, 이진우, 이명규 / 41
- 초고강도강관의 파괴 물성 도출에 관한 실험적 연구
..... 유동훈*, 이진우, 봉혁중, 이영선, 김대용 / 42

4. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

○ 경량금속

- SLM 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 마모, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 후열처리의 영향
..... 박태현*, 백민석, Yongho Sohn, 이기안 / 44
- AA6014 Al 합금과 CFRP(Carbon Fiber reinforced polymer) 소재의 마찰 교반 용접에 대한 연구
..... 앤드류*, 이연승, 이목영, 김정환 / 46
- 베타어닐된 Ti-6Al-4V 합금의 고온성형공정변수에 따른 미세조직 변화
..... 김동민*, 권용남, 이동준, 석무영 / 48
- 지르코늄 합금 튜브의 소성 가공에 의한 성능 특성
..... 김현길*, 김일현 / 49
- 공기층 이미지를 이용한 소수성 알루미늄 표면의 젖음 상태 평가
..... 문인용*, 강성훈, 오영석, 김세중, 이호원 / 51

5. 일반 논문 발표 (제 4 발표회장)

○ 일반금속가공

- 이종금속 접합부에서의 갈바닉 부식 거동에 대한 실험 및 전산모사 연구
..... 조훈휘*, Sam Yaw Anaman, Solomon Ansah, 홍성태, 이종숙 / 53
- 높은 이방성 재료에 대한 TFD 획득 시 적합한 삼축성 정의에 대하여
..... Rickhey Felix*, 홍석무 / 54
- 3D 프린팅 공정으로 적층된 공구강의 경도 향상을 위한 레이저 공정 조건 연구
..... 오민철*, 박남수, 배기현, 이종섭, 김용배, 서종덕, 송정환 / 55
- 박강판 슬리팅 불량 사례 분석과 슬리팅 시뮬레이터 실험에 의한 공정인자 영향 연구
..... 박기철* / 56
- Selective laser melting 공정으로 제조된 IN738LC 소재의 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향
..... 김규식*, 김명세, 이기안 / 58
- Cr-Mn-Fe-Co-Ni계 컴플렉스 과고용 합금의 변형 기구 변화에 따른 성형능 평가
..... 예정원*, 이명규, 박은수, 김찬양 / 60
- 3차원 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 활용 Stellite21 초합금 적층시 열전달 특성분석
..... 이광규*, 안동규, 이민규 / 62

6. 일반 논문 발표 (제 5 발표회장)

○ 압출 및 인발, 압연

- 잔류 응력 편차 저감을 위한 MRD 설계 및 적용
..... 백창현*,김정훈,고대철 / 64
- 유한요소해석 기반 FCC계 냉간 인발 고엔트로피 합금의 변형률 예측 및 검증
..... 조한솔*,배성준,나영상,이동근,이광석 / 65
- 해석을 통한 슬라이드 레일의 금형 형상 및 소재 직경 최적화 연구
..... 정선호*,임재혁,김용배,최석우,이종섭 / 67
- NbTi소재를 이용한 초기 공정 온도 및 변형량에 따른 초전도 특성에의 영향
..... 문인용*,김희락,이호원,오영석,김세중,정재면,강성훈 / 68

○ 플라스틱, 금형가공

- 마이크로-나노 계층 구조의 마이크로 웰 어레이 성형을 통한 국부적 표면 플라즈몬 공명 바이오 센서플랫폼 개발
..... 김동현*,엄태국,강신일 / 70
- Joule-Thomson 효과를 이용한 금형 급속 냉각시스템 개발의 기초연구
..... 김미진*,이병욱,최재혁 / 72
- 이중관 액압성형 기술을 이용한 내부과형을 갖는 관재부품 제작
..... 한상욱*,문영훈 / 74

7. 일반 논문 발표 (제 6 발표회장)

○ 박판성형

- 새로운 이방성 경화 복합 항복 함수 개발 및 FCC, BCC 합금으로의 적용
..... 후귀*,윤정환 / 77
- 급속 소성학을 위한 머신러닝 기반 구성모델
..... 피에만 파질리*,장동필,윤정환 / 78
- 전산 속도가 향상된 결정 탄점소성 모델 개발과 유한 요소 해석을 통한 검증
..... 전보혜*,정영웅 / 79
- 인자분석을 통한 주요 설계변수에 따른 볼트홀 성형성 평가
..... 장인제*,배기현,송정한,이종섭,박남수,최석우,정세환,이희중 / 80
- 리튬 이온전지용 알루미늄 초박관의 블랭킹 공정에 관한 연구
..... 김민기*,강길석,고대철,신현집 / 82
- 프레스 성형공정 기반 폴립방지 와셔의 방사형 톱니형상 성형을 위한 다단공정 설계
..... 전용준*,최현석,김동언 / 83
- TRIP1180 관재의 성형공정에서 코팅 금형의 정량적인 마모거동 평가
..... 방준호*,송정한,배기현,박남수,이명규,김홍기,정철영 / 84
- 관재성형을 위한 열간 가변금형 개발
..... 이인규*, 이성윤,정명식,박동용,고대철,이상근 / 85
- 스탬핑 공정을 이용한 차량용 스틸/카본 부품 제조에 관한 연구
..... 류재창*김재홍,박정은,이병룡,고대철 / 86

- CFRP를 포함한 다중소재 SPR 접합의 수치 모델링과 해석적 검증
..... 김성호*, 송정환, 이종섭, 최석우, 박영도, 박남수, 정철영, 배기현 / 87
- Hybrid composite part의 계면거동 예측
..... 박준수*, 김재홍, 이찬주, 홍종빈, 고대철 / 88
- 프리프레그 압축성형공정을 통한 핫 스탬핑 차체 부품의 복합재 일체성형
..... 정용훈*, 이순명, 성동진, 고대철 / 89

8. 일반 논문 발표 (제 7 발표회장)

○ 단조

- SUS 304 볼스타드 자동다단냉간단조 공정의 완전해석
..... 변종복*, 이창주, 서일동, 전만수 / 91
- 금형의 예압을 위한 금형인서트의 프레스 압입 공정의 다물체 탄소성 유한요소해석
..... 전만수*, 변종복, 전유중, 강성목 / 93
- 하중 및 변위 복합 부과 기능의 금형을 활용한 서스펜션 스트럿 마운트 부품의 판단조 공정의 탄소성 유한요소해석
..... 박기근*, 장성민, 이재성, 전만수 / 95
- 자동다단냉간단조용 S25C 선재코일의 상온과 중온 사이에서 유동응력의 특성
..... 이현준*, 조규섭, 이광희, 임수근, 전만수 / 97
- 복합재료 판재의 체적소성가공에서 박리 현상의 3 차원 탄소성 유한요소해석
..... 정승원*, 정석환, 홍석무, 정완진, 전만수 / 99

9. 포스터 발표 (제 8 발표회장)

- 너트 자동다단냉간단조 공정의 금형 최적설계 FE 모델에 관한 연구
..... 변종복*, 이광희, 전만수 / 101
- 압조 센서를 활용한 냉간다단 단조기의 금형 수명 파손 모니터링
..... 강성목* 강기주, 염승록, 이광희, 김진용 / 103
- 2.1 GPa 급 Directly Quenched Ultra-High Strength Low Alloy Steel: 미세조직, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 Hot Rolling Reduction Rate의 영향
..... 백민석*, 김영균, 박태원, 함진희, 이기안 / 105
- 냉간단조 금형의 가공 및 압입에 따른 잔류응력 분석
..... 김경일*, 노우람, 조규섭 / 107
- FE 해석을 통한 Ø0.8mm 텅스텐 와이어 인발(Drawing) 공정의 최적화 설계
..... 박창순*, 이해진, 임성주, 박경태, 박진호, 임성식 / 110
- 다공성 임플란트 제조를 위한 Ti6Al4V 필라멘트의 압축성형에 관한 연구
..... 박창순*, 이해진, 임성주, 김용배, 정병관, 임성식 / 111
- 냉간 단조용 선재의 열처리 시 발생 가능한 표면 이상성에 대한 연구
..... 이유환*, 박형기, 제강현, 이명진, 김석 / 112
- 초고강도 체결용 부품의 제조 방법에 따른 기계적 물성 및 체결 특성 평가
..... 이유환*, 송승우, 이인제 / 113
- 금속분말사출 성형된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직 변화 거동
..... 김민준*, 백승훈, 윤동근, 김종하, 이은혜, 고용건 / 114

- 냉간 성형 스프링의 응력제거 열처리에 따른 형상 변화와 잔류응력 및 경도에 미치는 영향
..... 신동열*,주윤창,신정규 / 115
- 실험계획법과 유한요소해석을 이용한 자동차 컴프레서 디스크 전단공정 설계
..... 최용진*,이성윤,이인규,이상곤,황선광,김상영,정명식 / 117
- 다단 인발 봉재의 변형률 예측
..... 이성민*,이인규,이성윤,차경제,문영훈,이상공 / 118
- 플라즈마 전해 산화 시 Mg-Al-Zn 합금에 형성되는 MgO 층의 핵 생성 및 성장
..... 백승훈*,나쉬라니사,김민준,윤동근,고영건 / 119

10. 포스터 발표 (제 1 발표회장)

- Zr합금 튜브 냉간 필거링용 윤활제 개발
..... 박민영*,박기범,차정우 / 121
- 이속압연을 통한 초미세 결정립 저탄소강의 정적 어닐링 시 미세조직 변화
..... 윤동근,김민준,박선엽,고영건 / 122
- 자동차용 알루미늄 도어 인너의 온간 드로잉 성형에 관한 연구
..... 서창희*,석주성,송영빈,임용희,권태하,전효원,오상균 / 123
- 레이저 패터닝이 22MnB5 소재의 원형 튜브 시편을 이용한 준정적 압괴시험에 미치는 효과 분석
..... 이원주*,김형규,박재훈,응우옌, 통,양예지,김도형,윤종현 / 124
- 블랭킹 금형의 마모에 따른 기가급 강재의 옛지신장성에 미치는 영향
..... 박재훈*,원찬희,정유형,안강환,윤종현,트루영반도이 / 125
- Al6061 알루미늄 합금 도어 내판 열간성형공정 특성 연구
..... 정경근*,김동욱,정정봉,김진성,최진영,조영진,엄광용,배호정 / 126
- 자동다단냉간단조 중 공기 갇힘 현상의 3차원 유한요소해석 및 검증
..... 정승원*,김동희,서창민,전만수 / 128
- 가이드롤 사용 평 링롤링 공정에서 소재의 폭퍼짐에 관한 유한요소해석 및 검증
..... 김민철*,조주현,김진국,문호근,전만수 / 129
- Correlation of microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy with tungsten addition
..... 가드윈*,계인석,오용준 / 131
- Cyclic softening behavior and damage accumulation of tempered martensitic steel under different fatigue modes
..... 가드윈*,계인석,천영범,조승연 / 133
- ABS 제품의 결합 강도를 높이기 위해 생성된 Groove의 내부 결합이 결합부의 응력 분포에 미치는 영향
..... 김호*,안동규 / 135
- 상변화가 고려된 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 적층시 적층부 부근 잔류응력 특성 분석
..... 이광규*,안동규 / 136
- Fe-6.5Mn-0.08C 중방간강의 충격 특성에 미치는 열처리의 영향
..... 윤영철*,이상인,황병철 / 137
- 인공신경망 모델을 이용한 고강도 API 라인파이프강의 변형능 해석
..... 신승혁*,이상인,황병철 / 138
- 사출성형 중 사출속도에 따른 금형의 진동 신호 변화에 대한 연구
..... 이준한*,김중선 / 139

- 인공신경망을 활용하여 목표질량제품을 생산하기 위한 사출성형조건에 관한 연구
 양동철*,김종선 / 140
- 절삭성이 향상된 무연 황동 개발
예정원*,윤국노,이시연,박은수 / 142
- 초고장력강판의 인장-압축 거동 비교
 김재훈*,정재봉;김지훈/ 144
- Liquid Metal Flex Spline의 주조 및 가공
 김지영*,유근희,박은수/ 145
- Al-Mg합금 판재의 냉간 압연 시 성형성에 미치는 중간열처리와 압하율 조건의 영향
김정균*,김민성,최시훈 / 147
- Wedge형 전조금형의 형상에 따른 워 기어 성형특성 연구
윤덕재*,윤상헌,김응주 / 148

1. 특 별 세 션

고 김동원 전회장님 추모세션
(제 1 발표회장)

냉간 압연 강판의 가공 경화 특성에 관한 연구

김권희^{1, #}

Review on the work hardening characteristics of cold rolled steel sheets

K. H. Kim

Abstract

Cold rolled steel sheets are known to have orthogonal plastic anisotropy. The anisotropy was reported to evolve during subsequent deformation by Kim and Yin (1997) and Hahm and Kim (2008). In these works, it was observed that kinematic hardening is significant while the crystallographic texture of cold rolling is maintained. Even though the nature of kinematic hardening is still poorly understood, a new light may be shed on the complex evolution of anisotropy during twisting of cold drawn tubes previously reported by Kim (1992). A framework is suggested for future research on the work hardening characteristics of cold rolled steel sheets.

냉간 압연 강판은 직교 소성 이방성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이방성은 후속되는 소성변형에 의하여 진화하는 것으로 Kim and Yin (1997) 과 Hahm and Kim (2008) 이 보고한 바 있다. 이들 연구에서, 냉간 압연의 결정학적 조직은 유지되지만 이동경화가 심각하게 발생하는 것이 관찰되었다. 이동 경화의 복잡한 진화방식은 여전히 잘 이해되지 않았지만, 이러한 연구는 Kim (1992)이 보고한 냉간 인발 튜브의 비틀림 변형에 대한 복잡한 이방성의 진화를 이해하는데 새로운 관점을 제시한다고 볼 수 있다. 향후 냉간 압연 강판의 가공 경화 특성에 대한 새로운 연구 방향을 제안한다.

Key Words: Cold rolled steel sheets, Plastic anisotropy, Kinematic hardening, Twisting of cold drawn tubes

냉간 압연 강판; 소성 이방성; 이동 경화; 냉간 인발 튜브의 비틀림

1, # 고려대학교 기계공학부 교수, kwonhkim@korea.ac.kr

소성가공에서 파괴가공한계를 예측하기 위한 연성파괴조건

허 훈

Ductile fracture criteria for prediction of fracture forming limit in metal forming

Hoon Huh

Abstract

A ductile fracture criterion was newly proposed to model fracture behavior of sheet metals for nucleation, growth and shear coalescence of voids during plastic deformation. In the new ductile fracture criterion, void nucleation is described as a function of the equivalent plastic strain, void growth is a function of the stress triaxiality and void coalescence is controlled by the normalized maximal shear stress. The new ductile fracture criterion is applied to construct fracture forming limit diagrams (FFLD) of auto-body sheet metals measured by punch-stretch tests to validate the performance of the new criterion in the intermediate stress triaxiality between the uniaxial tension and the balanced biaxial tension. The new criterion is also applied to construct the fracture locus of sheet metals to validate the performance of the new criterion in the low and negative stress triaxiality. The new ductile fracture criterion is recommended to be utilized in finite element analysis to predict the onset of ductile fracture of sheet metals.

Key Words : Ductile fracture criterion; Fracture forming limit diagram; strain rate dependency; Sheet metal forming

1. 서론

소성가공을 성공적으로 수행하기 위하여는 소성가공에서 예기치 못한 국부대변형에 의하여 발생할 수 있는 연성파괴를 정확히 예측할 수 있는 기준이 필요하다. 자동차의 주요 구조부재는 금속재료로 이루어져있으며 그 무게는 전체의 약 70%를 점유한다. 주요부재를 박판성형 공정으로 성형할 때에 수반될 수 있는 연성파괴와 차량 충돌 시에 발생할 수 있는 연성파괴를 정확히 예측할 수 있으면 차체설계와 부재성형을 성공적으로 수행할 수 있다. 재료의 가공 시에 야기되는 연성파괴를 예측하기 위한 연성파괴조건은 많은 연구자들이 제안하여 왔으나, 최근의 추세인 고강도 강판의 성형에서 관찰되는 전단파괴는 종래의 연성파괴조건으로 예측할 수 없는 데, 그 이유는 전단영역에서의 연성파괴를 예측할 수 있는 수식화가 제안되지 않았기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 연성파괴조건은 재료가 소성변형을 하며 기공이 생성, 성장, 병합하는 일련의 과정을 대표되는 물리적 항목으로 수식화하여 정량화한 것이다. 제안된 연성파괴조건은 성형한계도를 구성할 때에 전단영역과 압축영역까지 확장할 수 있어서, 전단파괴와 압축파괴를 예측할 수 있는 장점이 있다. 재료의 유동응력이나 연성파괴는 변형률속도에 크게 영향을 받으므로, 연성파괴조건은 변형률속도에 따라 변하는 것을 추적할 수 있어야 한다. 제안된 연성파괴조건은 변형률속도의 변화를 고려하여 계수를 실험으로 결정할 수 있으므로 성형속도에 따른 연성파괴를 추적하여 예측할 수 있는 장점이 있다.

교신저자: 허 훈, KAIST, 명예교수, E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

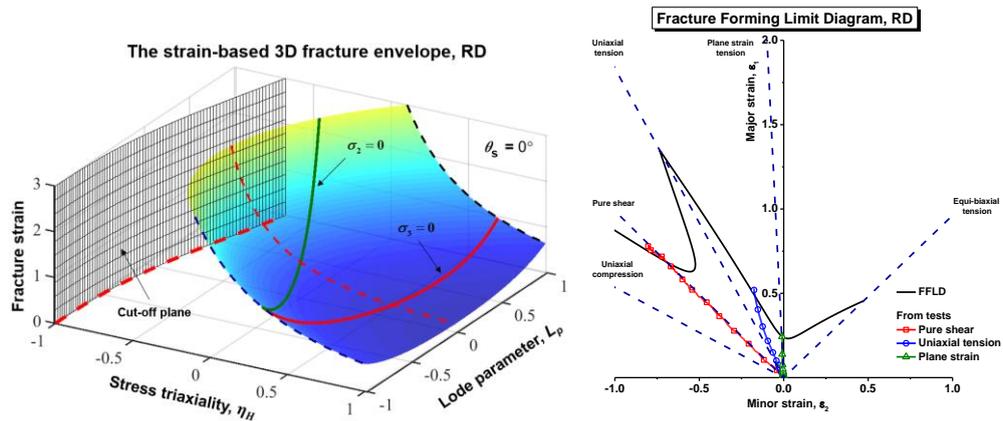


Fig. 1 Three dimensional fracture envelopes and the corresponding fracture locus

참고문헌

1. Y. K. Ko, J. S. Lee, H. Huh, H. K. Kim and S. H. Park, Prediction of Fracture in Hub-hole Expanding Process Using a New Ductile Fracture Criterion, *Journal of Materials Processing and Technology*, 187-188, pp.358~362 (2007)
2. Y. Lou, H. Huh, S. Lim, K. Pack, 2012, New ductile fracture criterion for prediction of fracture forming limit diagrams of sheet metals, *International Journal of Solids and Structures*, 49, pp. 3605–3615(2012)
3. Y. Lou, H. Huh, Prediction of Ductile Fracture for Advanced High Strength Steel with a New Criterion: Experiments and Simulation, *Journal of Materials Processing Tech.* 213, pp. 1284–1302, (2013)
4. Y. Lou, H. Huh, Extension of a shear-controlled ductile fracture model considering the stress triaxiality and the Lode parameter. *International Journal of Solids and Structures*, 50, pp. 447–455(2013).
5. Y. Lou, H. Huh, Evaluation of Ductile Fracture Criteria in a General Three-Dimensional Stress State Considering the Stress Triaxiality and the Lode Parameter, *Acta Mechanica Solida Sinica*, 26, 6, pp.642-658 (2013)
6. Y. Lou, J. W. Yoon, H. Huh, Modeling of shear ductile fracture considering a changeable cutoff value for stress triaxiality, *International Journal of Plasticity*, 54, pp. 56-80 (2014)
7. K. Pack, K. Ahn, H. Huh, Yanshan Lou, Fracture modelling of DP780 sheets using a hybrid experimental-numerical method and two-dimensional digital image correlation, *Int. J. Materials and Product Technology*, 48, 1/2/3/4, pp. 34-46 (2014)
8. N. Park, H. Huh, Anisotropy Effect on The Fracture Model of DP980 Sheets Considering The Loading Path, *International Journal of Automotive Technology*, 16, No. 1, pp. 73-81(2015)
9. S. J. Lim, H. Huh, , Fracture loci of DP980 steel sheet for auto-body at intermediate strain rates, *International Journal of Automotive Technology*, 18, No. 4, pp. 719-727 (2017)
10. N. Park, H. Huh, Y. Lou, S. J. Lim, Y. S. Kang, M. H. Seo, Fracture-based forming limit criteria for anisotropic materials in sheet metal forming, *International Journal of Plasticity*, 96, pp. 1-35 (2017)
11. N. Park, H. Huh, J. W. Yoon, Anisotropic fracture forming limit diagram considering non-directionality of the equi-biaxial fracture strain, *International Journal of Solids and Structures*, 151, pp. 181-194 (2018)

순 티타늄 판재의 거동 모사를 위한 비연합유동법칙을 이용한 등방-왜곡경화 모델의 고찰

김진재¹ · 팜콕투안¹ · 김영석[#]

A study on isotropic-distortional hardening with NAFR model to predict material behavior of pure titanium sheets.

J. J. Kim, Q. T. Pham, Y. S. Kim

Abstract

조밀육방구조(Hexagonal closed packed structure)를 가진 순 티타늄 판재의 경우에는 방향별 인장실험시에 압연 방향과의 응력 비율이 변형률에 따라 변하는 왜곡 경화현상이 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 왜곡 경화현상을 예측하기 위하여 소성일에 따른 항복함수(Yield function) 및 포텐셜함수(Potential function)의 파라미터 변화를 고려하였으며, 항복곡선, 정규화된 항복응력 및 R-값들을 고찰하였다. 또한, 비연합유동법칙(Non-associated flow rule)을 적용한 등방-왜곡경화(Isotropic-distortional hardening) 모델의 구성식을 개발하였으며, ABAQUS/EXPLICIT 소프트웨어에 VUMAT 서브루틴을 적용한 해석으로 그 결과를 고찰하였다.

Key Words : Isotropic-distortional hardening, Non-associated flow rule, Hexagonal closed packed structure, Pure titanium

티타늄 판재는 항공기에서 CFRP와 타 금속의 전위차에 의한 부식을 막아주는 것으로 알려져 있다. 또한, 대형 열교환기의 핵심 부품으로도 사용되고 있다. 그러나, 티타늄 판재의 경우에는 조밀육방구조로 인해 이방성 특성 뿐만 아니라, 변형이 진행됨에 따라 압연방향(Rolling Direction, RD)의 항복응력이 압연에 수직 방향(Transverse Direction, TD)의 항복응력을 역전하는 거동을 보인다. (그림 1) 이러한 복잡한 거동으로 인해 티타늄 판재의 성형을 기존의 구성방정식을 적용한 유한요소해석으로는 정확한 예측이 불가능하다.

1. 경북대학교 기계공학과, 박사과정

교신저자: 경북대학교 기계공학부. E-mail: caekim@knu.ac.kr

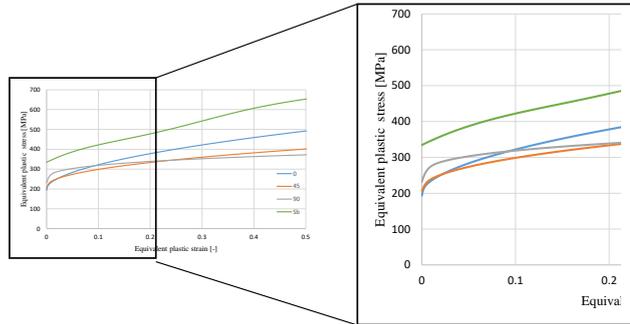


그림 1 순 티타늄 판재의 0, 45, 90° 그리고 벌지실험 유동응력 그래프

이러한 문제점을 극복하고자, T. Kuwabara 등(1)은 알루미늄 판재의 홀 확장 실험을 이용하여 유한요소 해석으로 예측을 시도하였다. 기존에 널리 사용되던 고정된 변형률에서의 값들을 이용하여 항복식의 파라미터들을 구하는 방법이 아닌, 소성일이 진행됨에 따라 항복식의 파라미터들도 변화시키는 방법 (isotropic-Distortional hardening)을 적용한 구성방정식을 개발하였다. 기존의 방법과 비교하여, 두께변형을 잘 예측함을 보였다. 또한, P. Q. Tuan 등(2)은 순 티타늄 판재에 isotropic-Distortional hardening을 적용하여 Kim-Tuan 경화식과 Yld2000-2d 항복식으로 구성방정식을 개발하여 단축인장 및 벌지실험에서의 하중-변위 선도를 정확하게 예측하였다. 위 두 연구에서는 연합유동법칙(Associated flow rule, AFR)을 사용하였다. T. Kuwabara 등의 논문에서 알 수 있듯이, 왜곡경화 거동을 잘 모사하지만 해석 결과에서는 실험과 차이를 보였다. 따라서, 본 연구에서는 비연합유동법칙(Non-associated flow rule, NAFR)을 가정하여 항복곡면 및 포텐셜 곡면을 소성일에 따른 항복식의 파라미터들을 도출하였으며, 상용 소프트웨어인 ABAQUS/EXPLICIT 에 VUMAT으로 해석한 결과와 실험을 비교하였다.

참고문헌

- [1] T. Kuwabara, T. Mori, M. Asano, T. Hakoyama, and F. Barlat, 2017, Material modeling of Material modeling of 6016-o and 6016-t4 aluminum alloy sheets and application to hole expansion forming simulation., *Int. J. Plast.*, 93, 164-86.
- [2] Q. T. Pham, M. G. Lee, and Y. S. Kim, 2019, *Int J Mec. Sci.*, 160, 90-102.

유한요소법 구성방정식에서의 기계학습 적용에 대한 고찰

강경필¹· 유정훈²· 이경훈[#]

Feasibility Study of the Application of Machine Learning for the Constitutive Equation in Finite Element Equation

G. P. Kang, J. Yoo, K. Lee

Abstract

성형해석을 위한 내연적 유한요소코드에서는 많은 계산시간으로 인해 현실적인 문제 적용에 어려울 수 있다. 일반 재료와 다공성 재료의 탄소성 거동 해석, 결정소성학 연계 멀티스케일 해석 등에서는 구성방정식을 구하기 위한 반복 과정으로 인해 많은 계산시간을 요구하게 된다. 최근에 기계학습은 광범위한 데이터를 기반으로 패턴을 예측하거나 규칙성을 찾는 데 많이 활용되고 있다. 구성방정식을 구하는 과정에도 기계학습을 도입하여 디지털화된 물성 데이터베이스를 구축하게 된다면, 이전의 상태변수와 현재의 속도장 정보로부터 반복 계산과정 없이 직접 그 해를 구할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 디지털 물성데이터베이스의 구축에 대한 방법론을 소개하기 위해 강소성 구성방정식을 대상으로 하여 훈련할 데이터의 확보방안과 기계학습된 물성이 타당성을 지니는지 검토한 내용을 보이고자 한다.

Key Words : Machine Learning, Constitutive Equation, Digital Material Database, Implicit Finite Element Method

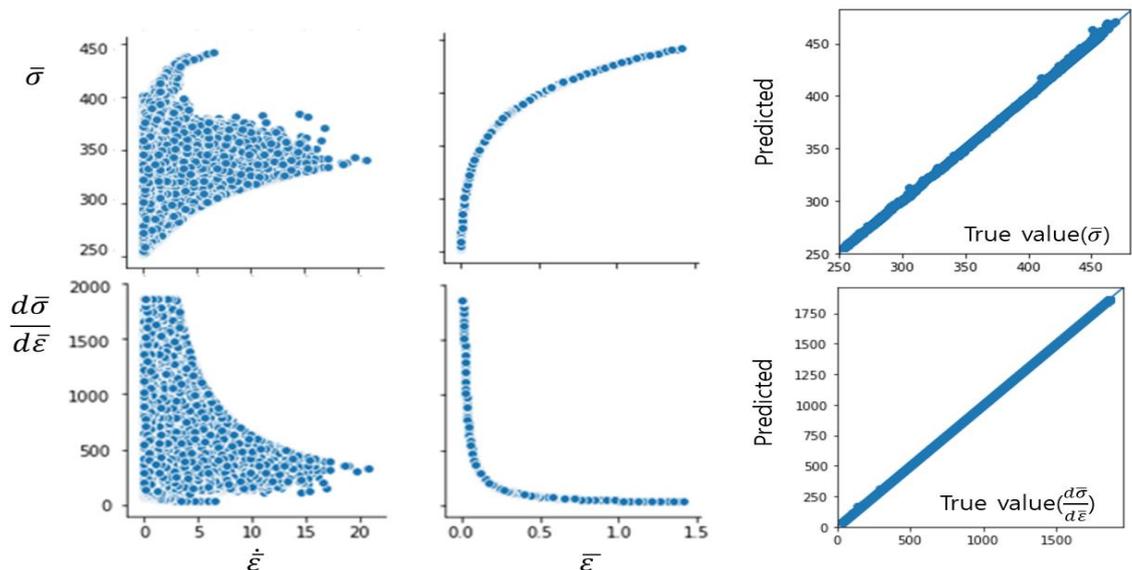


Fig. 1 Plot of training data and comparison of machine learned material properties

1. ㈜솔루션랩
 2. 연세대학교 기계공학부
 # 교신저자: ㈜솔루션랩, E-mail:klee@solution-lab.co.kr

변형률구배 결정소성학 재료 모델과 미래 활용 방안

김흥규^{1, #}

Strain Gradient Crystal Plasticity Material Model and Its Future Applications

H. K. Kim

Abstract

The crystal plasticity material model combined with the strain gradient theory enables precise prediction of microstructure development in the material during plastic deformation. In this paper, we introduced a strain gradient-based crystal plasticity material model and a finite element analysis technique using the model. By using this strain gradient crystal plasticity model, we can predict the texture related to material anisotropy, as well as track the grain refinement behavior and the resulting material properties changes. We have also attempted to predict how this finite element analysis based on this crystal plasticity model can be used for the analysis and design of plastic forming process.

Key Words : Crystal Plasticity , Strain Gradient , Finite Element Analysis , Anisotropy , Grain Refinement

1. 국민대학교 자동차공학과, 교수

교신저자: 국민대학교 자동차공학과, 교수. E-mail: krystal@kookmin.ac.kr

시간의존법 기반의 성형한계 결정에 관한 고찰

최원석¹ · 류경상¹ · 김형종[#]

A Study on the Determination of Forming Limits Based on the Time-dependent Method

W. S. Choi, K. S. Ryu and H. J. Kim

Abstract

The current international standard for forming limit diagram (FLD), ISO 12004-2, uses a ‘position-dependent method’ which determines the forming limits from the distribution of strains measured in the FLD test specimens after necking or fracture. Therefore, this method has some inherent problems, including missing data near the fracture, which may sometimes cause significant differences from lab to lab. On this background, the ‘time-dependent method’ is expected to be a new international standard for evaluating FLD. In this study, several methods that have been studied based on the time-dependent method since the notice of ISO in 2008 are comparatively analyzed, and a new method is proposed.

Key Words : Forming Limit Diagram, Sheet Metal, Time-dependent Method, ISO 12004-2, Goodness-of-Fit Method, Normalized Slope Method

1. 서론

2008년 발표된 최신 국제규격 ISO 12004-2에는 금속판재의 성형한계도를 체계적으로 결정하기 위한 ‘위치의존적 방법(position-dependent method)’이 상세하게 규정되어 있다. 아울러 더욱 정교한 성형한계도를 얻기 위한 ‘시간의존적 방법(time-dependent method)’도 곧 표준화 작업을 거쳐 발표될 것으로 예고하였으나, 지금까지는 새 버전이 나오지 않은 상태이다.

본 연구에서는 Merklein, Volk, Hotz 등 시간의존법을 기반으로 많은 연구를 수행해 온 학자들이 제안한 다양한 방법과 결과를 비교하여 장단점과 문제점을 분석하였다. 또한, 이들을 수정·개선한 ‘근사적합도법(goodness-of-fit method)’과 ‘정규화 기울기법(normalized slope method)’을 제안하고 기존 방법들과 비교·분석함으로써 판재의 성형한계를 합리적이고 안정적으로 찾는 방법을 모색하고자 한다.

1. 강원대학교 대학원 융합시스템공학과
교신저자: 강원대학교 기계의용공학전공, 교수,
E-mail: khjong@kangwon.ac.kr

핫스탬핑 소재의 금형 내부 급속 냉각 공정 중 열간 전단 공정기술

전용준¹· 최현석¹· 강정진¹· 김동언[#]

In-die trimming of press-hardened steel during die-quenching process

Y. J. Jeon, H. S. Choi, J. J. Kang, D. E. Kim

Abstract

차량의 배기가스 및 연비 규제 강화로 인해 핫스탬핑 공법이 적용된 초고강도 부품의 양산차 적용비율이 높아지고 있다. 양산차 생산 라인에서 핫스탬핑 성형품은 1.5 GPa의 높은 강도로 인해 레이저 기반 후가공이 일반적으로 적용된다. 그러나 레이저 후가공은 장비구축 비용이 높을 뿐만 아니라 부품의 절단선을 따라 순차적으로 진행되어 공정시간 단축이 어렵다. 이에 완성차 OEM 및 Tier1에서는 요구수명이 확보되는 핫스탬핑 부품용 전단금형 기술을 지속적으로 요구하고 있다. In-die trimming 공정기술은 핫스탬핑 소재의 성형과 후가공이 동일 금형에서 진행되는 공정기술로 급속냉각 중 전단공정이 수행된다. 이때 전단면 품질과 금형 수명을 동시에 확보하기 위하여 적절한 전단온도의 확보가 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 전단시점 소재온도, 클리어런스, 편치형상, 가압력 등 주요 공정인자에 따른 전단면 구성비율, 경도, 전단부 형상정밀도, 충격하중을 분석하였다. 소재온도 550°C에서 우수한 단면품질을 확보하였다. 놀림면은 클리어런스가 증가함에 따라 후가공면의 15~25%를 차지하며, 전단면은 전단시점 온도에 따라 후가공면의 50~70%를 차지하며 평균적으로 1%/°C 증가하였다.

Key Words : Hot-stamping(핫스탬핑), Piercing(피어싱), Trimming(트리밍), Shear Force(전단 하중), Shear surface(전단면)

1. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원 수석연구원. E-mail: kdu0517@kitech.re.kr

2. 특별세션

스마트팩토리
(제 2 발표회장)

자세 추정 알고리즘에 이미지 전처리 및 얼굴 가림이 미치는 영향

노은솔¹·이사람²·홍석무[#]

Influences of image preprocessing and face covering objects on a posture estimation algorithm

E. Noh, S. Yi, S. Hong

Abstract

While in manufacturing, humans are replaced by robots, expert skills remain hard to convert to data, and so is their application to industrial robots. One method is by visual motion recognition, but physical features may be judged differently depending on the image data. In this study we therefore aim at improving the accuracy of vision methods for estimating the posture of humans. 3 OpenPose vision models are applied: MPII, COCO and COCO+foot. To identify the effect of face covering accessories and image pre-processing on the Convolutional Neural Network (CNN) structure, the presence/non-presence of accessories, image size and filtering were set as the parameters affecting the identification of a human's posture. For each parameter, image data were applied to the 3 models, and the errors between the actual and predicted values and the percentage correct keypoints (PCK) calculated. The following is found: the COCO+foot model shows the lowest sensitivity to all 3 parameters; an image size reduction by <50% (from 3024×4032 to 1512×2016 pixel) is considered acceptable; emboss filtering in combination with MPII gives best results (reduced error of <60 pixel).

Key Words : Pose estimation (자세 추정), OpenPose, Image Preprocessing (이미지 전처리), Image Filtering (이미지 필터링), Face Covering (얼굴 가림)

1. 국립공주대학교 융합기계공학과, 석사과정

2. 국립공주대학교 기계공학과 석사과정

교신저자: 국립공주대학교 기계자동차공학부, 부교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

CNN 기반 공조 덕트 청소 로봇의 자율주행 알고리즘 개발

이사람¹ · 노은솔² · 홍석무[#]

Development of a CNN-based autonomous driving algorithm for an air duct cleaning robot

S. Yi, E. Noh, S. Hong

Abstract

During long-term use, accumulation of contaminants inside air ducts of e.g. air ventilation systems is inevitable. For the cleaning routine, personnel and, nowadays, robots have been employed. To tackle the problem of limited working hours and high labor costs, cleaning has been transferred to robots with remote control. However, operation is generally not fully automated and therefore still depends on manpower, which limits the cleaning time reduction potential. In this study, we therefore apply an autonomous driving algorithm to an air duct cleaning robot. The autonomous driving algorithm extracts the intersection of the two boundaries between the sides and the floor from the images taken by the robot's camera. The robot movement is then controlled based on the distance and angle between the extracted points and the actual image center point. The training and test data, consisting of images of the duct interior, cross-point coordinates, and two boundaries, were generated using 3D CAD and Python. The training data was used for cross-point extraction by the deep learning-based CNN model. Doing so, cross-point coordinates were obtained from the input image data. The accuracy of the learning model was determined based on the differences in actual and predicted areas and distances. A cleaning robot prototype was designed, consisting of a frame, a Raspberry Pi computer, a control unit including the camera and ultrasonic sensors, and a drive unit including the motor and wheels. As additional design conditions, a sagging of the duct must be prevented, and the cleaning robot be able to pass obstacles. To mitigate sagging, topology optimization was conducted, leading to a reduction in weight by 40% compared with the initial design. It is expected that the presented algorithm is applicable to vehicles in similar environments such as in the space underneath escalators.

Key Words : Air duct (공조 덕트), Autonomous (자율주행), Deep learning (딥 러닝), Duct cleaning (덕트 청소), Convolutional neural networks (합성곱 신경망)

1. 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정

2. 공주대학교 대학원 융합기계공학과 석사과정

교신저자: 공주대학교 기계자동차공학부, 부교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

머신 러닝을 활용한 에스컬레이터 덕트 먼지의 정량적 판단 알고리즘 개발

이사람¹, 노은솔², 홍석무[#]

Development of decision algorithm for dust of escalator duct using machine learning

S. Yi, E. Noh, S. Hong

Abstract

Removing the dust from escalator ducts requires cost-intensive personnel and involves dangerous working conditions. To improve this, special robots have been developed, but so far, only studies on the control of the robot have been published, which further did not treat the important part of quantitative dust determination. In this study, based on machine learning we develop an algorithm that allows determining the amount of dust and apply it to our cleaning robot. In an environment similar to that in an escalator duct, the dust amount is categorized into five levels according to the dust pile-up height, while the lighting and wall colors are set as variables. Image preprocessing, such as edge detection and huff transform, is used to remove irrelevant objects such as walls from the images. Out of 4 algorithm models –SVM (Support Vector Machine), kNN (k-Nearest Neighbors), Decision Tree, and k-Means–, SVM is found to be most accurate and is therefore employed for the dust quantification algorithm. Applying the developed algorithm to our cleaning robot, we found that the amount of dust was predicted correctly in 91 % of the cases. Application of this algorithm to such a cleaning robot will result in a significant reduction in maintenance costs.

Key Words : Machine Learning (머신 러닝), Support Vector Machine (서포트 벡터 머신), k-Nearest Neighbors (k-최근접 이웃), Decision Tree (결정 트리), k-means (k-평균), Escalator duct (에스컬레이터 덕트), Cleaning robot (청소 로봇)

1. 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정

2. 공주대학교 대학원 융합기계공학과 석사과정

교신저자: 공주대학교 기계자동차공학부, 부교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

머신러닝 및 이미지 전처리를 활용한 코팅 볼트 선별 알고리즘 개발

노은솔¹·이사람²·홍석무[#]

Development of Coated-Bolt Screening Algorithm Based on Machine-Learning and Preprocessing

E. Noh, S. Yi, S. Hong

Abstract

Conventional vision scanners use a rule-based approach and are limited to the detection of certain defects. In addition, they require four cameras for screening images, making them expensive. Still, it is difficult to evaluate the flanks of bolts when there are blind spots in the image. In this research, we develop a sorting algorithm for categorizing coated bolts based on machine learning and image preprocessing. When classifying defects in the bolt coating into four types – insufficient coating, insufficient coating length, no coating, foreign substances – we find that 50, 30, 15 and 5 % of the bolts fall into the respective categories. Since defects in insufficient coating and insufficient coating length, account for 80% of total defects, only these two defects are used to improve accuracy. Fixing the position of the rotating bolt by a jig, we can measure the whole circumference with only one camera. Image processing technology for determining the length over which the coating liquid is applied, which cannot be done by ordinary vision sorting machines, is employed for image size adjustment, color space transformation and specific color detection algorithms, grayscale and contour detection. In addition, one of the machine learning models, support vector machine is applied to detect insufficient coating defects. The algorithm proposed here makes possible accurate detection of failures that could not be detected by existing vision scanners.

Key Words : Bolt with anti-loosening coating (풀림 방지 코팅 볼트), Color Detecting (색 검출), Color Space Conversion (색 공간 변환), Image preprocessing (이미지 전처리), Support Vector Machine (서포트 벡터 머신)

1. 국립공주대학교 융합기계공학과, 석사과정

2. 국립공주대학교 기계공학과 석사과정

교신저자: 국립공주대학교 기계자동차공학부, 부교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

밸브 금속의 표면처리 시 화학물질 첨가 효과

고영건^{1,#}

Role of Chemical Additive on Valve Metals via Wet-Coating

Young Gun Ko

Abstract

In the recent years, considerable research has been devoted to the development of valve metallic materials fabricated by various wet-coating techniques, in particular, using plasma electrolytic oxidation considering the roles of chemical additive in the electrolyte. As a representative case example, the present talk showed the influence of SiO₂ and ZrO₂ incorporated nanoparticles on the coating structure and the corrosion behavior of 6061 Al alloy. To achieve this purpose, a set of PEO treatments were conducted in alternating current condition at a constant current density of 130 mAcm⁻² in phosphate electrolytes containing each and both nanoparticles, respectively. Microstructure observations revealed that when SiO₂ or/and ZrO₂ nanoparticles were added to the electrolyte, both size and fraction of micropores tended to be decreased, which would be attributed to the incorporation of nanoparticles. SiO₂ nanoparticles were preferentially embedded in the vicinity of micropores, meanwhile ZrO₂ nanoparticles preferentially filled the cracks. m-ZrO₂ was mostly converted to o-ZrO₂ while SiO₂ were partly converted to o-SiO₂ and another part to mullite. Based on potentiodynamic polarization tests in 3.5 wt% NaCl solution, the coatings containing both SiO₂ and ZrO₂ nanoparticles exhibited excellent corrosion protection properties due to the combination of their roles as the micropores blocker and cracks filler so that the microstructural defects were minimized.

Key Words : Valve Metal, Surface Treatment, Chemical Additive, Corrosion

서론

기계적 특성에 연관된 벌크물성 향상과 더불어 금속의 표면물성 개질에 관해 산업계에서 많은 요구사항이 있어 내식성을 극대화시킬 수 있는 방안에 관해 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 습식 표면처리 기술 중 마이크로 플라즈마 현상을 금속 표면에 조밀하게 도입하여 내식성 향상에 관한 연구결과를 리뷰논문의 형식으로 제시하고자 한다. [1]

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 중견연구자지원사업(유형 1-2) 지원을 받아 수행하였기에 이에 깊은 감사를 드립니다. (# 2020R1A2C2004192)

참고문헌

[1] Y. G. Ko et al., 2020, Recent advances in hybrid organic-inorganic materials with spatial architecture for state-of-the-art applications, *Progress in Materials Science*, Volume 112, Article 100663.

1. 영남대학교 신소재공학부
교신저자: 영남대학교 신소재공학부,
E-mail: younggun@ynu.ac.kr

미세조직 기반 결정소성-연속체손상역학 결합 유한요소해석에 의한 베어링강의 구름접촉피로 수명 예측

박진흥¹, 이기정¹, 권순우², 이명규^{#1}

Rolling Contact Fatigue Life Prediction of Bearing Steel using a Coupled Microstructure-based CP-CDM Finite Element Simulations

J. H. Park¹, K. J. Lee¹, S.W. Kwon², M. G. Lee^{#1}

Abstract

높은 강도와 내구성을 필요로 하는 베어링강은 일반적으로 마르텐사이트의 미세조직을 가진다. 또한, 베어링강은 구동조건에서 일정 하중이 연속적인 주기로 부가되기 때문에 강도 이외에도 우수한 피로특성이 필요하다. 한편, 구름접촉피로 환경에서 마르텐사이트 미세조직 베어링강 소재는 반복적 주기의 하중으로 인하여 재료의 연화 및 미세조직 변화가 나타난다고 알려져 있다. 특히, 표층하부에서 나타나는 마르텐사이트 재료의 연화와 미세조직의 변화는 재료 내부에 미세 균열을 생성시키고 전파할 수 있다고 알려져 있으며, 이러한 현상은 국부 소성변형에 의한 전위유도 탄소이동 이론(dislocation assisted carbon migration) 등으로 설명되고 있다 [1]. 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 구름접촉 조건에서 재료의 피로 수명을 예측하고자 하였다. 이를 위해, 유한요소해석에서는 구름접촉 현상에 의한 Hertzian 압력분포를 경계조건으로 인가하였으며, 이에 따른 미세조직 변화를 재료물성에 반영하기 위해 결정소성모델과 국부 소성변형에 의한 탄소이동 모델을 적용하였다. 또한, 재료 내부의 미세균열 생성과 전파를 해석하기 위하여 연속체 손상역학 (CDM, continuum damage mechanics)을 유한요소해석 모델과 결합하였으며 이를 통하여 베어링강의 구름접촉 피로수명을 예측할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

Key Words : Rolling Contact Fatigue (구름접촉피로), Bearing Steel (베어링강), CP-FEM (결정소성유한요소해석), CDM (연속체 손상역학), Dislocation Assisted Carbon Migration (전위유도 탄소이동)

[1] Fu, Hanwei, et al. "Strain-induced martensite decay in bearing steels under rolling contact fatigue: Modelling and atomic-scale characterisation." *Acta Materialia* 139 (2017): 163-173.

1. 서울대학교 재료공학부

2. 현대자동차 남양연구소

교신저자: 서울대학교 재료공학부, 부교수. E-mail: myounglee@snu.ac.kr

유리 마이크로 프레넬 존 플레이트 어레이 급속 성형

한윤가¹ · 이주호¹ · 신릉¹ · 김동현¹ · 강신일[#]

Rapid replication of glass micro Fresnel zone plate array

R. J. Han, J. H. Lee, R. Shin, D. H. Kim, S. I. Kang

Abstract

In view of the current precision glass molding processing in micrometer-scale and nanometer-scale of various limitations, in this work, we proposed a rapid replication method of glass micro Fresnel zone plate (FZP) array by CO₂ laser irradiation using infrared transparent mold. An area of 10 × 10 mm² K-PG375 glass surface was uniformly imprinted a 20 × 20 FZP array, an individual FZP with a diameter of 500 μm and 21 rings of minimum linewidth 2.9 μm and height 737 nm. By evaluating the optical performance of the imprinted FZP array, it further confirmed that the high-quality FZP array can be successfully transferred using our proposed process.

Key Words: Glass direct thermal imprinting, CO₂ laser irradiation, Fresnel zone plate array, Infrared transmissive mold, Compression glass molding

1. 서론

Recently, the demand for glass optical devices has increased due to developments in imaging and optical communication technologies. The Fresnel zone plate (FZP) array, an optical lens that utilizes diffraction, has attracted attention because it can be used in many applications. With the development of micro- and nano-patterning techniques, there are many ways to fabricate the precision optical devices. However, these methods require the cumbersome steps, time-consuming, high-cost and inefficient. To improve these limitations, we described a fabrication method to direct thermal imprinting of glass micro FZP array assisted by CO₂ laser irradiation using the infrared (IR) transparent mold made by silicon. We also evaluated the optical performance of the glass FZP array fabricated by proposed method to confirm the applicability of our fabrication method.

2. 실험방법

Glass thermal imprinting features three steps: preheating, delivery of pressure and laser illumination, cooling and demolding. We used a CO₂ laser with a beam diameter of 4.5 mm at 1/e² and was quadrupled through the beam expander to have a diameter of about 18.0 mm. The custom-built mold assembly consists a top plate, an upper insulator, an upper heating block with a central dilled hole allowing the laser beam to pass during irradiation, a lower heating block, a lower insulator, and a bottom plate. The pressure of imprinting was controlled by an air cylinder [1]. The silicon mold with designed FZP array is attached to the upper heating block by a mechanical clamp. For preventing the glass damage from rapid temperature changes by laser

1. 연세대학교 기계공학과,

강신일: 연세대학교 기계공학과, 교수.

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

heating, we preheated the 2-mm-thick 10 × 10 mm² K-PG375 glass (T_g 344°C) to 320°C below the glass

transition temperature [2]. Laser assisted thermal glass imprinting begins by first applying 1MPa of load to the preheated glass sample sandwiched between the silicon mold and the flat lower heating block. Then, an expanded laser source with 30 W for 30 seconds through the transmissive silicon mold and absorbed by the glass surface. Finally, the softened glass material filled the mold cavities, a uniform, high-quality FZP array was successfully fabricated on the glass surface by cooling and demolding followed.

3. 결과 및 고찰

To confirm the replication fidelity, we collected morphological data of the designed FZP array silicon mold and imprinted glass by Scanning electron microscope (SEM) and Atomic force microscope (AFM). Within area of $10 \times 10 \text{ mm}^2$, 20×20 FZP lenses $500 \mu\text{m}$ in diameter were imprinted, the minimum linewidth of patterned FZP ring is $2.8 \mu\text{m}$. Meanwhile, the pattern height filling at various laser irradiation durations were analyzed. With process optimization, a pattern transfer rate of more than 92% is achieved when 30 s of laser energy is irradiated. A uniform and without later deformation FZP array patterned glass was fabricated at 30 W for 30 s. We also evaluated the optical performance to ensure the suitability of our proposed fabrication process using measured the focal point and light intensity at that point. The array focused an 830 nm near-infrared light source widely used in optical communications. Compared the experimental result with simulation, about 7.14% error of the normalized average of the full-width-half-maximum was evaluated by ten spots of the FZP array. The theoretical and experimental (average of 10 lenses) focal length of primary foci were $1822 \mu\text{m}$ and $1818 \mu\text{m}$, respectively. The focal lengths of the secondary foci in theoretical and experimental results are also $610 \mu\text{m}$. The evaluation result was further showed that it is possible to successfully replicate the FZP array accurately using infrared laser to heat the glass surface.

4. 결론

A high-quality glass FZP array was direct replicated by using CO_2 laser-assisted thermal imprinting in a short period time of 83 s. 20×20 FZP lenses of $500 \mu\text{m}$ diameter and 737 nm height was uniform patterned in a glass surface with area of 100 mm^2 . The imprinted glass FZP array showed the similar optical performance of the simulation data. Therefore, our proposed method by CO_2 laser irradiation using IR transparent mold can direct fabricate the large area of glass FZP array with a minimum line width of $2.95 \mu\text{m}$ rapidly. This accurate fabrication process is possible to imprint more optical elements with various patterns onto glass substrate, and the smaller feature is a subject of on-going research.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Korean Government (MSIP)(No.2015R1A5A1037668).

참고문헌

- [1] M. Z. Zawawi, T. K. Kim, M. K. Jung, J. H. Im, and S. I. Kang, "Sustainable fabrication of glass nanostructures using infrared transparent mold assisted by CO_2 laser scanning irradiation," ASME J. Manuf. Sci. Eng. 140(12), 121005 (2018)
- [2] T. K. Kim, M. Z. Zawawi, R. Shin, D. H. Kim, W. J. Choi, C. Park, and S. I. Kang, "Replication of high refractive index glass microlens array by imprinting in conjunction with laser assisted rapid surface heating for high resolution confocal microscopy imaging," Opt. Express 27(13), 18869-18882 (2019)

구형 압입시험의 유한요소해석과 결합된 인공 신경망을 활용한 일축 인장 거동의 예측

정경재¹, 이혁재¹, 권오민¹, 정진욱¹, 권동일¹, 한흥남^{1,#}

Determination of uniaxial tensile properties using neural networks combined with finite element analysis of spherical indentation

K. Jeong¹, H. Lee¹, O. M. Kwon¹, J. Jung¹, D. Kwon¹, H. N. Han^{1,#}

Abstract

In the present study, we identify uniaxial tensile flow by combining finite element (FE)-based spherical indentation with an artificial neural network (ANN) analysis for different types of steel. We present an FE-ANN model that inversely solves the problem of leading the relevant parameters in the elastoplastic constitutive equations from load-depth responses for a wide range of materials while optimizing interface condition and the ANN system. Various sets of hardening parameters and the corresponding load-depth curves are generated by parametric studies of FE simulations and used as data for the training of the ANN. Hyperparameter tuning is performed to design the optimal ANN. The two types of indentation load-depth curves calculated through FE analysis and measured experimentally are converted into hardening parameters through the trained ANN, which is verified by the results of uniaxial tensile tests. We precisely investigate the predictive performance of the FE-ANN model by thoroughly evaluating the errors of the model. It is emphasized that the prediction for experimental data is capable only if the discrepancy between the measured data and the FE results is strongly controlled. The validations demonstrate that the proposed FE-ANN model is robust and captures the tensile properties well. Furthermore, we discuss that the FE-ANN model designed concisely with Taguchi orthogonal array method is capable of achieving high efficiency and predictive accuracy with a significantly reduced number of training data.

Key Words: Finite element analysis, Spherical indentation, Hardening parameters, Neural networks, Taguchi orthogonal array

1. 서울대학교 재료공학부

교신저자: 서울대학교 재료공학부, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

딥러닝으로 접근한 DP강의 미세조직과 기계적 물성 연결

김용주¹ · 박형근¹ · 정재면² · 김형섭^{1,3,#}

An efficient deep learning approach for structure-property linkages

Y. J. Kim¹, H. K. Park¹, J. M. Jung², and H. S. Kim^{1,3,#}

Abstract

In order to design optimal materials, it is important to understand the relationship between the microstructure of the material and its mechanical properties. Recently, attempts have been made to combine microstructure and mechanical properties with the artificial intelligence domain to understand the linkage. In particular, it was possible to obtain numerous microstructures by constructing a continuous infinite microstructure space through deep learning. As a result, it was possible to obtain the mechanical properties corresponding to the microstructure image data using finite element analyses. In this presentation, we demonstrate a specific microstructure with targeting mechanical properties.

Keywords: deep learning, continuous microstructure space, structure-property linkages

1. 서론

본 연구는 고급 재료의 설계 및 개발을 가속화하는데 있어서 딥러닝의 새로운 가능성을 제시하고자 한다. 기존의 방식은 유한한 개수의 미세조직 데이터와 이에 상응하는 기계적 물성을 분석하여 미세조직과 물성의 상관관계를 파악하고자 하였다. 그러나 이제는 딥러닝 기술을 통해 유한한 미세조직 공간에서 벗어나 무한한 연속적인 미세조직 공간으로 확장하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 확장된 미세조직 공간에서의 기계적 물성과 미세조직을 결합시켜 원하는 물성에 따른 최적의 미세조직을 구하는 접근법을 시도한다.

2. 실험방법

본 연구는 Dream3d 소프트웨어를 통해 결정립 크기, 각 상의 부피 분율 및 형태 등을 조절하여 2 차상을 가지는 수 많은 미세구조의 데이터를 얻었다. 이후, 딥러닝 기술을 통해 연속적인 미세구조를 나타내는 공간을 얻었고, 미세조직 기반의 유한요소해석을 통해 각 미세조직의 기계적 물성(항복 강도, 최대 강도 등)을 얻었다. 그리고 미세조직과 기계적 물성의 관계를 얻기 위해 비선형적인 관계를 파악할 수 있는 가우시안 프로세스 회귀(GPR)를 이용하였다.

1. 포항공과대학교, 신소재공학과

2. 한국재료연구소, 가상재료공정연구실

3. 포항공과대학교, 철강대학원, 교수

교신저자: 포항공과대학교 신소재공학과, 포항공과대학교 코엔트로피합금센터 센터장, hskim@postech.ac.kr:

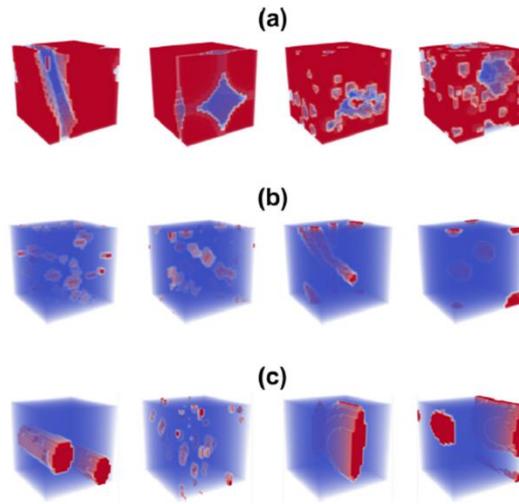


Figure 1. Microstructures that exhibit very high (a) ultimate tensile strength, (b) uniform elongation, and low (c) strain localization index of soft phase.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 GPR을 이용하여 Dual Phase(DP) 강 of 여러 미세조직 파라미터들과 기계적 물성 간의 관계를 통해 통계적 추론을 기반으로 성공적인 예측이 가능하였다. 이 때, 기계적 물성은 페라이트의 결정 크기와 탄소 함량 그리고 마르텐사이트의 분율을 고려한 미세조직 기반의 유한요소해석을 통해 도출하였다. 특히, Figure 1을 통해 마르텐사이트의 분율과 분포가 인장강도와 균일연신율에 큰 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

재료의 미세조직과 기계적 물성 간의 관계를 이해하기 위해, 먼저 재료의 기계적 물성에 영향을 끼치는 변수와 그 속성 간의 연관성을 정량화하는 것이 요구된다. 본 연구는 정량화된 미세조직의 파라미터를 통해 무한 공간의 미세조직 공간을 구축하였으며, 이에 상응하는 기계적 물성을 통계적 추론을 기반으로 성공적인 미세조직 기반의 기계적 물성 예측이 가능하다.

참고문헌

[1] J.M. Jung, J. I. Yoon, H. K. Park, J. Y. Kim, and H.S. Kim, 2019, Bayesian approach in predicting mechanical properties of materials: Application to dual phase steels, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 743, pp.382-390.

3. 특 별 세 션

고강도 소재의 성형 장비 실증
(제 3 발표회장)

알루미늄 7075 합금의 열처리 조건에 따른 기계적 물성과 성형성에 대한 연구

Effect of quench rate on the mechanical properties and formability of AA7075 under different aging conditions

Chanmi Moon¹, Jinwoo Lee², Myoung-Gyu Lee^{1#}

Abstract

In this study, the plastic hardening and formability of aluminum alloy 7075 (AA7075) sheets are investigated under different quench rates. The three conditions for differentiating the quench rates are 1) water quenching, 2) air cooling and 3) die quenching. The quench rates are measured at room temperature after solution heat treatment (SHT) at the temperature of 470° C. For the evaluation of sheet formability, a limit dome height (LDH) test is conducted after the SHT followed by 30 min aging and the formability is analyzed in relation to the quench rate. Transmission electron microscopy is investigated to study the microstructures of AA7075 sheets under the three different quench rates and the precipitates in the alloys are correlated to the mechanical properties. Protevin-Le Chatelier (PLC) effect, which is closely associated to the plastic instability of sheet and characterized in the form of a serrated flow curve, is also studied for the samples after SHT. Finally, the flow stress curves obtained by tensile tests are further investigated on the samples with natural aging and paint baking process after SHT to examine the effect of aging on the mechanical properties of AA7075 sheets under different quench rates.

Key Words : Al-Zn-Mg-Cu alloy, Quench rate, Formability, Protevin-Le Chatelier effect, Dynamic strain aging

1. Seoul National University

2. Korea Institute of Materials Science

Seoul National University, myounglee@snu.ac.kr

초고강도강판의 파괴 물성 도출에 관한 실험적 연구

유동훈^{1,2}·이진우¹·봉혁종¹·이영선¹·김대용[#]

Experimental Determination of Fracture Property for Ultra-High Strength Steel Sheet

D. H. Yoo, J. Lee, H. J. Bong, Y. S. Lee, D. Kim

Abstract

Although 1470 MPa grade ultra-high strength steel sheet has salient properties, its usage for certain application is limited due to the challenges faced during forming. Obtaining the plastic deformation property is the key to overcome this hurdle. This paper investigates plastic deformation of ultra-high strength steel sheet and experimental study of fracture property is performed. Uniaxial tension at various loading angles to observe the anisotropy of the material, and the Nakajima tests with various geometry samples are conducted. Finally, the fracture tests are carried out to determine the failure property of the ultra-high strength steel sheet.

Key Words : Ultra-High Strength Steel Sheet, Sheet Metal Forming, Fracture Property, Forming Limit

사사

본 연구는 산업통상자원부의 기계산업핵심기술개발사업-제조장비실증사업 (과제 번호: 20007229)의 지원을 받아서 수행하였습니다.

1. 재료연구소

2. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 재료연구소, 책임연구원. E-mail: Daeyong@kims.re.kr

4. 일반 논문 발표

경량금속
(제 3 발표회장)

SLM 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 마모, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 후열처리의 영향

박태현¹ · 백민석¹ · Yongho Sohn² · 이기안[#]

Effect of post heat treatment on the wear, tensile and high cycle fatigue properties of AlSi10Mg alloy manufactured by selective laser melting (SLM)

T.-H. Park, M.-S. Baek, Y. Sohn and K.-A. Lee

Abstract

본 연구에서는 selective laser melting (SLM) 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 미세조직과 마모, 인장 및 고주기 피로 특성에 대해 조사하였다. 이와 함께 여러 기계적 특성에 미치는 석출 경화 열처리 효과도 알아보고자 하였다. 석출 경화 열처리로는 Al-Si 합금에 주로 사용되는 T6 열처리 그리고 direct aging (DA) 열처리를 수행하였다. 초기 미세조직 관찰결과, as-built 소재는 molten pool 내부에 cellular structure가 형성되어 있었으며 cellular structure boundary에 eutectic Si 들이 존재하는 것으로 나타났다. T6 열처리 이후 molten pool 및 cellular structure는 모두 사라졌고 Si 상들은 조대한 크기로 (μm 수준) 관찰되었다. 상온 인장 시험 결과 DA 소재는 as-built 소재보다 항복 및 인장 강도가 향상되었지만, T6 소재는 오히려 감소하였다. 고주기 피로 시험에서 피로한 (fatigue limit)은 DA 소재가 가장 높게 나타났고 모든 피로 응력 조건에서 우수한 피로 특성을 보였다. 이에 반해 T6 소재는 상대적으로 낮은 피로 특성을 나타냈지만, 상온 마모 시험 결과에서 T6 소재가 as-built와 DA 소재보다 우수한 특성을 나타냈다. 상기 결과들과 함께 파단면 해석을 기반으로 SLM 공정으로 제조된 AlSi10Mg 합금의 석출 경화 열처리에 따른 마모, 인장 및 피로 변형 기구를 규명하고자 하였다. [본 연구는 “신소재 3D 프린팅 인력양성 사업”의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.]

Key Words : Selective Laser Melting (SLM), AlSi10Mg alloy, Tensile & High cycle fatigue, Wear, Microstructure evolution

1. 인하대학교 신소재공학과

2. University of Central Florida, Professor

교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr

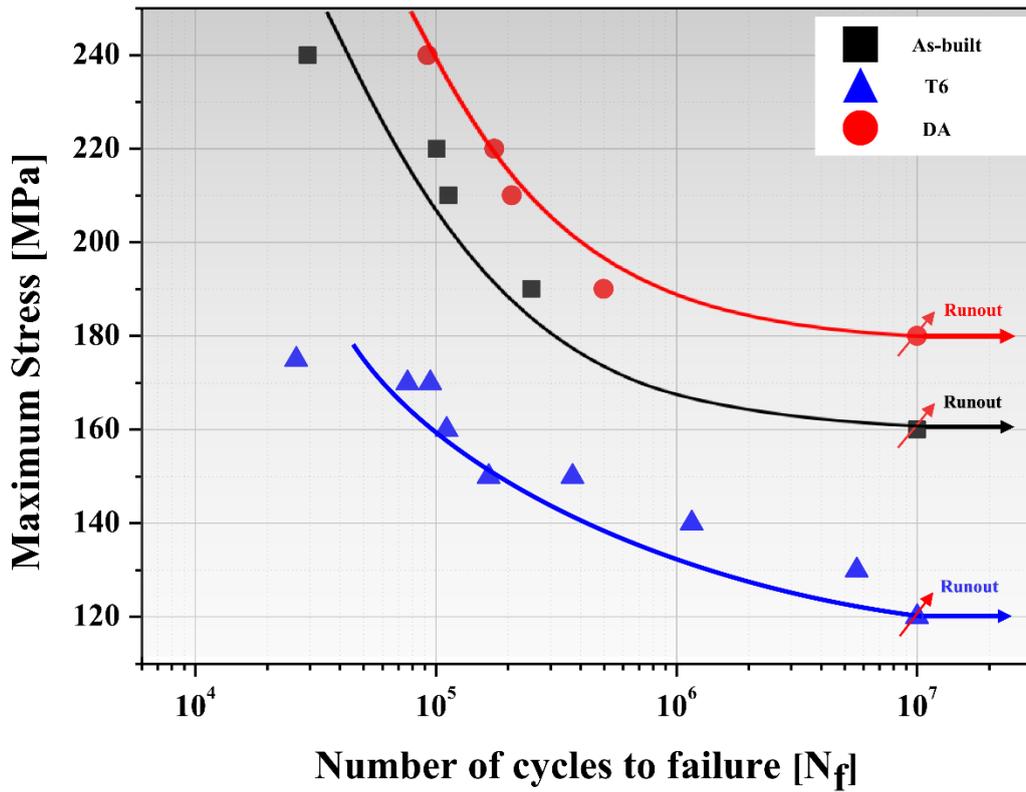


Fig. 1. Comparison of the high cycle fatigue at room temperature of the as-built, T6 and DA alloy.

An increasing concern in environmental pollution, enhancing vehicle performance, and reducing fuel consumption have increased the demand for lightweight materials in the automobile industry. This makes aluminum (Al) alloys one of the most suited structural material in the automobile industry because of their lightweight. Al alloys have additional properties such as good plasticity, comparatively high specific strength, and outstanding corrosion resistance. Carbon fiber reinforced plastic (CFRP) has also been regarded as a candidate material in the automotive industry in recent years owing to its unique properties. CFRP are known for their, low density, high strength-to-weight ratio, high stiffness, greater corrosion resistance, and fatigue performance. To best utilize the desirable and unique properties of Al alloy and CFRP, the two materials must be joined to form a hybrid structure. This study aimed to investigate the microstructure and bonding mechanism of the Al/CFRP joint. The microstructural characterization of the joint interfaces was performed using the scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM). The X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was used to determine the interfacial chemical bonds at the Al-CFRP interface.

An AA6014 Al sheet with an ultimate tensile strength (UTS) of 260 MPa and chemical composition (shown in Table 1) was used in the RFSSW process. The CFRP comprised thermoplastic polyurethane (TPU) as the plastic matrix and long fiber pellet type chopped carbon fibers. The length and diameter of the carbon fibers were 7 mm and 15 μ m, respectively. The dimensions of the Al and CFRP sheets were 2 mm (thickness) \times 30 mm (width) \times 100 mm (length). The weld was performed using a FSSW-Refill prototype machine (sleeve plunge alternative) with a maximum application force (vertical axis) and rotation speed of 15 kN and 3000 rpm, respectively. The tool system utilized a 5.2 mm diameter grooved pin, 9.0 mm diameter sleeve and an 18 mm diameter clamping ring. The AA6014 Al alloy and CFRP sheets

were joined together in lap configuration (Al alloy sheet on top of CFRP sheet) with an overlap area of 30 × 30 mm and the welding spot positioned at the center of the overlapped area. The rotational speed of the tool (sleeve and pin), plunge depth and welding time were 1000 rpm, 1.9 mm and 1.5 sec, respectively.

Table 1. Chemical composition of AA6014 Al alloy by atomic %

Si	Zn	Mg	Fe	Cu	others	Al
0.94	0.2	0.86	0.10	0.41	0.15	Balance

The weld was sectioned at the weld center to allow for standard metallographic analysis. The joint interfaces of the Al alloy and CFRP sheets were observed using an Olympus MPG3 optical microscope (OM) and SU5000 SEM with 20 kV operating voltage equipped with ENCA 3.5 energy dispersive X-ray (EDX) analysis system. TEM analyses were performed on the cross-section of the joint sample. Samples were prepared by lifting the joint interface using a focused ion beam (FIB, FEI Helios Nano-Lab 600). XPS analyses were performed on both the fracture surfaces of the Al alloy and CFRP sheets of the Al-CFRP joint sample

The microstructure and tensile shear strength of AA 6014/CFRP joints fabricated using refill friction stir spot welding (RFSSW) were examined. A maximum tensile shear load of 1.6 kN was observed among the untreated aluminum (Al) alloy and carbon fiber reinforced polymer (CFRP) specimens. Al-O-C, C-C, and C=O chemical bonds were detected on the tensile-shear fracture surfaces of both the Al alloy and CFRP sheets using X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Micro-mechanical interlocking and chemical bond formation were the key factors that contributed to the tensile shear strength of the RFSSW joint. This study has demonstrated that the RFSSW technique is a suitable alternative for manufacturing metal-polymer hybrid structures.

베타어닐된 Ti-6Al-4V 합금의 고온성형공정변수에 따른 미세조직 변화

김동민¹, 권용남¹, 이동준¹, 석무영¹

Effect of thermo-mechanical treatment on microstructure changes in beta annealed Ti-6Al-4V alloy

D. M. Kim , Y. N. Kwon, D. J. Lee, M. Y. Seok

Abstract

Ti-6Al-4V 합금은 높은 강도, 비강도, 내부식성으로 항공우주산업 분야에 다양하게 사용되고 있다. 최근 항공기에 대한 수명예측연구가 계속 진행중이고, 그 중에서도 피로수명에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 항공용 소재로 많이 사용되는 베타어닐된 Ti-6Al-4V 합금은 피로균열전파 저항성이 좋아 수명향상에 도움을 준다. Ti-6Al-4V 합금은 Ti합금의 분류중 $\alpha+\beta$ 합금으로 상온에서는 대부분이 HCP구조(α)로 성형성이 낮아 기계적 가공이 어려워 주로 고온에서 성형하는 단조, 압축 및 초소성 성형으로 복잡한 형상을 만드는 가공법이 적용되고 있다. 고온성형에 따른 많은 연구가 시도되고있으나 공정변수제어에 따른 미세조직에 대한 연구가 필요하다. 또한 합금의 특성상 각 상의 분율이 온도와 변형에 따라 변화하고 이에 따라 결정립의 크기가 변화하므로 미세조직 예측시 다양한 변수를 고려해야만 한다. 따라서 본 연구에서는 베타어닐된 Ti-6Al-4V 판재에서 원통형 시편을 제작하여 고온압축모사시험을 진행하였으며, 온도와 변형률(ϵ)에 따라 조건을 달리하기 위하여 b 변태온도(977~982℃)보다 높은 1010℃와 낮은 950℃의 두 온도와 $\epsilon = 0, 0.5, 1$ 의 변형률 그리고 고온압축모사시험 후 냉각속도를 10℃/s, 1℃/s, 0.3℃/s로 냉각한 후 760℃ 에서 2시간 안정화열처리를 실시하였다. 가공열처리 조건에 따른 미세조직을 측정하여, 온도, 변형률, 냉각속도가 미세조직적 특징(결정립도, β 조직 분율 등)에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

Key Words : Beta annealed Ti-6Al-4V, Thermomechanical treatment, Microstructure, Processing parameter

1. 재료연구소 항공우주재료연구센터

지르코늄 합금 튜브의 소성 가공에 의한 성능 특성

김현길^{1#}, 김일현²

Performance Characteristics of Zr-based Alloy Tube with Plastic Deformation

H. G. Kim, I. H. Kim

Abstract

Manufacturing process of zirconium alloys is an import factor to increase the strength and corrosion resistance. In order to find the improved manufacturing process of zirconium alloys in both Zr-1Nb-1Sn-0.1Fe (Alloy-A) and Zr-1.5Nb-0.4Sn-0.2Fe-0.1Cr (HANA-4) for fuel guide tube, the sheet samples were prepared by applying the two and three step processes controlled by an annealing and reduction condition. The mechanical strength and corrosion resistance of both alloys was increased by applying the two step process than the three step process. From the matrix analysis by using the TEM, the property improvement is related to the decrease of precipitate mean diameter by an application of the two step process.

Key Words : Zr alloy, fuel tube, strength, corrosion, manufacturing process

1. 서론

원자력발전소의 안전성과 경제성은 원자로의 노내 구조물이 고온 및 고압의 부식환경과 중성자 조사로 인한 열화현상으로 성능저하가 수반되어 감소되게 된다. 원자로 노심내 핵심 구조물인 핵연료 집합체는 핵연료 피복관, 안내관, 계측관, 지지격자 등의 지르코늄 합금 부품으로 구성되어 있는데, 이들 지르코늄 합금 부품은 부식반응에 의한 산화막 성장 및 기계적 변형으로 인하여 건전성이 저하되기 때문에 합금조성과 제조공정이 매우 중요하다 [1~3]. 본 연구에서는 지르코늄합금으로 제조되는 핵연료 튜브를 대상으로 한국표준형 원전 집합체에서 가장 문제가 되는 고강도 확보 및 고연소도/장주기 운전에서 부식량 증가에 의한 수화물 생성량 증가를 개선하기 위한 제조 공정에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 한국표준형 원전에 사용되는 안내관의 강도 및 내식성 향상을 위해 제조공정 중 중간 열처리 온도를 현재 수행되고 있는 596°C에서 570°C로 낮추는 방안과 소성가공 단계를 현행 3단계에서 2단계로 감소하는 공정 개선방안을 연구하였다. 제조된 시편에 대하여 미세조직, 인장강도 및 내식성에 대한 성능 평가를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

미세조직 특성은 3단계 공정으로 제조된 합금과 2단계 공정으로 제조된 합금간에 차이가 있는

1. 한국원자력연구원, 책임연구원

2. 한양대학교, 박사과정

한국원자력연구원, 책임연구원. E-mail: hgkim@kaeri.re.kr

것으로 나타났다. 3단계 공정으로 제조된 합금에서는 대부분 전위가 밀집된 조직과 일부 수 μm 크기로 재결정된 결정립이 관찰되었지만, 2단계 공정으로 제조된 합금에서는 전위가 밀집된 영역에서 200~300 nm 크기의 아결정립이 혼재한 조직이 90% 이상 나타났고 일부 수 μm 크기로 재결정된 결정립이 관찰되었다. 인장강도 특성을 평가한 결과, 중간 열처리공정이 2회에서 1회로 감소되고, 최종 압하율이 56%에서 70%로 증가되면서 미세조직 내부에 형성된 석출상이 미세하고 균질하게 분포되어 강도를 향상시킨 것으로 볼 수 있다. Alloy-A 및 HANA-4 합금에서 석출물의 미세화는 인장변형시 전위이동을 방해하여 강도를 증가의 원인으로 작용하였을 것이다. 150일 부식시험 후 무게증가량을 비교 평가한 결과 동일 제조조건에서는 HANA-4 합금이 Alloy-A 합금에 비하여 무게증가량이 25%이상 감소하였고, 3단계 제조공정에 비하여 2단계 제조공정을 적용하면 두 합금은 무게증가량이 10%이상 감소되는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서 제시된 2단계 소성 가공공정은 기존 3단계 제조공정에 비하여 8%의 강도향상과 10% 이상의 내식성 향상 효과를 가지기 때문에 핵연료 안내관 제조를 위한 공정으로 제시될 수 있었다. 2단계 제조공정에 의한 성능향상은 Nb이 첨가된 지르코늄 합금의 석출상 특성제어로 인한 것으로 분석되었다.

참고문헌

- [1] R. Yang, B. Cheng, J. Deshon, K. Edsinger, and O. Ozer, "Fuel R&D to Improve Fuel reliability", LWR Fuel Performance Conference, Kyoto, Japan, October, 2005.
- [2] T. Smith, J. Nucl. Mater., 18, 323 (1966)
- [3] M.P. Puls, S.Q. Shi, and J. Rabier, J. Nucl. Mater., 336, 73 (2005)

공기층 이미지를 이용한 소수성 알루미늄 표면의 젖음 상태 평가

문인용 · 이호원 · 오영석 · 김세종 · 강성훈#

Wetting state evaluation of hydrophobic aluminum surface using air layer images

I. Y. Moon, H. W. Lee, Y. S. Oh, S. J. Kim and S. H. Kang

Abstract

본 논문에서는 알루미늄 합금 표면에 소수성을 부여할 수 있는 임프린팅 공정을 개발하고, 이를 통해 제작된 소수성 표면의 젖음 상태를 분석하는 방법을 제시하였다. 방전면 (electrical discharge textured, EDT) 금형과 미세 홈 패턴 (micro groove pattern) 금형이 임프린팅 공정에 사용되었으며, 이는 각각 방전가공 (electrical discharge machining, EDM) 및 와이어 방전가공 (wire electrical discharge machining, WEDM)을 통해 제작하였다. 미세 홈 패턴의 경우, 400 μm ~ 1,000 μm 의 다양한 피치를 갖도록 설계하였으며, 이에 따른 발수성의 변화를 분석할 수 있도록 하였다. 그 결과, 최대 133.9°의 접촉각을 임프린팅 공정을 통해 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 추가적으로, 공기층 이미지를 이용한 표면의 젖음 상태를 분석하는 방법이 제안되었다. 물이 담긴 수조에 임프린팅된 시편을 담갔을 때, 표면의 젖음 상태에 따라 표면에 공기층 (air layer)이 형성된다는 것을 이용하여 젖음 상태 및 발수성 정도의 변화를 분석하였다. 그 결과, 이론식만으로 젖음 상태를 분석했던 기존 방법 대비 이론식과 더불어 공기층 이미지를 함께 이용하는 방법이 더욱 효과적으로 젖음성 분석에 사용될 수 있음을 입증하였다.

Key Words: Imprinting, Hierarchical patterns, Aluminum alloy, Hydrophobic, Air layer, Wetting state.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: kangsh@kims.re.kr

5. 일반 논문 발표

일반금속가공
(제 4 발표회장)

이종금속 접합부에서의 갈바닉 부식 거동에 대한 실험 및 전산모사 연구

Experimental and numerical studies of galvanic corrosion behavior of dissimilar metal joint

조훈휘¹, Sam Yaw Anaman¹, Solomon Ansah¹, 홍성태², 이종숙³

1 한밭대학교

2 울산대학교

3 전남대학교

Galvanic corrosion between austenitic stainless steel and Ni-based superalloy joined by electrically assisted pressure joining (EAPJ) is investigated in 3.5% NaCl at room temperature. Microstructural analysis reveals no secondary phases or Laves present in the EAPJ joint, although grain refinement and high dislocation densities are observed. The grain refinement and high dislocation densities contribute to an increase in the corrosion rate. A numerical model is established to simulate the corrosion behavior of the joint. The simulation results show that at the joint interface, stainless steel side closer to the joint interface experiences a stronger galvanic effect that decreases as the distance from the EAPJ joint interface increases, whereas Ni-based superalloy side of the joint remains intact.

Keywords: Electrically assisted pressure joining; Ni-based superalloy; stainless steel; microstructure; electrochemical behavior; simulation

높은 이방성 재료에 대한 TFD 획득 시 적합한 삼축성 정의에 대하여

F. Rickhey¹, 홍석무¹

Which is the “right” triaxiality definition when establishing a TFD for anisotropic materials?

F. Rickhey¹, S. Hong¹

Abstract

Evaluation of the stress triaxiality η , in solid mechanics often shortened to just triaxiality, is an essential step toward the establishment of triaxiality failure diagrams (TFD) and thus the prediction of damage and failure. As the principal strain ratio in the traditional failure limit diagram (FLD), the stress triaxiality represents the loading conditions at a point in a structure; every loading type is assigned a unique η -value. η is known to be defined as the ratio of mean stress to equivalent stress. While the mean stress is directly related to the first stress tensor invariant and thus unambiguous in its evaluation, the definition of the equivalent stress depends on the chosen yield criterion. For isotropic metals, application of the von Mises yield criterion has been uncontroversial. The situation changes for anisotropic materials; numerous models are available, their number and complexity ever rising. The question is therefore: which is an appropriate yield condition to express the equivalent stress for a certain anisotropic material? For the highly anisotropic sheet metal Zirlo, strains are obtained by digital image correlation (DIC) for uniaxial tension, notch and shear specimens; principal strains are converted to principal stresses for three popular yield criteria – one isotropic (von Mises) and two anisotropic (Hill48, Barlat89); η is then calculated and compared to the analytically derived solution. The comparison reveals the significance of the choice of the η -value on the mathematical formulation of the equivalent stress.

Key Words : Stress triaxiality, Yield criterion, Anisotropy, triaxiality failure diagram, DIC

1. 국립공주대학교 기계자동차공학부
교신저자: E-mail: smhong@kongju.ac.kr

3D 프린팅 공정으로 적층된 공구강의 경도 향상을 위한 레이저 공정 조건 연구

오민철¹· 박남수¹· 배기현¹· 이종섭¹· 김용배¹· 서종덕²· 송정환[#]

Study on laser process conditions to improve the hardness of deposited tool steel by 3D printing process

M. C. Oh, N. S. Park, G. H. Bae, J. S. Lee, Y. B. Kim, J. D. Seo, J. H. Song

Abstract

고강도 철강의 개발과 더불어 이를 성형 및 가공하기 위하여 금형에 요구되는 물성이 점점 증가하고 있으며 새로운 소재 개발이 요구되고 있다. 하지만, 기존의 주조 및 단조 공정 등을 이용하여 새로운 금형을 생산하기에는 많은 시간 및 비용이 필요하며, 가격 경쟁력 및 양상성의 측면에서 다양한 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이를 해결하고자 현재 각광받고 있는 기술 중 하나인 금속 3D 프린팅 공정 중 Direct energy deposition(DED) 이용하여 전단인부에 높은 기계적 물성을 확보한 원가절감형 고효율 금형 제조 기술을 확보하고자 한다.

S45C 기판에 Fe-Cr-Mo를 기저로 하는 공구강 분말을 적층 하였으며, energy area density(EAD)에 따른 모재와 적층 영역의 접합 강도 차이를 확인하기 위하여 레이저 출력 파워는 1.5, 2, 3 kV로 스캔 속도는 0.75, 1, 1.25, 1.5mm/s로 선정하였다. 이전 연구들과 동일하게 EAD가 증가할수록, 기판으로 침투된 melting pool의 깊이 및 dilution index가 증가하지만, 1.5 kV로 조사 할 시, 초기 적층 영역에서 melting pool이 형성되지 않을 뿐만 아니라 다량의 기공의 형성되는 것을 확인하였다. 또한 레이저 공정 조건에 따른 기계적 물성 및 미세조직과의 관계를 규명하기 위하여 경도 분석 및 미세조직 분석을 하였으며, 3 kV, 0.75mm/s로 레이저를 조사할 시, fine columnar 구조를 형성하여 경도가 800 Hv를 가지게 되었으며, EAD가 떨어질수록 coarse columnar 및 dendritic의 분율의 증가하여 경도 및 경화 깊이의 감소가 확인되었다. 연구 결과들을 바탕으로 DED 공정으로 제조된 Fe-Cr-Mo 적층 부의 경도 향상을 위한 미세조직 제어 및 레이저 공정 조건에 대하여 연구하였다.

Key Words : 3D printing, Laser condition, Energy area density, Hardness, Microstructure

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. ㈜ 신영 기술연구소

교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 E-mail:jhsong@kitech.re.kr

박강판 Slitting 불량 사례 분석과 Slitting Simulator 실험에 의한 공정 인자 영향 연구

박기철#

Case Studies on the Slitting Defects of Sheet Steels and Experimental Studies by using Slitting Simulator

K. C. Park

Abstract

In order to investigate the important influencing factors on slitting defects of sheet steels, case studies on the NG cases and experimental studies by using slitting simulator were done. From the case studies it was known that the slitting section shape such as shear area ratio and shear direction in the slitting section are indicator for shape defects. Large shear area ratio is related with wave in skelp and oblique shear line is indicating twisting. From the experiment by using slitting simulator, the effect of knife clearance and lap on the shear area ratio and edge wave of skelp were found.

Key Words : Slitting Wave (슬리팅 웨이브), Knife Clearance (클리어런스), Shear Area Ratio (전단면 비), Lap (랩)

1. 서론

냉연 및 열연 코일은 80% 이상이 slitting 공정을 거쳐서 프레스 가공이나 roll forming 또는 cut-to-length line 에서 sheet 가공용으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 slitting 가공에서 발생하는 불량 현상에 대한 사례 분석을 통한 슬리팅 불량 현상 고찰과 슬리팅 가공 공정 인자가 품질에 미치는 영향 실험 기술 확보를 목적으로 하는 slitting 공정 simulation 장치를 구축해서 1차로 실험한 내용을 소개한다. 본 slitting simulation 기술은 계속 개선 연구를 하여 slitting 불량 영향 인자 도출 연구를 수행하고 그 결과를 슬리팅 가공 업체 기술 지원에 활용할 예정이다.

2. Slitting 공정 불량 사례 분석

2.1 Slitting 후 wave 발생 사례 분석

0.6t 자동차용 극저탄소강 slitting 한 제품에서 Fig.1 과 같이 edge wave 가 발생하였다. 이 소재 모재 코일에서는 wave 가 없었다. Slitting wave 가 심한 부분은 거의 100% 가 전단면이고 추정 clearance 는 0.7% 이다. 상대적으로 양호한 절단면은 75% 가 전단면이고 추정 clearance 는 5.5% 이다. 매우 작은 clearance 가 중요한 wave 영향인자임을 알 수 있다.

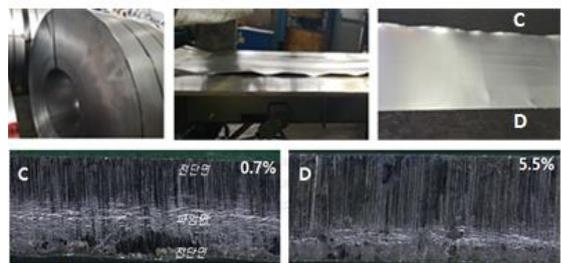


Fig.1 Slitting 에서 wave 발생 및 절단면 사진과 추정 Clearance.

교신저자: 포스코 철강기술연구원 성형연구그룹, E-mail: parkkc@posco.com

2.2 Slitting 후 프레스 가공 제품의 뒤틀림 발생 사례 분석

가공 후 뒤틀림 사례는 Fig.2 와 같은 CD-Case 이다. 이는 0.5t 저탄소강판으로 가공한 것이다. Slitting 된 skelp 를 400mm 로 절단하여 정반에 놓고 들림 높이 (up-bow height) 를 측정하여 Fig.2 에 같이 정리하였다. 불량 skelp 의 경우는 끝 부분에서 심하게 뒤틀려 있는데 roller leveling 이후에는 완화되나 여전히 1mm 정도 들림 높이가 차가 존재한다. 양호한 skelp 도 slitting 후에는 뒤틀림이 남아 있으나, leveling 후에는 거의 사라지고 있다. 불량재와 양호재의 절단면 단면에 남아있는 사선의 전단 방향에서 twisting 문제가 발생한 것임을 알 수 있다.

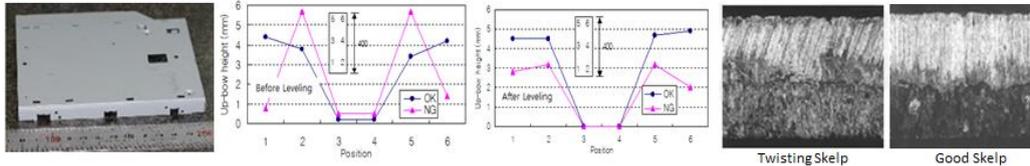


Fig.2 Press 가공 후 twisting 발생한 부품과 slitting skelp 의 up-bow height 분포 및 twisting 발생 및 양호 skelp 절단면 형상 비교.

3. Slitting 공정 Simulation 실험 장치 제작 및 slitting 실험 연구

3.1 Slitting simulator 구성

실험에 사용한 slitting simulator 는 미래기연[1]에 연구용으로 주문 제작하였다. 기기 주요부 사진과 구조는 Fig.3 과 같다. Slitting 은 50mm 폭의 5조가 가능한 구조인데, knife 는 외경 150mm 크기 이다. Tool 의 clearance 는 0.02~0.30mm 범위에서 10종이 가능하다.

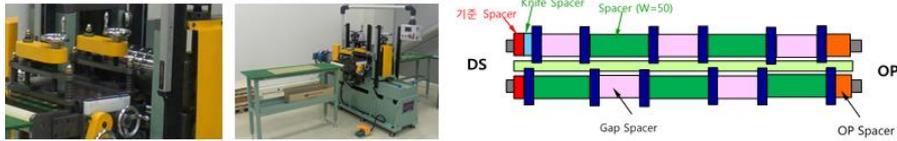


Fig.3 Slitting simulator used for experiment.

3.2 Slitting 실험 결과

얇은(0.6t) 극저탄소 냉연강판으로 Slitting 시험하여 얻은 주요한 결과를 Fig.4 에 정리하였다. Knife clearance 가 작을수록 lap 설정에 의한 wave 발생이 용이하였다. 즉, clearance 가 작은 경우에는 lap 이 작은 경우에도 wave 가 발생하는 경우가 있었다. 그리고 clearance 가 커질 수록 소재 두께에서 차지하는 전단면의 비율이 감소하였고, lap 이 커질수록 절단면에서 knife 의 쓸림 현상이 많이 발생하였다. 쓸림 현상은 twisting 발생 원인이 될 수 있다.

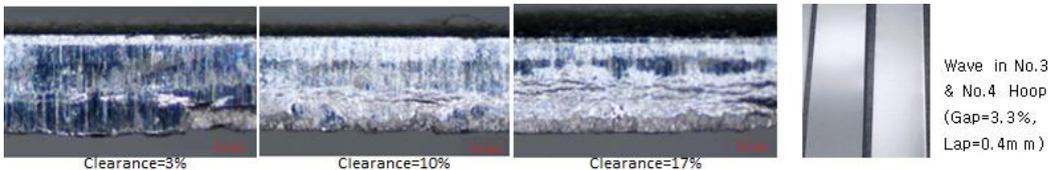


Fig.4 Knife clearance 에 따른 절단면 형상 변화와 clearance 가 작고 lap 이 큰 경우에 발생한 절단면 wave 사례.

4. 결론

Slitting 중 발생한 불량 사례 분석과 slitting simulator 를 이용한 실험을 통해서 slitting 조건이 slitting 제품 불량 발생에 중요한 영향인자임을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] (주)미래기연 (www.mirae21c.com, elec@mirae21c.com), 2018, Slitting 모사 시험 장치 Manual.

Selective laser melting 공정으로 제조된 IN738LC 소재의 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향

김규식¹·김명세²·이기안^{1,#}

Effect of post heat treatment on the mechanical properties of IN738LC fabricated by selective laser melting

K.-S. Kim¹, M.-S. Kim², K.-A. Lee^{1,#}

Abstract

IN738LC 합금은 우수한 고온 크리프 강도와 고온 산화 저항성을 보이고 있어 우주/항공, 발전소 등 고온 및 부식 환경에 노출되는 터빈 블레이드 소재로 적용되고 있다. 최근 적층 제조 공정을 이용하여 효율적인 부품을 제조하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이에 따라 3D 프린팅 공정으로 제조된 IN738 소재의 기계적 특성에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 selective laser melting 공정으로 제조된 IN738LC 소재를 이용하여 as-built 그리고 후열처리(fully hardened 및 direct aged)에 따른 미세조직 변화, 기계적 특성을 조사하였다. 그 결과, as-built 소재는 빠른 냉각속도에 의하여 fine cell/columnar structure를 보이고 있었으며, Ti 원소의 편석이 inter-cell/inter-columnar 영역에서 관찰되었다. 후열처리를 수행한 경우, 초기에 관찰되었던 cell 조직은 관찰되지 않았으며 bimodal Ni₃(Al,Ti) 석출물이 관찰되었다. 상온 인장 시험 결과, as-built는 733.5 MPa (항복 강도, YS), 1089.9 MPa (최대 인장 강도, UTS), 16.9 %의 연신율을 나타냈다. 표준 열처리(fully hardened)를 수행한 경우에는 1012.2 MPa (YS), 1201.9 MPa (UTS), 6.3%의 연신율을 보였다. Direct aging을 수행한 경우에는 1170.3 MPa (YS), 1294.5 MPa (UTS), 그리고 3.1 %의 연신율을 보였다. 상기 결과들과 함께 SLM IN738LC 소재의 고온 산화 기구 및 변형 거동을 미세조직과 연계하여 규명하고자 하였다.

Key Words : IN738LC; Additive manufacturing; Mechanical properties; Post heat treatment; Microstructure;

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 아우라테크

교신저자: 인하대학교 신소재공학과, E-mail: keeahn@inha.ac.kr

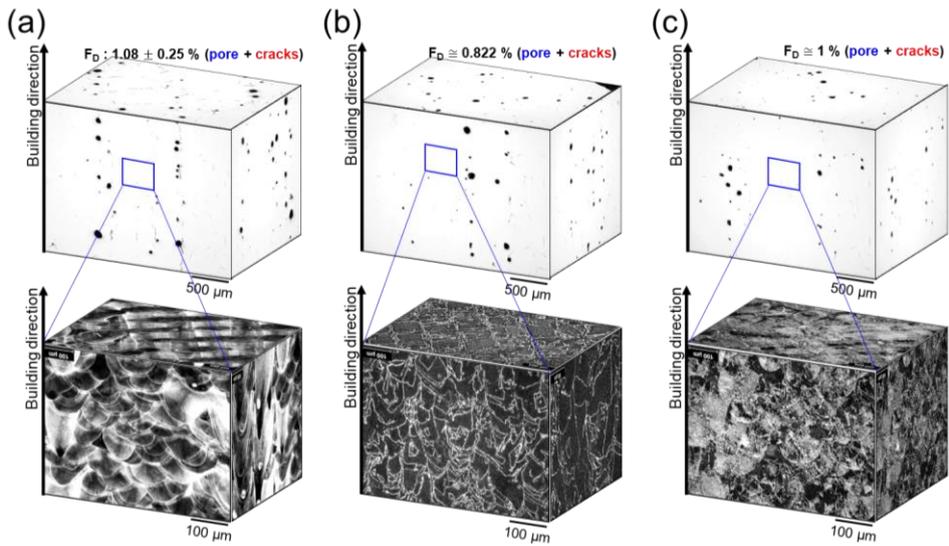


Figure 1 3D metallographic microstructure of (a) as-built IN738LC, (b) fully hardened IN738LC, and (c) direct aged IN738LC

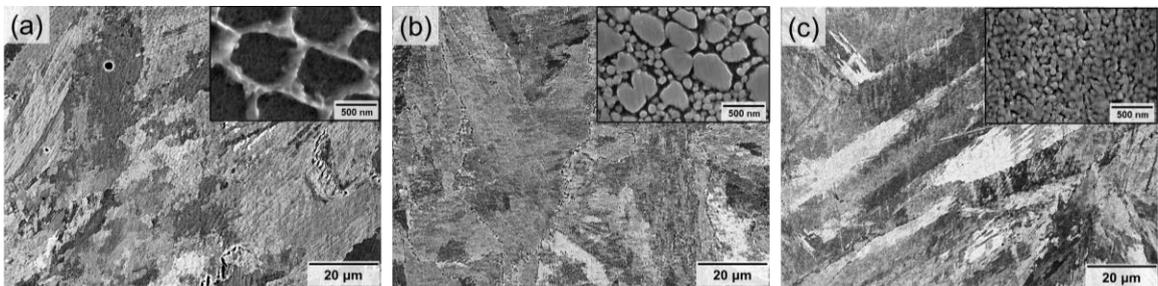


Figure 2 Microstructure of SLMed IN738LC; (a) as-built, (b) fully hardened, and (c) Direct aged.

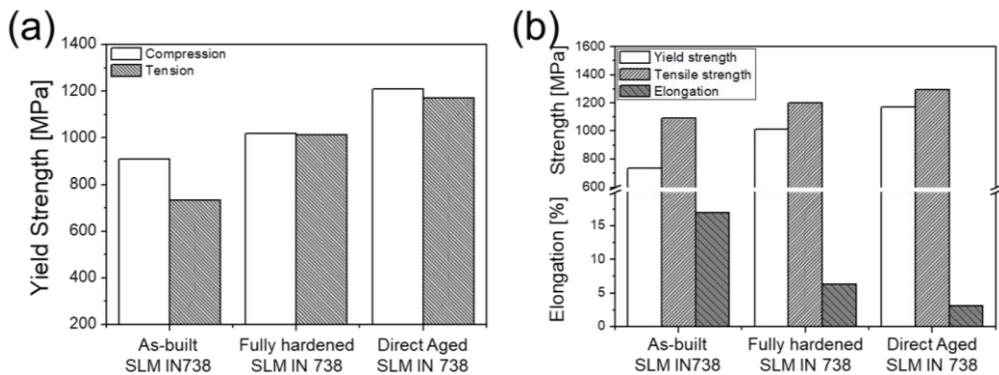


Figure 3 Mechanical properties of SLMed IN738LC; (a) yield strength asymmetry and (b) tensile properties.

Cr-Mn-Fe-Co-Ni계 컴플렉스 과고용 합금의 변형 기구 변화에 따른 성형능 평가

예정원¹, 김찬양¹, 이명규¹, 박은수[#]

Formability of Cr-Mn-Fe-Co-Ni Complex Concentrated Alloys with different deformation mechanism

Jeongwon Yeh, Chanyang Kim, Myoung-Gyu Lee, Eun Soo Park

Abstract

일반적으로 성형능은 높은 강도와 커다란 연성을 보이는 재료가 우수하다고 알려져 있지만 Twinning induced plasticity(TWIP) steel의 경우 파단 직전 necking이 일어나기 때문에 다른 재료들에 비해 높은 강도와 연성을 가지고 있음에도 불구하고 비교적 낮은 성형능을 보인다. 따라서 구조 소재로써 실제 활용되기 위해서는 강도와 연성 이외에도 성형능을 평가하는 것을 필요로 한다. 최근 다수의 주 원소를 가지는 컴플렉스 과고용 합금 (혹은 하이엔트로피 합금)은 격자 비틀림 효과와 그에 따른 solid solution strengthening 효과로 인해 기존의 상용 합금 대비 높은 강도와 연성을 포함하여 우수한 기계적 물성을 갖기 때문에 차세대 합금으로 상당한 주목을 받고 있다. 따라서 본 연구에서는 열역학적 계산을 통해 적층결함에너지를 제어하여 dislocation gliding (Cantor), twinning induced plasticity (TWIP), transformation induced plasticity (TRIP), transformation assisted dual phase (TADP) 와 같이 서로 다른 변형 메커니즘을 갖는 조성을 설계하였고, 각 조성의 기계적 특성과 성형능을 평가하고, 이들 합금에서 변형 기구변화가 재료의 성형능에 미치는 영향을 체계적으로 규명하고자 하였다.

Keywords : Formability, Complex concentration alloy, Deformation mechanism, Forming limit diagram, Limit dome height test

1. 서론

컴플렉스 과고용 합금 (Complex concentrated alloy, CCA)은 높은 응력과 고온 환경과 같은 극한 환경에서 기존의 상용 합금 대비 높은 강도와 연성을 포함하여 우수한 기계적 특성을 갖기 때문에 새로운 구조 재료로 각광받고 있다 [1]. 하지만 이러한 신소재가 구조재료로서 사용되기 위해서는 재료의 소성 변형과 밀접한 관계가 있는 성형능 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 FCC CCAs의 변형 기구에 따른 기계적 특성 평가 및 시뮬레이션을 체계적으로 진행하여, 변형 기구가 관련 재료의 성형능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 열역학적 계산을 통해 재료의 적층결함에너지를 제어하여 dislocation gliding (slip), twinning induced plasticity (TWIP), 그리고 transformation induced plasticity (TRIP)와 같이 서로 다른 변형 기구를 갖는 컴플렉스 과고용 합금을 제조하였다. 위 재료에 대한 성형능 평가 방법으로는 Marciniak-Kuczynski(M-K) model을 통한 시뮬레이션과 실험을 통한 forming limit diagram(FLD)의 작도를 통한 비교 및 limit dome height(LDH) 실험과 시뮬레이션을 진행하여 uniaxial 조건과 biaxial 조건에서 각 재료의 성형능 변화를 비교하였다 [2].

뿐만 아니라, Central hole test를 통해 uniaxial strain condition에서의 변형 거동과, Notched test를 통해 판상 성형에서 주된 strain condition인 plane to biaxial strain condition에서의 변형 거동을 비교하여, 변형기구 및 응력조건에 따른 성형능 변화를 체계적으로 고찰하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 우선 Marciniak-Kuczinsky(M-K) model을 사용하여 다양한 변형기구를 가진 FCC CCAs의 FLD를 작도한 결과, CCAs의 성형능이 일축 인장 실험에서의 uniform elongation과 동일한 경향성을 갖는 것을 확인하였으며 TADP>TRIP>TWIP>Cantor 순으로 우수한 성형능을 가지는 것을 예측할 수 있었다. 하지만, LDH 실험을 통해 확인한 결과 상변화 변형 기구를 갖는 TRIP, TADP CCAs의 경우 일축 인장 상태에서의 uniform elongation과 다르게 성형능이 감소하여 TWIP>TRIP>Cantor>TADP 순으로 성형능이 우수한 것을 알 수 있었다.

이러한 현상을 이해하기 위해 판상 성형에서 주된 응력 상태인 plane to biaxial stress condition 구현이 가능한 notched test와 일축 인장 실험에서 주된 응력 상태인 uniaxial stress condition 구현이 가능한 central hole test 후 동일한 변형률 상태에서 변형된 미세구조 분석을 진행하였다. [3]. 이러한 응력 상태 변화에 따른 변형 거동 차이를 이해하기 위해, TWIP CCA에서는 electron channeling contrast image (ECCI) 분석을 진행하여 재료의 가공성을 결정하는 요소인 twinning thickness를 비교하였다. 결과로서 twinning mechanism을 갖는 CCA의 경우 다른 strain condition에서도 비슷한 twinning thickness를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 TRIP, TADP CCAs에서는 electron backscatter diffraction (EBSD) 분석을 진행하여 동일 변형률 하에서 응력상태 변화에 따른 phase fraction을 비교하였다. 위 분석을 통해 상변화 변형기구를 가지는 CCA의 경우 일축 응력 상태에서 이축 응력 상태로 갈수록 상변화 거동이 저하되는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구를 통해 dislocation gliding 혹은 twinning 변형 기구를 갖는 CCA의 경우 응력 상태 따라 성형능에 변화가 없으나, 상변화 기반 변형 기구를 갖는 CCA의 경우 일축 응력 상태에서 이축 응력 상태로 갈수록 상변화 거동이 저하되어 성형능이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 위 결과를 바탕으로 본 연구는 성형능이 최적화된 컴플렉스 과고용 합금의 일반화된 설계의 방법에 관한 가이드라인을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Y. Zhang, Y.J. Zhou, J.P. Lin, G.L. Chen, P.K. Liaw, Solid-solution phase formation rules for multi-component alloys, *Advanced Engineering Materials* 10(6) (2008) 534-538.
- [2] C. Ten Broek, H. Singh, M. Hillebrecht, *Lightweight design for the future steel vehicle*, *Auto Tech Review* 1(11) (2012) 24-30.
- [3] J. Schey, Surface preparation for the LDH test, *Journal of Materials Shaping Technology* 6(2) (1988) 103-111.

1. 서울대학교 재료공학부

박은수: 서울대학교 재료공학부, 정교수. E-mail: espark@snu.ac.kr

3차원 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 활용 Stellite21 초합금 적층시 열전달 특성분석

이광규¹·이민규²·안동규[#]

A Study on Heat Transfer Characteristics for the Deposition of Stellite21 by DMT Process Using Finite Element Analysis

K. K. Lee¹, M. G. Lee², D. G. Ahn[#]

Abstract

레이저 직접 금속 조형(Laser-Aid Directed Metal Tooling, DMT) 공정은 레이저에 의한 국부적 금속 가열 및 냉각과 같은 급격한 열 이력에 의해 변형 및 잔류응력이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 적층 공정에서의 열전달 특성을 고찰할 필요가 있다. 본 연구에서는 DMT 공정을 이용하여 S45C 강 위 Stellite 21 소재 적층시 열전달 특성을 3차원 열전달 유한요소 해석을 통해 고찰하고자 한다. DMT 공정을 이용하여 단일, 이열 및 다열 적층 시편을 제작하고 후처리 과정을 통해 비드 형상 및 열 영향부(Heat Affected Zone, HAZ) 데이터를 도출하였다. 도출된 비드 형상 및 상용 소프트웨어인 SYSWELD 를 이용하여 3차원 유한요소 해석 모델을 생성 하고 온도 의존 물성 데이터, 강제대류 및 자연대류를 적용하였다. 레이저 열원은 3차원 이동 체적 열원으로 가우시안 분포를 가지며 TEM₀₀ 로 가정 하였다. 단일 비드 해석을 통해 열원의 형상 및 효율을 도출하였다. 이열 비드 해석을 통해 적층간 시간 간격에 대한 영향성과 열원의 효율 변화에 대한 고찰을 진행하였다. 다열 비드 해석을 통해 적층 경로에 따른 열전달 특성을 분석하였다. 해석 결과를 이용하여 Stellite21 분말 적층시 공정 조건에 따른 3차원 열전달 특성 변화에 대해 고찰하였다.

Key Words : Finite element analysis , DMT process, Stellite 21, Characteristics of heat transfer

후기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2019R1A2C1006741).

1. 조선대학교 일반대학원 기계공학과, 대학원생
2. 한국생산기술연구원 대경지역본부, 연구원
교신저자: 조선대학교 기계공학과, 교수. E-mail: smart@chosun.ac.kr

6. 일반 논문 발표

압출 및 인발, 압연
(제 5 발표회장)

잔류 응력 편차 저감을 위한 MRD 설계 및 적용

백창현¹, 김정훈², 고대철^{3,#}

Design and application of MRD to reduce residual stress deviation

C. H. Baek, J. H. Kim, D. C. Ko

Abstract

In this study, the drawing process using Multiple Reduction Die(MRD) was introduced. A die set of the MRD consists of several die tips and lubrication equipment between die tips. For the drawing using conventional dies in tandem, the deliberate application of back-pull can contribute to the improvement of die life and reduction in die load. However, it was not possible to lubricate between the tips, so that lubrication was possible by using lubrication equipment. When lubrication is possible between the tips, it reduces the drawing load. In the drawing process, the die design is required because the residual stress is different depending on the reduction of the tip. Therefore, finite element analysis was performed according to the reduction ratio. In order to prove the performance of residual stress and drawing load, MRD drawing process was compared with single die drawing process at the same total reduction area. The result indicated that the residual stress deviation and drawing load of drawing process with MRD are reduced than those of drawing with single die. Finally, the deviation of residual stress was evaluated from result of experiments

Key Words : Drawing process, Tandem, Residual stress, Multiple Reduction Die (MRD).

후 기

본 연구는 2019년도 중소벤처기업부의 수출기업기술개발사업(S2610408)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(No.2019R1A5A6099595)의 지원을 받아 수행된 연구임.

1, 2. 부산대학교 기계공학부

3. 부산대학교 융합학부

Corresponding Author : Graduate School of Convergence Science, Pusan National University, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

유한요소해석 기반 FCC계 냉간 인발 고엔트로피 합금의 변형률 예측 및 검증

조한솔¹· 배성준¹· 나영상¹· 이동근²· 이광석[#]

Prediction and Verification of Strain Evolution on FCC-based Cold-drawn High Entropy Alloy via Finite Element Analysis

H.S. Cho, S.J. Bae, Y.S. Na, D.G. Lee, K.S. Lee

Abstract

In this study, the evolution of strain during cold drawing for a face-centered cubic (FCC) based $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ high entropy alloy (HEA) was investigated. Changes in strain during cold drawing of the adopted HEA was first predicted and verified by means of finite element analysis (FEA). The effective strain was expected to increase from the center of the wire to the surface. However, since the shear strain is affected by the reverse shear strain, a transition behavior at a critical strain value was expected. HEA wires were also fabricated by multi-step cold drawing in order to analyze microstructural evolution and mechanical properties. Abundant nano-scale deformation twins were observed in the region subject to high effective strain, which might act as the main strengthening mechanism of the $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ HEA wire.

Key Words : High entropy alloy, Cold-drawing, Finite element analysis, Nano deformation twin

1. 서론

FCC계 고엔트로피 합금은 독특한 메커니즘을 기반으로 극저온에서의 기계적 특성이 우수해 최근 각광받고 있는 소재로 압연, 압축 같은 다양한 성형 공정을 통한 scale-up 연구가 보고되고 있다[1]. 하지만 인발 공정 적용 장선재 제조 사례는 미흡하며, 일부 기존 보고된 고엔트로피 합금 인발은 열간 성형 공정이 적용되었다[2]. 이에 본 실험에서는 유한요소해석을 통해 냉간 인발 고엔트로피 합금 선재의 위치별 변형률을 예측하였고, 실제 몇몇 선재를 제조해 예측 결과와 비교 분석을 하였다.

2. 실험방법

주조시 FCC 단일구조인 $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ 고엔트로피 합금의 다단 냉간 인발 공정을 유한요소해석을 통해 모사하였으며, 이 때 인발 패스당 단면감소율은 9.75%로 일정하게 진행하였다. 단면감소율이 10%, 80%, 96%(R10, R80, R90)일 때의 위치별 변형률을 예측하였고 해석 결과를 검증하기 위해 실제 실험을 통해 장선재를 제조하였다. 전계방사형 주사전자현미경과 구면수차보정 투과전자현미경을 통해 미세조직과 집합조직을 관찰하였으며, 선재의 기계적 물성은 위치에 따른 마이크로 경도 측정과 인장시험을 통해 평가하였다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 순천대학교 신소재공학과

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소

E-mail: ksl1784@kims.re.kr

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 유한요소 해석 결과 단면 감소율에 따른 변형률 변화 예측 결과이다. 위치별 유효 변형률(effective strain)은 인발 다이스와 직접적으로 맞닿는 표면부에 가까울수록 크게 예측되었으며, 단면 감소율이 증가함에 따라 변형률도 증가하였다. R10의 전단 변형률(shear strain)은 역 전단 변형률(reverse shear strain)에 의해 표면부에서 소폭 하락하였으며[3], 역 전단 변형률이 큰 R80과 R96은 표면 전단 변형률이 급격하게 감소하였다. 이러한 거동 변화는 복합적인 요인이 작용할 것으로 예상되나 유효 변형률이 기인해 임계 유효 변형률(critical effective strain)을 기점으로 거동 변화가 발생하는 것으로 판단된다.

미세조직 관찰 결과, 유효 변형률이 큰 영역일수록 다수의 나노 변형 쌍정과 결정립 미세화 현상이 관찰되었으며, 선재의 경도와 강도 상승에 기여하였다.

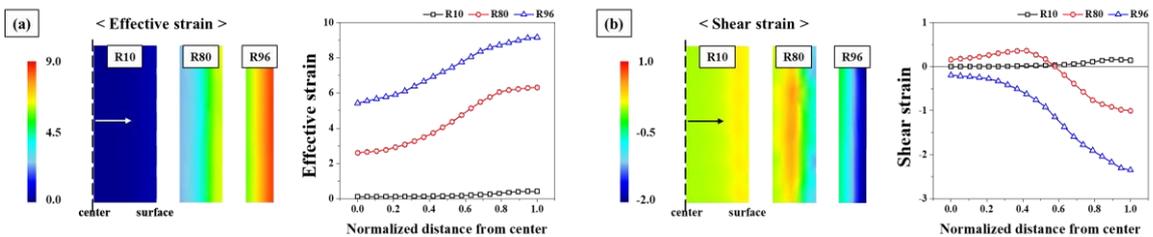


Fig. 1 The variation of (a) effective strain and (b) shear strain by position of cold-drawn wire predicted by finite element analysis

4. 결론

단면 감소율에 따라 고엔트로피 합금 선재의 위치별 변형률이 달랐으며, 미세조직과 집합조직에 영향을 주었다. 또한, 유효 변형률이 크게 예측된 영역일수록 나노 변형 쌍정과 미세한 결정립이 다수 생성되었고 이는 고엔트로피 합금 선재의 주된 강화 기구로 작동하였다.

참고문헌

- [1] B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J.B. Vincent, 2004, Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 375, pp. 213~218.
- [2] D. Li, C. Li, T. Feng, Y. Zhang, G. Sha, J.J. Lewandowski, P.K. Liaw, Y. Zhang, 2017, High-entropy $Al_{0.3}CoCrFeNi$ alloy fibers with high tensile strength and ductility at ambient and cryogenic temperatures, Acta Mater., Vol. 123, pp. 285~294.
- [3] N. Kamikawa, T. Sakai, N. Tsuji, 2007, Effect of redundant shear strain on microstructure and texture evolution during accumulative roll-bonding in ultralow carbon IF steel, Acta Mater., Vol. 55, pp. 5873~5888.

후기

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단-미래소재디스커버리사업(NRF-2016M3D1A1023534)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

해석을 통한 슬라이드 레일의 금형 형상 및 소재 직경 최적화 연구

정선호^{1,2}, 임재혁³, 김용배¹, 최석우¹, 이종섭[#]

Study of optimizing die shape and material diameter in slide rail by FEM

Seon-Ho Jung, Jaehyuk Lim, Yong Bae Kim, Seog Ou Choi, JongSup Lee

Abstract

The slide rail has been widely used in furniture, refrigerators, storage drawers, and so on. In the case of a product such as a slide rail having a complicated shape and requiring high precision forming, a standard is necessary for optimized for die shape and material diameter. This paper proposes a means to minimize the width spread and underfilling during shape rolling process for the slide rail. In order to apply with the large deformation of the material, the compression test was conducted. Also, FEM was performed to investigate the effect of process on width spread and underfilling such as die shape and material diameter. As a result, to prevent width spread and underfilling, distributing the deformation amount of material or using parting line of die shape are required.

Key Words: Slide rail, Shape rolling, Die shape, Width spread, Underfilling

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 형상제조연구부

2. 인하대학교 기계공학과

3. 성균관대학교 기계공학부

교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 형상제조연구부 E-mail: jongsup@kitech.re.kr

NbTi소재를 이용한 초기 공정 온도 및 변형량에 따른 초전도 특성에의 영향

문인용 · 김희락 · 이호원 · 오영석 · 김세종 · 정재면 · 강성훈[#]

Effect of initial process temperature and strain on superconducting properties using NbTi material

I. Y. Moon, H. R. Kim, H. W. Lee, Y. S. Oh, S. J. Kim, J. M. Jung, and S. H. Kang

Abstract

본 연구에서는 초전도 Nb-46.5wt % Ti 재료를 사용하여 초기 공정 온도 및 변형이 미세 구조 및 임계 전류 밀도에 미치는 영향을 분석하였다. 일반적으로, NbTi 재료에 분포된 α -Ti상은 flux pinning center로 작용하여 임계 전류 밀도를 향상시키는 것으로 알려져 있다. α -Ti상은 열처리를 통하여 결정립계 및 triple point에서 석출되며, 이러한 현상은 초기 공정 조건에 의해 크게 영향을 받는다. 따라서, 임계 전류 밀도에 대한 초기 NbTi 미세 구조의 영향을 분석하기 위해, 변형률 2를 갖는 NbTi 빌렛을 반복적인 열간 압연 공정을 통해 제작하였으며, 이후 형압연, 인발, 그리고 중간 열처리를 통해 최종 모노 와이어를 제작하였다. 제조된 NbTi 모노 와이어의 미세 구조 및 임계 전류 밀도를 측정하였으며, 측정 결과를 이전 논문과 비교하였다. 그 결과, 초기 공정에서의 공정 온도가 초전도 특성을 개선시키는 데 중요한 역할을 한다는 것을 밝혀내었다.

Key Words: Nb-46.5wt%Ti, Monowire, Critical current density, Superconducting, Microstructure.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: kangsh@kims.re.kr

7. 일반 논문 발표

플라스틱, 금형가공
(제 5 발표회장)

마이크로-나노 계층 구조의 마이크로 웰 어레이 성형을 통한 국부적 표면 플라즈몬 공명 바이오 센서 플랫폼 개발

김동현¹ · 엄태국¹ · 강신일[#]

Forming of a micro-nano hierarchical microwell array as a localized surface plasmon resonance biosensor platform

D. H. Kim, T. G. Um, S. I. Kang

Abstract

This paper described a nano-island coupled label-free microwell array was proposed as a localized surface plasmon resonance (LSPR) protein biosensor that allows mass-production at low cost. The proposed slide glass size LSPR biosensor chip was composed of 16 chamber sections, 13 x 13 microwells in each chamber section and Ag deposited nanoholes at the bottom of each microwell. The antibody could be spotted into the microwell which can minimize the cross-contamination and allow the accurate positioning of antibody. The LSPR generated by the Ag nano-islands at the bottom of microwell was used for detection of antibody-antigen reaction

Key Words : Localized surface plasmon resonance(국부적 표면 플라즈몬 공명), Hierarchical structure(계층 구조), microwell(마이크로 웰)

1. 서론

최근 생명공학과 나노 기술이 융합된 나노 바이오 기술의 발전과 더불어 실시간, 고감도 진단을 위한 바이오 센서에 대한 연구가 빠르게 진행되고 있다. 이에 따른 질병의 조기 진단이란 광범위하게는 체내에서 질병의 발현이 일어나기 전에 진단하는 것으로 체액 또는 체취 중에 존재하는 소량의 바이오 마커를 검출함으로써 가능하다.

하지만 현재까지는 단백질의 상호작용 분석을 위한 검지 기술은 빠른 시간 내에 정확하게 분석하는 기술을 필요로 하는 센서의 요구를 충족시키지 못하고 있다. 단백질의 상호작용을 분석하기 위한 측정 시스템으로서 형광 물질의 이용을 통한 표지식 방식이 대중적으로 사용되고 있으나, 각기 다른 형상과 특징을 지닌 단백질의 다양한 종에 형광물질을 부착하는 것은 매우 큰 어려움이 있는 실정이다.

표지 방식이 지니고 있는 단점의 해결을 위하여 본 논문에서는 Localized surface plasmon resonance (LSPR)방식을 통하여 나노 그레이팅 표면에서의 생체 물질 간 결합에 의해 발생하는 두께 및 굴절률의 변화를 감지하는 광학적 비 표지식 검지 기술에 대하여 연구하였다. 또한 바이오 센서에 마이크로 웰 어레이 타입을 적용하여 다양한 종의 단백질을 작은 센서 상에서 동시 다발적으로 분석 및 주변 마이크로 웰 간의 상호간 오염을 최소한으로 방지할 수 있도록 제작하였다.

2. 실험방법

본 논문에서는 마이크로 어레이 바이오 센서의 제작에 앞서 Localized surface plasmon resonance (LSPR)의 효과를 위하여 나노 그레이팅 패턴을 사전에 설계하였다. 나노 그레이팅 구조의 설계

1. 연세대학교 기계공학과

강신일: 연세대학교 기계공학과, 교수

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

는 공진 반사가 일어나는 파장보다 작은 주기를 갖는 구조로 설계되었으며, 광원이 입사되었을 때, 좁은 피크의 스펙트럼 대역폭을 형성하도록 설계되기 위하여 Rigorous Coupled Wave Analysis(RCWA) 기반의 시뮬레이션을 통하여 나노 그레이팅의 구조를 설계 및 분석하였다.

국부적 표면 플라즈몬 공명효과는 외부 자극에 의해 전자의 방출이 쉽고 음의 유전상수를 갖는 금속들이 주로 사용되는데, 본 논문에서는 은(Ag)을 사용하여 진행하였다. 또한 본 연구는 나노 그레이팅 표면에 TM(Transverse magnetic) 편광된 빛이 수직으로 입사되도록 하는 방식을 통해 기존 경사 입사 방식과는 다르게 전체 실험 시스템의 volume을 최소화시킬 수 있도록 진행하였다.

다음으로는 마이크로 웰의 설계를 하고자 한다. 바이오 센서의 특성상 생체 물질 간의 충분한 반응이 일어나기 위해서는 상당히 오랜 시간이 소요된다. 하지만 어레이 형태로 센서를 개발 및 제작하게 된다면 많은 양의 다양한 질병을 하나의 센서 상에서 분석하는 것이 가능하며, 이로 인해 발생하는 시간 및 비용적 절감 효과는 매우 크다고 볼 수 있다. 마이크로 웰 사이즈는 광학 측정 시스템의 분석 가능한 최소 시료의 부피를 고려하여 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

생체 물질간의 반응을 확인하기 위하여 만들어진 마이크로-나노 계층 구조 바이오 센서 위에 은(Ag)을 증착하였으며, 센서 표면에 항체에 해당하는 Anti-cTnT(Anti-Cardiac Troponin T antibody)의 부착이 요구된다. 따라서 글리신(Glycine)용액과 반응 시킴으로써 항체에 강한 결합 특성을 갖는 반응기의 형성이 될 수 있도록 처리하였다. 처리 후 반응기가 형성된 센서 표면 위에 항원 cTnT(Cardiac troponin T)을 결합시키는 반응을 진행하였다.

항원 항체 생체 물질간 반응을 측정한 결과 상호 간 결합에 의해 발생하는 피크 스펙트럼의 이동을 확인할 수 있었다. 이는 항원과 항체 간의 결합에 의해 나노 그레이팅 표면의 두께 및 굴절을 변화에 따른 것으로 생체 물질 간의 반응이 일어났음을 검증하였다.

4. 결론

본 논문에서는 바이오 센서가 고감도 측정으로 활용되기 위하여 좁은 피크 스펙트럼 대역폭을 형성하는 최적의 나노 그레이팅 패턴을 설계하였다. 또한 각 검지 영역 간 오염을 최소한으로 하기 위하여 마이크로 웰 타입 패턴을 설계하여 적용하였다. 또한 실리콘 마스터를 이용하여 UV 임프린팅 공정을 통해 폴리머 마스터를 제작하였고, 이로 인해 실리콘 마스터의 손상없이 바이오 센서를 저렴한 방법으로 제작할 수 있다. 복제된 바이오 센서의 성능을 평가하기 위하여 광학 측정 시스템을 구성하고, 이를 통해 피크 스펙트럼의 생성 및 항원 항체 간의 결합에 의한 피크 이동을 확인하였으며 센서 어레이의 여러 단위 측정 영역에서의 피크의 양상 및 피크 이동량의 유사성을 확인함으로써 바이오 센서로서의 이용 가능성을 검증하였다.

5. 후기

이 논문은 2015 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2015R1A5A1037668).

참고문헌

- [1] Cho, E., Shin, R., Shim, J., Jung, H. I., & Kang, S. ,2014. "Label-free detection of protein-protein interactions on multi-scale micro-well arrays using spatial light modulator", Appl. Phys. Lett, Vol. 105, No. 23, pp.231113
- [2] Cho, E., Choi, S., Shim, J., Kim, T., Shin, R., Lee, J & Kang, S. ,2016, "High-throughput detection of human salivary cortisol using a multiple optical probe based scanning system with micro-optics and nanograting coupled label-free microarray", Sens. Actuators B Chem., Vol.233, pp.520-527.

Joule-Thomson 효과를 이용한 금형 급속 냉각시스템 개발의 기초연구

김미진¹ · 김진수² · 이병욱² · 최재혁^{1#}

Basic Research of the Rapid Mold Cooling System Development using Joule-Thomson Effect

M. J. Kim, J. S. Kim, B. O. Rhee, J. H. Choi

Abstract

The cooling process takes more than half of the production time in general injection molding, so shortening the cooling time is directly related to productivity improvement. In this research, a basic study was conducted to verify a mold cooling system using the Joule-Thomson effect of CO₂ to shorten the cooling time. It is well known that if the Joule-Thomson effect of CO₂ is utilized, the temperature can be reduced from -50°C to -60°C in few seconds. To verify this, a thermocouple integrated rectangular specimen was suggested and CO₂ was sprayed directly on the surface to observe the temperature change. After processing two fine holes on the surface of the specimen, the thermocouple was inserted into the hole and welded to produce a thermocouple integrated rectangular specimen. Finally, considering the application of molds, the wall thickness varies depending on the shape of the product, so the applicability to any thickness was reviewed through regression analysis of the measured data.

Key Words : Injection Mold Cooling, Joule-Thomson Effect, CO₂ Cooling

1. 서론

사출성형 공정은 짧은 시간에 대량의 제품을 생산하는데 강점이 있는 공정인데 제품 생산시간의 절반 이상을 냉각과정에서 소모한다. 따라서 제품 생산시간을 감소시키기 위해선 냉각시간을 단축시키는 것이 중요한 문제이다. 기존의 냉각시간을 단축시키는 방법은 주로 냉각회로의 최적설계에 관한 내용이었다. 그러나 냉매가 물을 사용하므로 일정온도 이하로는 낮추기가 어렵다. 이를 보완하고자 개발된 방법이 CO₂의 Joule-Thomson 효과를 이용한 급속 냉각 시스템이다. 압축된 기체가 단열 처리된 좁은 통로를 통과할 때 기체가 급작스레 팽창함과 동시에 흡열반응을 일으켜 토출부에서 온도가 급격히 낮아지는데 이를 Joule-Thomson 효과라고 하며 냉장고, 에어컨 등의 냉난방기기에 다양하게 활용되고 있다.

하지만 사출금형에 적용시킨 후 금형 냉각 목적으로 수행한 연구 결과는 전무하며 보조 연구로 활용된 사례는 존재한다. 본 연구에서는 CO₂의 Joule-Thomson 효과에 의한 금형 냉각 성능을 정확하게 평가하기 위해 열전대가 일체화된 사각시편을 두께 2t, 4t, 6t로 제작하였고 급속 냉각 시스템도 간단히 구성하여 직접 분사를 진행하였다. 열전대를 일체화 시킨 이유는 열전대를 금속 표면에 부착할 경우 접촉저항으로 인한 정확한 온도 측정이 어렵기 때문이다.

두께 별 측정된 온도데이터는 Python을 이용 Curve fitting을 수행하여 시간에 따른 온도 변화를 수학적식으로 근사화 하였다. Curve fitting에 사

1. 광주대학교 기계·금형공학부

2. 아주대학교 기계공학과

교신저자: 광주대학교 기계·금형공학부

E-mail: jhchoi@gwangju.ac.kr

용된 수식은 열전달 과정이므로 지수함수를 사용했고 두께 변화에 따라 함수를 구성하는 각 계수의 변화도 분석하여 추 후 임의의 두께에서도 본 냉각방법을 적용이 가능한지 검토도 진행하였다.

2. 실험방법

액화 CO₂가 들어있는 고압의 봄베에 전자식 밸브를 장착한 후 시간을 제어할 수 있도록 터치패널을 부착하여 간이형 급속 냉각 시스템을 제작하였다. 제작된 장비에 1/16” 직경의 모세관을 연결하여 열전대가 일체화된 사각시편에 직접 CO₂를 10초 동안 분사하여 온도변화를 관찰하였다. 측정에 사용된 열전대는 K-type이며 데이터 수집 장비로는 LabVIEW의 DAQ8205 시스템을 사용하였다. 사각시편은 100x100mm 크기로 두께에 따라 2t, 4t, 6t로 선정하였고 사각시편의 중심부에 0.1φ 구멍을 0.2mm간격으로 가공한 후 열전대를 삽입하여 레이저 용접 후 표면을 연마하여 열전대 일체형 사각시편을 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

두께 변화에 따른 온도 측정 결과와 각각의 결과를 Python을 이용 지수함수 형태로 Curve fitting 한 결과를 Fig. 1의 좌측 하단에 나타내었다. 모든 Curve fitting은 R² 값이 0.95 이상으로 유의미함을 확인할 수 있었다. 또한 각 함수들에서 지수의 계수 값이 그래프의 기울기를 결정하는데 두께가 두꺼워질수록 값이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 현재의 실험 결과론 두께가 약 8t를 넘어가면 계수 값이 양수로 변해 그래프가 상승하는 형태가 도출되므로 적용하기 어렵다는 결론이 도출되었다.

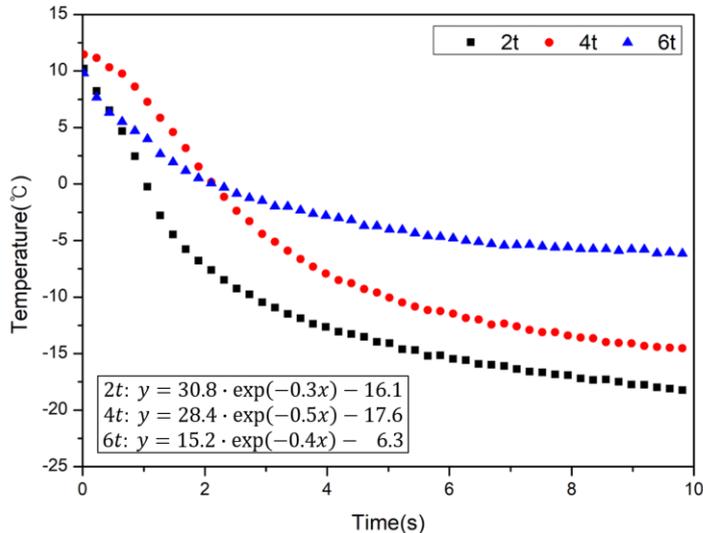


Fig. 1 Temperature measuring data including the curve fit equation

4. 결론

본 연구에서는 사출금형에 급속 냉각시스템 적용을 위한 기초 연구를 수행하였다. 사각시편에 열전대를 일체화 시켜 측정 정확도를 높였고 두께를 변수로 총 3개의 시편에서 온도 변화를 관찰하였다. 또한 측정 결과를 분석하여 최대 적용 가능한 두께 약 8t를 도출하였다.

이중관 액압성형 기술을 이용한 내부파형을 갖는 관재부품 제작

한상욱¹, 문영훈[#]

Double Layered Tube Hydroforming for Manufacturing Tubular Products having Corrugated Internal Shape

S. W. Han, Y. H. Moon

Abstract

Tube hydroforming is forming process that utilizes high internal hydraulic pressure and additional axial feeding loads to plastically deform a tubular material into a desired shape having complicated cross-sectional profiles. This study proposes an innovative hydroforming process for the cost-effective manufacturing of double layered tube having corrugated internal shape. A double layered tube assembly consisting of petal forming bars and bar holders was devised to efficiently fabricate a double tube with various complicated shapes. The feasibility of the proposed double layered tube hydroforming process was estimated by the cross-sectional profiles of double layered complicated tubes. The results of the cross-sectional profile demonstrate the validity of the proposed double layered tube hydroforming process and show sufficient applicability to high-efficiency tubular products.

Key Words : Hydroforming, Double layered tube, Cross-sectional profile

1. 서론

액압성형 (hydroforming)은 성형재 내부에 액압을 가하여 복잡한 형상을 한번의 공정으로 성형할 수 있는 기술로써, 제품의 강성 증가, 국부적 확장 가능, 일체화를 통한 기밀성 유지, 부품 간소화에 의한 경량화 등의 장점을 가지고 있어 다양한 산업분야의 관재 부품으로 활용되고 있다[1]. 최근에는 고효율, 다기능성을 요구하는 추세에 부합하기 위해 이중 또는 삼중으로 체결한 다중관에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 다중관은 제한된 특성을 갖는 단일관에 비해 복합적인 특성을 갖는 관재 부품 제조가 가능하다. 본 연구에서는 내부파형을 갖는 이중관을 효율적으로 생산할 수 있는 액압성형 공정을 제안하였다. 내부파형을 갖는 이중관의 원활한 생산을 위해 이중관 조립체를 고안하였으며, 단면 분석을 통해 제안된 장치의 타당성과 복합 형상 이중관의 건정성을 평가하였다.

2. 내부파형을 갖는 이중관 제작

내부파형을 갖는 이중관을 제작하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 이중관 성형을 위한 금형구조를 설계하였다. 이중관 조립체는 내부튜브, 외부튜브, 파형 성형바, 바홀더로 구성되어 있다. 파형 성형 바는 액압성형 공정동안 오직 내부튜브만 파형 형상을 갖도록 확관을 유도하는 역할을 하며, 외부튜브와 내부튜브 사이에 배열된다. 바 홀더는 파형 성형바의 배열을 유지해 주는 역할을 한다.

1. 부산대학교, 박사과정

교신저자: 부산대학교, 교수, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

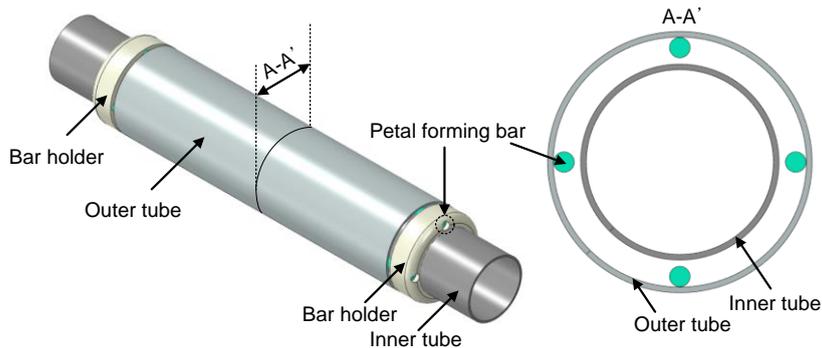


Fig. 1. Schematic illustration of double layered tube assembly

3. 결과 및 고찰

Fig. 2 에 액압 성형된 이중관의 단면을 나타내었다. 단면 프로파일을 통해 확인할 수 있듯이 제안된 이중관 조립공정을 통해 내부파형을 갖는 형상을 갖는 이중관을 성공적으로 제작하였다. 본 연구에서 제안된 이중관 조립공정은 가능한 높은 접착효율을 요구하는 열교환용 튜브부품 등에 활용 가능할 것으로 예상된다.

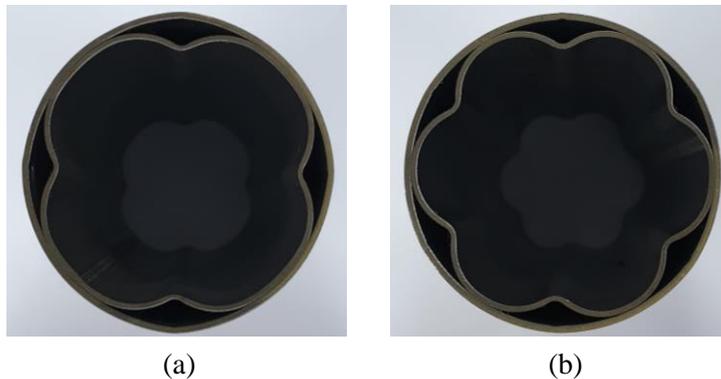


Fig. 2. Cross-sectional profiles: (a) 4-Petal shape and (b) 6-Petal shape

4. 결론

본 연구에서 내부파형을 갖는 이중관을 효과적으로 생산할 수 있는 액압 성형공정을 제안하였으며 단면 프로파일의 평가를 통해 제안된 공정의 타당성을 검증하였다.

후기

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2019R1A6A3A13096271)

참고문헌

[1] J. Y. Park, S. W. Han, H. S. Jeong, J. R. Cho, Y. H. Moon, 2017, Advanced sealing system to prevent leakage in hydroforming, J. Mater. Process. Technol. Vol. 247, pp.103-110.

8. 일반 논문 발표

박관성형
(제 6 발표회장)

새로운 이방성 경화 복합 항복 함수 개발 및 FCC, BCC 합금으로의 적용

후퀴¹·윤정환[#]

A new coupled yield criterion with anisotropic hardening and its applications to FCC and BCC alloys

Q. Hu¹, J.W. Yoon[#]

Abstract

A new anisotropic yield criterion based on associated flow is constructed by coupling Poly4 yield criterion and non-quadratic yield criterion, which can accurately predict the directional hardening and r-values. To express the parameters in this yield criterion, four hardening curves along 0, 45, 90 and biaxial directions and r-values r_0 , r_{45} , r_{90} and optionally r_{30} and r_{60} are adopted. All of the coefficients are determined analytically without any optimization process. The modified Voce hardening law is used to fit the four hardening curves along 0, 45, 90 and biaxial directions. The effectiveness and accuracy of a new coupled yield criterion is verified with various FCC and BCC alloys. The initial yield loci predicted from this analytical yield criterion and Yld2000-2d are very close each other. With increasing equivalent plastic strain, the accuracy of the predicted hardening behaviors from the proposed yield function is superior to that of Yld2000-2d. The evolution of yield loci, uniaxial yield stresses and r-values can be accurately predicted without optimization process and interpolation method. Besides, the r-value profiles predicted from the analytical yield criterion remains the same throughout the loading history when the constant r-values are used. It has been found that anisotropic hardening for both FCC and BCC alloys can be accurately predicted by the new yield criterion.

Key Words : Yield criterion, Associated flow rule, Analytical, Anisotropic hardening

1. Department of Mechanical Engineering, KAIST, postdoctoral fellow

Corresponding Author: Department of Mechanical Engineering, KAIST, Professor

E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

금속 소성학을 위한 머신러닝 기반 구성모델

장동필¹ · 피에만 파질리¹ · 윤정환[#]

Machine Learning-Based Constitutive Model for Metal Plasticity

D. P. Jang, P. Fazily, J. W. Yoon

Abstract

This research aims to propose a machine learning (ML)-based constitutive model to predict elastoplastic behavior for metal plasticity. An artificial neural network (ANN) was constructed to replace the conventional theoretical constitutive model based on J2 plasticity, isotropic hardening, and associated flow rule. The training dataset required for the ANN Model was numerically generated based on the theoretical return mapping scheme in the principal stress space. After suitable training, the ML-based constitutive model was implemented in Abaqus User MATerial (UMAT) and its performance was distinguished. In this account, a single element and tensile test simulation were applied to examine the accuracy of the ANN-based model. While a circular cup drawing simulation was applied to predict the cup profiles and compare them with that to conventional J2 plasticity. It was concluded that the simulation results predicted from the ANN-based model show good agreement with those from the conventional J2-based constitutive model. Also, based on simulation time, the ANN-based model comparatively shows better computational efficiency.

Key Words: J2 plasticity, Machine Learning, Deep Learning, Artificial Neural Network, Constitutive Model, Finite Element Analysis

1. Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science & Technology, Graduate Student
Corresponding Author: Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science & Technology, Professor.
Email: j.yoon@kaist.ac.kr

전산 속도가 향상된 결정 탄점소성 모델 개발과 유한 요소 해석을 통한 검증

전보혜¹, 정영웅[#]

Abstract

HEM (homogeneous effective medium) 기반의 결정 소성 모델은 결정 구조와 집합 조직에 의해 발현하는 재료의 이방성을 설명하는데 널리 쓰인다[1]. 특히, VPSC 모델은 전위기반의 경화 거동과 소성 변형 기구의 활동성에 기인하여 나타나는 집합조직의 발달을 해석하는데 널리 쓰이고 있으며 그 범용성으로 말미암아 소성 가공성, 다축 인장 거동 등 다양한 기계 물성 변화에 대한 예측 정확성이 널리 검증되었다. 하지만 VPSC 모델은 결정의 점소성 거동만을 가정하여 재료의 탄성 거동을 설명할 수 없고, 편차 응력에 기반한 공식화로 인해 각 결정립의 탄성 변형 분포 경향을 내포하는 회절 패턴 실험 데이터를 해석하는데 한계가 있다. 다양한 결정 탄소성 모델이 제안되어 왔으나, VPSC에 비해 낮은 전산 효율성을 가져 유한 요소 시뮬레이션으로 활용하기에 적절하지 않다. 이를 보완하고자 탄점소성 단결정 구성 방정식을 응력 증분 (incremental stress)에 대해 근사한 풀이법이 Δ VPSC 모델 개발로 이어졌다[2]. Δ VPSC 모델은 종전의 유사한 결정 탄소성 모델과 마찬가지로 원활한 탄소성 전이, 집합조직 예측 능력 및 내부 응력 분산 해석 등 VPSC 모델의 고유한 해석 능력을 이어받는 한편, 한층 개선된 전산 효율성과 수치 안정성을 보인다. 해당 모델은 최근 상용 유한요소 사용자재료 (UMAT) 서브루틴으로 개발되었다. 본 발표에서는 Δ VPSC의 유한요소 시뮬레이션 적용에 대한 다양한 검증 결과를 다루고자 한다.

Key Words: 결정소성; 유한요소; 구성방정식; 이방성; 집합조직

참고문헌

[1] R.A. Lebensohn, C.N. Tomé, A self-consistent anisotropic approach for the simulation of plastic deformation and texture development of polycrystals: Application to zirconium alloys, *Acta Metall. Mater.* 41 (1993) 2611–2624. doi:10.1016/0956-7151(93)90130-K.

[2] Y. Jeong, C. N. Tomé, An efficient elasto-visco-plastic self-consistent formulation: Application to steel subjected to loading path changes, (submitted for publication)

1. 창원대학교 신소재공학부 신금속재료공학전공, 전보혜
교신저자: 창원대학교 신소재공학부, 교수, 정영웅, yjeong@changwon.ac.kr

인자분석을 통한 주요 설계변수에 따른 볼트홀 성형성 평가

장인제^{1,2}, 배기현^{1,#}, 송정환¹, 이종섭¹, 박남수¹, 최석우¹, 정세환³, 이희종³

Evaluation of Bolt Hole Formability Based on the Parametric Analysis

I. J. Jang, G. H. Bae, J. H. Song, J. S. Lee, N. Park, S. Choi, S. H. Jeong, H. J. Lee

Abstract

The current study is concerned with the formability analysis of the bolt hole based on the parametric analysis. As a target material for the analysis, HXKE4K 0.42t mild steel sheet used in general household appliances was selected. Mechanical properties for the sheet metal forming simulation were evaluated by the tensile test and Nakajima test. The formability evaluation of bolt hole was quantitatively conducted based on the simulation result such as the strain distribution and the thinning. Finally, a parametric study was performed to investigate the effect of design parameters in bolt hole shape, a design methodology was proposed to improve the formability of bolt hole.

Key Words : Bolt Hole, Stamping, Formability Analysis

1. 서론

최근 기계적 구조물이 복잡한 형상과 높은 결합력이 요구되어 볼트홀 체결부의 밀폐 성능과 내구성을 확보하기 어려워지고 있지만, 볼트홀 체결부의 설계가 여전히 숙련자들의 경험적 기술에 의존하고 있어 시간과 비용이 증가되는 문제가 발생되고 있다. 따라서 볼트홀 성형성에 영향을 미치는 설계 요인들의 분석을 통한 설계 가이드가 요구되고 있다.

본 연구에서는 볼트홀 체결부의 성형성을 분석하기 위해 설계 요인들간의 인자분석을 수행하였다. 볼트홀 체결부의 성형성은 유한요소법을 활용한 판재 성형 시뮬레이션을 통해 평가하였으며 이를 위한 기계적 물성을 인장시험과 나카지마 실험을 통해 확보하였다. 변형을 분포와 두께 감소율의 시뮬

레이션 결과를 기반으로 정량적으로 볼트홀 체결부 성형성을 평가하였다. 볼트홀 형상 설계 요인들에 대한 인자분석을 수행하여 성형성에 미치는 영향도를 평가하였으며 볼트홀 체결부의 성형성을 향상시킬 수 있는 설계 방안을 제시 하였다.

2. 기계적 물성평가

일반적인 가전제품에 사용되는 HXKE4K 0.42t 연강이 볼트홀 성형성 평가에 사용되었다. 10톤 용량의 MTS810 만능 시험기를 활용하여 ASTM E8M규격에 따라 인장실험을 수행하였으며, ARAMIS 디지털 이미지 상관시스템을 활용하여 변형을 분포를 측정하였다. 인장실험 결과를 활용하여 항복합수 및 경화모델을 구성하였다. 또한 나카지마 실험을 ISO 12004에 따라 수행하여 성형 한계도를 확보하여 성형해석 시뮬레이션의 성형성을 평가하는 기준으로 활용하였다.

3. 볼트홀 성형성 평가

1. 한국생산기술연구원
2. 한양대학교 융합기계공학과
3. LG전자 생산기술원

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: baegh@kitech.re.kr

볼트홀의 성형성에 영향을 미치는 주요 형상치수를 Fig. 1에 나타내었다.

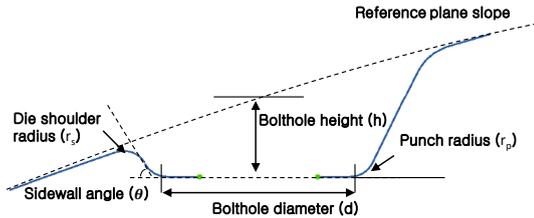


Fig. 1 Schematic diagram of the bolt hole shape and main geometrical parameters.

Autoform R8 을 활용하여 판재성형 시뮬레이션을 수행하였으며 펀치 코너부에 성형이 집중되는 것을 Fig. 2 의 결과를 통해 확인 할 수 있었고, 이를 정량적으로 분석 하기 위해 성형한계곡선과의 거리를 기반으로 하는 d_{FLC} 와 최대 두께감소율을 나타내는 t_{thin} 을 기준으로 성형성을 평가하였다.

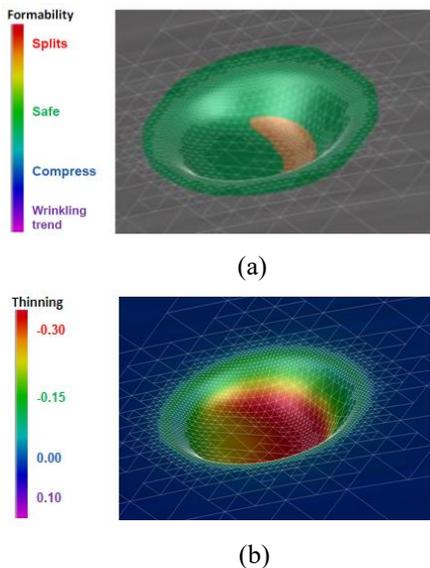


Fig. 2 FE simulation result of the bolt hole forming process: (a) Formability; (b) Thinning
주요 형상치수가 볼트홀 체결부의 성형성에 미치는 영향도를 Fig. 3 에 나타내었다. 결론

적으로 펀치 코너부의 성형과 관련되어 있는 형상치수인 볼트홀 깊이와 펀치 곡률부 반경이 성형성에 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있으며, 소재 두께와 다이 어깨부 곡률은 상대적으로 성형성에 작은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

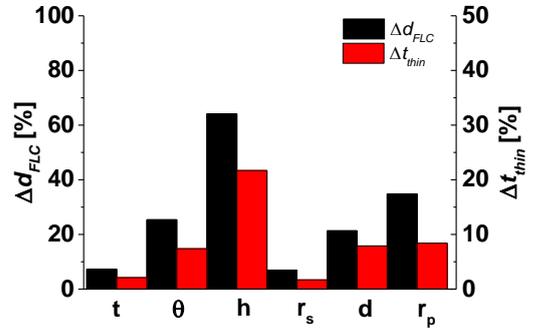


Fig. 3 Schematic diagram of the bolt hole shape and main geometrical parameters.

4. 결론

본 연구에서는 인자분석을 통해 볼트홀의 주요 형상 치수에 따른 성형성 분석을 수행하였다. 볼트홀의 판재 성형해석을 통해 펀치 곡률부에 변형이 집중되었으며 이 부분의 성형과 관련되어 있는 형상 치수인 볼트홀 깊이와 펀치 곡률이 볼트홀 성형성에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인 하였다. 이 결과는 볼트홀의 초기 설계단계의 방향성을 제시함으로써 시간과 비용을 줄여 설계 효율을 높이는데 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Cho, J. H., Kang, O. S. and Kim, D. S.: Structural Analysis of Clearance Effects on Sys-tem with Bolted Joint. Proc. of KSAE Fall Conference, 2, 1485–1490 (2005).
2. Yoon, J. C., Kang, B. S. and Kim, J.: A Study on finite Element Modeling of the Structure with Bolted Joints. Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 20(8), 205–212 (2003).

리튬 이온전지용 알루미늄 초박판의 블랭킹 공정에 관한 연구

김민기¹· 신현집²· 강길석³· 고대철[#]

A Study on the Blanking Process of Aluminum Thin Sheet for Lithium Ion Battery

M. G. Kim, H. J. Shin, G. S. Kang, D. C. Ko

Abstract

Recently, lithium ion batteries that are main components of IT devices have been increasing demands. Lithium ion batteries are manufactured from aluminum thin sheet and it is created by laser and etching. These processes are relatively expensive and have a defect of low productivity. In this study, blanking process is used to replace existing laser and etching process for reducing costs and improving productivity. In blanking process, the quality of sheared surface is affected by clearance and punch-die radius. Therefore finite element analysis was performed to investigate the effects of clearance and punch-die radius on blanking process of aluminum thin sheet. In addition, the effectiveness of FE analysis was verified by comparing the results of the FE analysis and experiment. The effective process condition was selected by comparing the shape of sheared surfaces. As a result, it is shown that the proposed process conditions are successful to achieve the requirement without problems in production of lithium ion battery parts.

Key Words : Aluminum Thin Sheet, Blanking Process, Sheared Surface, Finite Element Analysis

후 기

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 지원(No.2019R1A5A6099595)을 받아 수행된 연구임.

1. 부산대학교 대학원 융합학부
2. ㈜상아피에스
3. 부산대학교 대학원 융합학부
교신저자: 부산대학교 대학원 융합학부, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

프레스 성형공정 기반 풀림방지 와셔의 방사형 톱니형상 성형을 위한 다단공정 설계

전용준¹, 최현석², 김동연[#]

Multi-step process design for radial teeth shaping of anti-loosening washers based on the press forming process

Y. J. Jeon, H. S. Choi, D. E. Kim

Abstract

최근 건설, 철도, 항공 등 지속적인 진동환경에 노출된 산업분야에서는 안전성 확보를 위한 풀림방지 기능이 포함된 체결부품이 확대 적용되고 있다. 쉐기형 풀림방지 와셔는 설치 및 제거가 용이하고 재사용이 가능하여 높은 수요가 있지만, 제품 형상의 성형 난이도가 높아 전량 수입에 의존하고 있다. 쉐기형 풀림방지 와셔의 주요 기능부인 쉐기면의 톱니형상은 원주 방향으로 조밀하게 배치되어 있으며 1/100 mm 높이의 정밀한 형상으로 구성되어 일반적인 프레스 성형공법으로는 치수정밀도 확보가 어렵다. 이에 본 연구에서는 성형공정 해석을 기반으로 프리폼 공정이 포함된 프로그레시브 공법을 적용하여 풀림방지 와셔의 쉐기형상을 구현하는 공정을 설계하였다. 기존 공정의 주요 문제점은 쉐기형상의 미성형으로 이는 제품성형 시 원주방향 내/외측으로 소재 흐름이 과다하여 쉐기면 형상부에 필요한 소재의 미확보에서 기인됨을 확인되었다. 원주방향 외곽으로의 소재 흐름에 의한 기능부 미성형 문제를 해결하기 위해 제품 원주방향 내외측 금형에 단차 형상을 부여하여 소재 흐름을 제한하는 구조를 추가하였다. 변경된 금형 구조에서는 쉐기면 끝단의 성형성이 확보되었으나 성형 하중이 증가하여 와셔를 생산하는 일반 중소기업가 사용중인 프레스에서 성형이 불가함을 확인하였다. 이에 제품 성형성과 성형하중 저감을 동시에 확보하기 위하여 쉐기형상의 중간성형 공정을 진행한 후 최종제품 형상을 구현하는 다단 프레스 공정을 적용하여 쉐기면 톱니형상의 치수정밀도를 향상하였다.

Key Words : Anti-loosening washer(풀림방지 와셔), CAE(CAE), Forming process design(성형공정설계), Pre-form(예비성형)

1. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원,수석연구원. E-mail:kdu0517@kitech.re.kr

TRIP1180 판재의 성형공정에서 코팅 금형의 정량적인 마모 거동 평가

방준호^{1,2}, 송정한[#], 배기현¹, 박남수¹, 이명규², 김흥기³, 정철영⁴

Quantitative evaluation of experiment-based tool wear behaviors in sheet metal forming process of TRIP1180

J. H. Bang, J. H. Song, G. H. Bae, N. S. Park, M. G. Lee, H. G. Kim, C. Y. Jung

Abstract

초고강도(Ultra high strength steel) 강판의 성형공정 시 예상보다 이른 금형 표면의 손상은 금형과 판재 사이에 작용하는 높은 반력에 기인하며, 이는 생산성 감소, 제품 품질 저하, 및 금형의 유지보수 비용 증가에 직접적인 영향을 준다. 이번 연구에서는, 성형공정 시 금형 표면의 접촉 메커니즘을 확인하였으며 금형 표면의 마모거동을 실험적 데이터베이스를 통해 정량적으로 분석하였다. 성형공정 동안 금형 표면에 작용하는 접촉 압력(Contact pressure)과 미끌림거리(Sliding distance)를 유한요소해석(Finite element analysis)을 통해 확인하였다. 이러한 접촉 특성 분석을 근거로 판재성형공정에서의 금형마모시험을 위한 Progressive die set을 제작하였으며 타수당 마모실험을 수행하였다. 금형의 마모깊이와 표면거칠기, 제품의 표면거칠기의 관점에서 타수당 마모실험 데이터베이스 측정을 통해 금형 마모거동의 정량적인 평가를 수행하였다.

Key Words : Tool wear, Sheet metal forming process, Finite element analysis, Ultra high strength steel (UHSS)

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

2. 서울대학교 재료공학과

3. 포스코 기술연구원

4. 대우공업(주) 기술연구소

교신저자: 한국생산기술연구원. E-mail:jhsong@kitech.re.kr

판재성형을 위한 열간 가변금형 개발

이인규¹ · 이성윤¹ · 정명식¹ · 박동용¹ · 고대철² · 이상곤[#]

Development of Hot Reconfigurable Die for Sheet Metal Forming

I. K. Lee, S. Y. Lee, M. S. Jeong, D. Y. Park, D. C. Ko, S. K. Lee

Abstract

최근 4차 산업혁명 시대로 인해 자동차, 조선, 항공 등의 산업분야에서는 판재성형 제품의 다품종 소·대량 생산에 대응하기 위한 생산기술이 요구되고 있다. 하지만 현재의 판재성형 기술은 하나의 형상제품을 제조하기 위한 전통적인 금형을 적용하는 것이 일반적이기 때문에 다품종 소·대량 생산에 대응하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 판재성형 기술로 가변금형이 대두되고 있으며, 현재까지 지속적으로 다양한 연구가 진행되고 있다. 가변금형은 전통적인 금형과는 달리 다수의 핀으로 구성되어 있으며, 핀들의 개별적인 높이 제어를 통해 다양한 형상으로 변형이 가능하다. 이러한 특징을 가지는 가변금형은 다품종 소·대량 생산에 대응하기 위한 판재성형 기술로 매우 적합하다. 하지만, 가변금형은 핀의 점접촉을 통해 소재를 성형하는 구조적 특성을 가지기 때문에 치수정밀도 저하 및 압흔 결함이 발생된다. 특히, 알루미늄과 같은 난성형재는 높은 스프링백에 의해 치수정밀도를 더욱 확보하기 어렵다. 현재까지의 가변금형은 치수정밀도 및 압흔 결함을 모두 보완할 수 있는 금형 및 공정 설계기술이 미흡하여 산업현장에 제한적으로 적용되고 있는 실정이다. 따라서 산업현장에 가변금형을 적용하기 위해서는 구조적 특성에 의해 발생하는 결함과 더불어 스프링백에 의해 발생하는 치수정밀도 저하를 방지할 수 있는 기술이 요구된다.

본 연구의 목적은 가변금형이 가지는 구조적 특성에 의한 결함을 보완하며, 스프링백을 저감시킬 수 있는 가변금형 기술을 개발하는 것에 있다. 이를 위해 스프링백에 의한 치수정밀도 저하를 예방할 수 있는 열간 성형을 가변금형에 적용하였다. 또한, 점접촉 성형의 특성에 의해 발생하는 치수정밀도 저하를 방지하기 위한 핀 배열 설계 기법과 압흔 깊이를 최소화 할 수 있는 핀 형상 설계 기법을 수립하였다. 그리고 이를 바탕으로 열간 가변금형의 설계 기법을 제시하였다. 최종적으로 열간 가변성형 공정 실험을 통해 제시된 설계 기법의 유효성을 검증하였다.

Key Words : Sheet Metal Forming, Reconfigurable Die, Hot Forming, Cooling nozzle

* 본 연구는 한국생산기술연구원의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹

2. 부산대학교 융합학부

교신저자: 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹, 수석연구원.

E-mail: sklee@kitech.re.kr

스탬핑 공정을 이용한 차량용 스틸/카본 부품 제조에 관한 연구

류재창¹· 김재홍²· 박정은³· 이병룡⁴· 고대철[#]

Manufacturing of Automotive Hybrid Steel/Carbon Component by Stamping

J. C. Ryu, J. H. Kim, J. E. Park, B. R. Lee, D. C. Ko

Abstract

Recently, Automotive industry makes effort to reduce weight of parts and improve fuel efficiency owing to environment regulation. Carbon fiber reinforced plastic (CFRP), a representative lightweight material with superior mechanical properties, has been used for application of various automotive components such as hood, beam, roof and B-pillar. Generally, CFRP products are manufactured by resin transfer molding (RTM) and autoclave processes. However, the above mentioned processes are difficult to apply for mass-produce. In addition, additional bonding process is essential to join each part. In this study, B-pillar and CFRP reinforcement were manufactured simultaneously by stamping combined with prepreg compression molding (PCM). Mechanical properties of CFRP prepreg are experimentally investigated by picture frame test and friction test between steel and CFRP prepreg. A structural analysis was performed to determine thickness of reinforcement. The forming simulation was also performed to determine initial shape of steel blank and forming type without fracture of product. Formability of manufactured product was investigated by Forming Limit Diagram (FLD). Finally, B-pillar with CFRP reinforcement was manufactured with same condition of forming simulation.

Key Words : Prepreg Compression Molding (PCM), Lightweight, CFRP reinforcement, Finite element analysis(FEA)

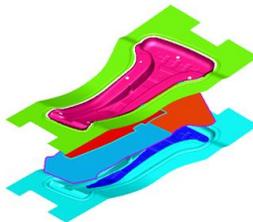


Fig.1 Forming simulation of automotive hybrid steel/carbon fiber composite b-pillar component

We would like to acknowledge the financial support from National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. 2019R1A5A6099595) , the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MOE) (NRF – 2018R1D1A3B07049114) and Technology Innovation Program (No. 20002809) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE).

1. 부산대학교 융합학부
2. 부산대학교 설계기반미래성형기술개발센터
3. 부산대학교 융합학부
4. 서진산업 기술연구소

교신저자: 부산대학교 융합학부, E-mail:dcko@pusan.ac.kr

CFRP를 포함한 다중소재 SPR 접합의 수치 모델링과 해석적 검증

김성호^{1,2}, 배기현¹, 송정한¹, 이종섭¹, 최석우¹, 박영도³, 정철영⁴, 박남수^{1,#}

Numerical Modeling and Experimental Validation of the Multi-Material Self-Piercing Rivet (SPR) Joining including CFRP

S. H. Kim, G. H. Bae, J. H. Song, J. S. Lee, S. O. Choi, Y. D. Park, C. Y. Jung, N. Park

Abstract

In recent years, researches on the lightweight vehicle have been extensively carried out to improve fuel efficiency while fulfilling strict environmental regulations at the same time. Particularly, the number of cases in which lightweight materials are applied to the vehicle has been noticeably increasing, and accordingly, significant attention has been paid to the development of advanced bonding technology for joining multi-material, considering their different mechanical behaviors. A wealth of experimental and numerical studies has been carried out on various mechanical joining methods including the Self-Piercing Rivet (SPR) joining. In an attempt to successfully predict the SPR joining process, this study focuses on the numerical modeling in consideration of not only the deformation behavior but also the fracture limit of each material used for the mechanical joining of multi-material. The effects of rivet property, friction coefficient, and fracture limits on the mechanical joining were analyzed and compared to the experiments. For analyses of the SPR process including CFRP, the numerical simulation was conducted with two categories of Finite Element (FE) models: one is the continuum modeling of CFRP; and the other is the FE modeling that considers each CFRP layer. From the comparison of experiments and numerical simulations, it was confirmed the latter FE model shows good agreements with experiments.

Key Words : Self-Piercing Rivet, Multi-Material, Mechanical Joining, CFRP

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

2. 인하대학교 기계공학과

3. 동의대학교 신소재공학부

4. 대우공업(주) 기술연구소

교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, E-mail: nspark@kitech.re.kr

Hybrid composite part의 계면거동 예측

박준수¹· 김재홍²· 이찬주³· 홍종빈⁴· 고대철[#]

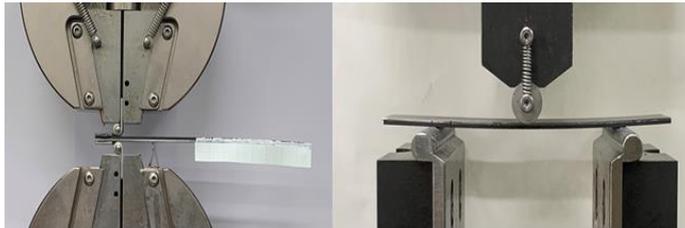
Prediction of interfacial behavior in hybrid composite part

J. S. Park, J. H. Kim, C. J. Lee, J. B. Hong, D. C. Ko

Abstract

Recently, the automotive industry has focused on manufacturing of lightweight parts and fuel efficiency improvement due to reducing fuel consumption and CO₂ emission. The direct method for lightweight is application of hybrid composite parts with advanced high strength steel (AHSS), aluminum and magnesium. In manufacturing process for these parts, delamination could be occurred because of the difference of deformation characteristics, such as springback and thermal contraction. Therefore, fractures at the interface between dissimilar materials should be predicted to manufacture the hybrid composite parts. The purpose of this study is to predict the delamination for hybrid composite part manufactured by steel sheet and carbon fiber reinforcement plastic (CFRP). In this study, the steel sheets and CFRP were joined by epoxy resin of CFRP prepreg during curing process. Double cantilever beam test and end notched flexure test were performed to obtain various adhesion properties, such as critical energy release rate of Mode I, Mode II (G_I , G_{II}), and critical stress (σ_{max}), respectively. Cohesive zone model (CZM) was used to describe the interfacial behavior between steel sheet and CFRP. Finite element analysis with CZM was performed to predict delamination and its results were compared with experimental results.

Key Words : Hybrid composite part, Cohesive zone model, Delamination, Finite element simulation



ACKNOWLEDGEMENT

We would like to acknowledge the financial support from National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. 2019R1A5A6099595) , the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MOE) (NRF – 2018R1D1A3B07049114) and Technology Innovation Program (No. 20002809) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE).

1. 부산대학교 대학원 기계공학부
2. 설계기반미래성형기술개발센터
3. 한국생산기술연구원
4. 서진산업 기술연구소
교신저자: 부산대학교 대학원 융합학부. 교수 E-mail: dcko@pusan.ac.kr

프리프레그 압축성형공정을 통한 핫 스탬핑 차체 부품의 복합재 일체성형

정용훈¹ · 이순명² · 성동진³ · 고대철[#]

Prepreg Compression Molding of CFRTP Reinforcement on Hot Stamped Part

Y. H. Jung, S. M. Lee, T. M. Ahn, D. C. Ko

Abstract

Recently, CFRTP (Carbon Fiber Reinforcement Thermo-Plastic) has been widely used in number of composite applications because of the growing concerns about reducing energy consumption and protecting the environment. Numerous attempts have also been performed to apply the CFRTP to automobile parts such as roof panel and B-pillar for improved mechanical properties and lightweight. Research has been conducted on the multi-material forming process to attach CFRTP and steel due to CFRTP's characteristics: high strength-to-density ratio. However, it is difficult to manufacture the multi-material product because of adhesive problems between CFRTP and steels. In this study, CFRTP reinforcement was designed on hot stamped B-pillar used as a die by Prepreg compression molding (PCM). The subsize B-pillar was manufactured by hot stamping method, and FE-simulation of hot stamped B-pillar was performed to predict springback behavior. CFRTP reinforcement was planned to be shaped on the internal of B-pillar. To conduct the forming analysis, mechanical and thermal properties of CFRTP prepreg were investigated experimentally such as tensile test and picture frame test. The possibility of PCF manufacturing was estimated by thermal forming simulation of CFRTP Reinforcement which is set on formed B-pillar. Finally, the prepreg compression forming of B-pillar consisting of steel and CFRTP was performed to compared with analysis result for verification.

Key Words: Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics (CFRTP), Hot Stamping, Prepreg Compression Molding (PCM)

후 기

본 연구는 2017 년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 중소기업청의 World class 300 R&D 사업(S2522059) 및 2019 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구지원센터사업(No.2019R1A5A6099595)의 지원으로 수행된 연구임.

1. 부산대학교 대학원 융합학부

2. 부산대학교 대학원 융합학부

3. 아진산업㈜

교신저자: 부산대학교 대학원 융합학부, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

9. 일반 논문 발표

단조
(제 7 발표회장)

SUS 304 볼스타드 자동다단냉간단조 공정의 완전해석

변종복¹· 이창주²· 서일동²· 전만수^{1#}

Complete analysis of an automatic multi-stage cold forging process of SUS 304 ball-stud

J. B. Byun, C. J. Lee, I. D. Seo, M. S. Joun

Abstract

Complete analysis, that is, fully coupled analysis between material deformation problem and die deformation problem as well as between flow problem and heat transfer problem is conducted for an automatic multi-stage cold forging of SUS 304 ball-stud. The predictions are compared with those obtained under different material or die models and discussions about the predictions in terms of peak forming load and peak stress are made with an emphasis on the effects of temperature in cold forging of high-strength material on them.

Key Words : Complete Analysis (완전해석), Automatic Multi-Stage Cold Forging (자동다단냉간단조), High Strength (고강도)

1. 서론

시대의 요구에 따라 고강도 소재의 냉간단조가 다각도로 시도되고 있다. 고강도 강의 냉간단조는 금형의 한계에 봉착하게 된다. 이러한 근본 문제의 해결을 위한 재료학적 특성과 공정의 특성을 고려한 공정 및 금형의 최적화가 관심사가 되고 있다[1].

SUS 304 소재는 대표적인 고변형경화 소재이며, 자동다단단조기에 의한 냉간단조 가능성을 고려할 때, 변형경화만 고려할 경우, 단과 단 사이에서 풀림 열처리가 불가능한 자동다단냉간단조는 불가능하다는 결론에 도달하게 된다. 일반적으로 소재는 상온에서 온도의 증가에 따른 급격한 유동응력의 하강을 겪는다. 이러한 경향은 SUS 304의 경우 더욱 뚜렷한 경향이 있다[2]. 자동다단냉간단조는 성형이 연속적으로 비교적 고속으로 이루어지는 특징이 있어, 전 단계에서 소성열로 인

하여 가열되어 연화된 소재의 유동응력을 고려하는 종합 엔지니어링이 필요하다. 이 연구에서는 성형하중 및 금형 응력에 영향이 클 것으로 예상하는 온도의 영향과 금형의 탄성변형을 영향을 분석한다.

2. SUS 304 볼스타드 자동다단냉간단조의 완전 유한요소해석

Fig. 1은 공정설계의 결과이다. 이 공정의 특징은 하부에 6각 나사를 음각하는 5단계에서 금형에 하중이 크게 작용할 것으로 예상되어 5단계 스프링 부착 금형을 사용하는 것이다. 그리고 마지막 단계에서 크게 증가할 것으로 예상되는 성형하중도 큰 관심사이다.

압축시험에 의하여 다음의 유동응력 곡선이 수식화되었으며[2], 재료상수는 Table 1에 정리되었다.

$$\bar{\sigma} = Y_0 \left(1 + \frac{\epsilon}{b}\right)^n (1 + \beta_1 T)^{-\beta_2} (1 + \gamma_1 \dot{\epsilon})^{\gamma_2} \quad (1)$$

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. ㈜대동

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

Table 1. Material constants

Y_0	b	n	β_1	β_2	γ_1	γ_2
456	0.2205	0.37952	0.005	0.51	4.65573	0.02519

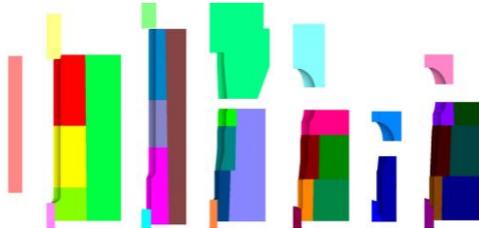


Fig. 1 Process design of automatic six-stage cold forging process for a SUS 304 ball-stud

Fig. 2 는 온도 해석결과이며, 5 단에서 약 450C 에 이르며, 이것은 초기에 비하여 유동응력을 약 42% 감소시키는 결과를 초래한다. Fig. 3 과 Fig. 4 는 각각 완전해석에서 획득된 금형의 응력과 성형하중을 나타낸다. 5 단에서 발생한 최대 금형응력은 강제금형과 온도 영향을 고려하지 않은 전통적인 해석결과에 비하여 약 38.41% 작게 나타났으며, 6 단의 최대 하중도 약 31.06% 작게 나타났다.

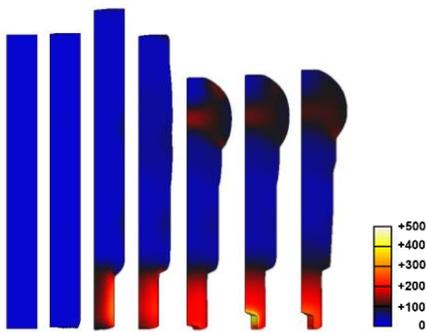


Fig. 2 Temperature change with stage

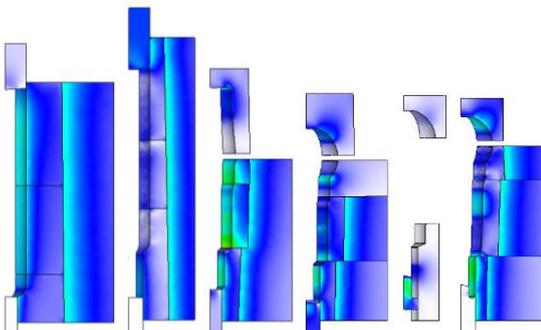


Fig. 3 Die stresses

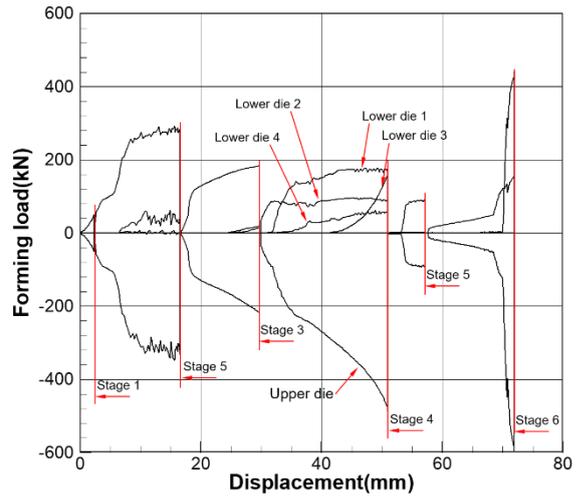


Fig 4. Forming load-stroke curve

3. 결론

이 연구에서는 완전 유한요소해석 기술을 적용하여 실험적으로 규명된 SUS 304 재료의 유동응력을 활용하여 자동다단냉간단조 중 재료의 온도상승과 금형의 탄성변형에 따른 유동응력의 감소가 성형하중과 금형에 작용하는 응력의 관점에서 정량적으로 분석하였다. 그 결과, 약 30%의 최대 성형하중 및 파괴에 노출된 지점에서의 금형응력의 감소가 예측되었다. 이 수치는 성형가능성 평가 결과를 좌우하고도 남는 크기라고 사료된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부의 광역협력권산업육성사업(과제 번호:P0006106)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] M. S. Joun, S. T. Ahn, H. T. Jin, Y. H. Son, D. J. Yoon, Quantitative study of the Bauschinger effect in high-strength low-strain-hardening materials for metal forming applications, *Int. J. Mater. Prod. Technol.*, V. 54, pp. 20-31.
- [2] M. K. Razali, J. B. Byun, M. S. Joun, 2019, Plastic deformation behaviors of SUS 304 at low and warm temperature and a mathematical model, *KSTP Fall Meeting 2019*, pp. 223-224.

금형의 예압을 위한 금형인서트의 프레스 압입 공정의 다물체 탄소성 유한요소해석

전만수^{1#}, 변종복¹, 전유종², 강성목³

Elastoplastic finite element analysis of press-fitting process of die insert with shrink ring for its prestressing

M. S. Joun, J. B. Byun, Y. J. Jyun, S. M. Kang

Abstract

An elastoplastic finite element analysis is conducted to reveal mechanical phenomena occurring in the process of exerting prestresses onto the die inserts by mechanical press. All the materials including die insert, shrink ring and die insert supporting block are assumed elastoplastic and the pressing and supporting tools negligibly affecting the macroscopic behaviors of the press fitting process are assumed rigid. Multi-body simulation scheme is employed to simulate the actual process, that is, the press fitting process.

Key Words : Multi-body analysis scheme (다물체 해석 기법), Press Fitting (프레스 피팅), Preload (예압)

1. 서론

두 물체를 견고하게 조립하는 목적으로 열박음 및 프레스 박음이 공구 및 금형의 조립에 널리 상용되고 있다. 열박음의 기하학적 형상과 역학적 상호관계가 매우 복잡하다. 이로 인하여 이 기술의 응용 역사는 깊지만, 냉간단조 금형의 열박음의 유한요소해석 목적으로 이 연구가 실용적 결실을 맺은 것은 그렇게 오래되지 않다[1,2].

열박음 공정과는 달리 프레스 압입 공정은 예압 과정에서 경우에 따라서는 국부적 소성 변형과 형상변화를 초래할 수 있으며, 그 영향을 무시할 수 없을 수 있다. 그럼에도 불구하고 프레스 압입 공정의 해석에 관한 연구는 흔치 않다.

이 연구에서는 프레스 압입 공정을 다물체 해석 기법을 이용하여, 가정을 최소화한 상

태에서, 해석하여 조립되는 면의 최적 형상 설계에 활용하고자 한다.

2. 탄소성 다물체 유한요소해석

단조 금형의 예압 목적으로 실시하는 프레스 압입 공정은 전형적인 다물체 해석 문제이다. 특히 예압 과정에서 예압 링이나 금형인서트(die insert)를 떠받치는 금형 블록이 국부적으로 소성변형을 받을 수 있기 때문에 탄소성 유한요소법을 사용하는 것이 바람직하다. 금형 부품의 프레스 압입 조립 공정의 다물체 해석에서 프레스 압입 공정은 접촉면에서 과도한 미끄러짐이 일어나는 매우 극단적 문제이다.

Fig. 1(a)는 초기상태의 해석 모델을 나타내고 Fig. 1(b)는 유한요소해석 모델을 나타낸다. 소재 1 과 2 는 상하로 구분된 금형 인서트이며, 초경으로 항복응력을 크게 설정함으로써 사실상 탄성변형만 발생하도록 하였다. 부품 3 과 4 는 금형강으로 Swift 모델을 사용하여

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. 우주산업

3. ㈜풍강

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

유동응력이 $\bar{\sigma} = Y_0(1 + \varepsilon/b)^a$ 를 따르는 것으로 간주하였다. 부품 1 과 2 의 영률과 포아송비는 각각 546860 와 0.23 로 가정하였다. 그리고 해석에 사용된 금형강의 영률과 포아송비는 각각 200000 와 0.3 이다.

Fig. 2 는 압입 과정 중에서 유효응력의 변화를 나타내며, Fig. 3 은 압입해석 종료 순간에 금형 인서트와 금형 부품에 작용하는 유효응력을 나타내고 있다. 이 해석결과는 기술자가 당초에 예상하거나 희망했던 것과 다소 차이가 날 수밖에 없다. 그것은 부품 3 과 4 의 일부 접촉구간에서 소성변형이 발생하며, 조립 상태를 유지하는데 필요한 상호작용 반력이 수축 링의 변형을 초래하기 때문이다.

3. 결론

이 연구에서는 다물체 탄소성 유한요소해석 기능을 이용하여 냉간단조용 금형의 기계식 예압 공정의 해석을 실시하였다. 이 해석을 통하여 금형의 경사면에서 미세한 설계 차이가 상당한 정도의 부위별 예압 차이를 발생함을 확인하였다. 그리고 조립 종료 이후의 안정적 체결을 목적으로 예압 중에 억지 끼워 맞춰지는 금형 인서트 받침블록과 압축 링 간의 초기 접촉 시에 소성변형이 발생하며, 그 패턴이 예압면의 예측 정도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

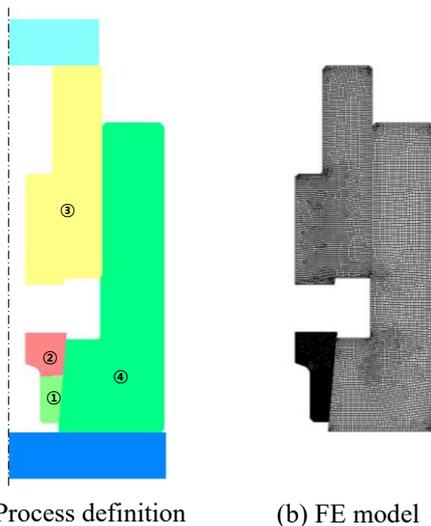


Fig. 1 Process definition at the initial state and FE model

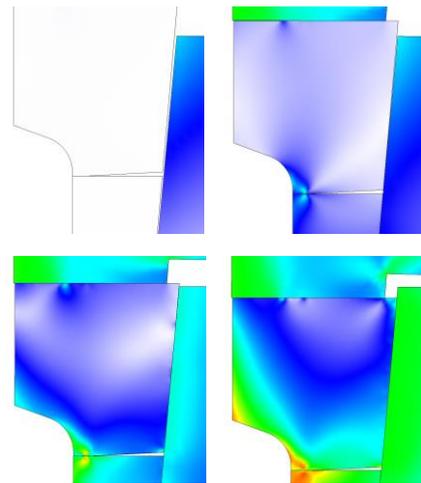


Fig. 2 Change of effective stress with stroke during press-fitting

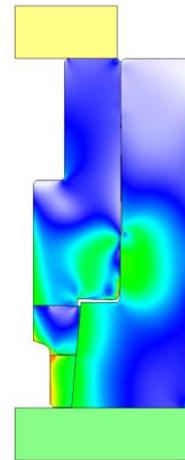


Fig. 3 Predictions of a press fitting process

후기

본 연구는 산업통상자원부의 산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술(과제 번호: 20003950) 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] D. Y. Seo, M. C. Lee, M. S. Joun, 1998, Elastic finite element analysis of the cold forging die prestressed by shrinkage rings, *Trans. Mater. Proc.*, Vol. 7, No. 4, pp. 347-353.
- [2] M. S. Joun, M. C. Lee and J. M. Park, 2002, "Finite element analysis of prestresses die set in cold forging", *Int. J. Mach. Tools Manu.*, 1213-1222.

하중 및 변위 복합 부과 기능의 금형을 활용한 서스펜션 스트럿 마운트 부품의 판단조 공정의 탄소성 유한요소해석

박기근¹ · 장성민² · 이재성¹ · 전만수[#]

Elastoplastic finite element analysis of a plate forging process of suspension strut mount part using a special die imposing force or displacement on material

K. K. Park, S. M. Jang, J. S. Lee, M. S. Joun

Abstract

Elastoplastic finite element analysis of a plate forging process of suspension strut mount part using a special die imposing force and displacement on the material is conducted in this study. Some factors necessary for successful simulation of an actual plate forging process are introduced with a typical example which may be one of model plate forging processes.

Key Words : Elastoplastic finite element analysis(탄소성 유한요소해석), Plate forging(판단조), bulk forming of sheet(판재의 체적소성가공)

1. 서론

판단조(plate faging) 또는 판재의 체적소성가공(bulk forming of sheet) 기술이 일본과 독일이 중심이 되어 지속적으로 발전하고 있다. 판단조는 다양한 적용 가능한 제품군에서 품질과 원가 양면에서 유리하다는 결과가 발표되었다[1,2].

일본을 중심으로 하는 동아시아에서 주로 사용되고 있는 판단조에서 판은 두께가 6.0mm 이상의 판재를 일컫는 용어로 이 공정에서 사용되는 plate(후판)에서 유래된 것이다. 이 판단조의 용어는 구미 학자들이 사용하는 판재의 체적소성가공의 의미로 사용되며, 후판의 두께 규정에 제약을 받지 않고, 제품의 크기에 비하여 전통적인 판재성형보다 상대적으로 두께가 큰 경우, 특히 판재의

두께의 변화가 중요한 경우를 일컫는 용어로 흔히 사용되고 있다.

판단조 공정의 해석 기술은 초기에 판재성형해석 기술이 적용되었다. 이 기술은 기본적으로 스프링백 등의 예측이 중요시되므로 탄소성 유한요소법에 바탕을 두고 발전한 판재성형공정 해석기술이 응용되었으나, 두께의 급격한 변화를 초래하거나 국부적 변형에 기인하는 요소망재구성이 필요한 경우, 적용하기에 한계가 지적되어 왔다. 아울러 전통적인 방법은 실제로 중요시되는 제품 모서리부의 두께 예측결과가 떨어지는 단점을 지니고 있다.

2010 년대에 들어와서 판단조의 기술의 발전과 함께 그 해석기술에 관한 요구가 지속적으로 제기되었다. 최근에는 체적소성가공공정의 해석기술의 발전으로 판재성형 기술에 근거한 전통적인 방법이 대체되고 있다[3].

1. ㈜태진다이텍 기술연구소

2. ㈜엠에프알씨 기술연구소

교신저자: 경상대학교, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

판단조의 해석기술과 일반 체적소성가공 해석기술의 차이는 전자에서 요구하는 탄성 영향의 중요성, 금형의 다양한 기능, 극단적 형상에 따른 요소망의 특성 등에서 차이가 있다.

이 연구에서는 금형에 부과된 하중 조건과 금형 간의 상대 운동을 고려한 실용적 판단조 공정의 해석 사례를 관련 해석 기술과 함께 소개한다.

2. 판단조 공정의 탄소성 유한요소해석

Fig. 1 는 연속된 8 단의 공정으로 이루어진 다단트랜스퍼 공정의 판재성형 공정도이다. 소재의 두께가 3.2mm 으로 박판재(sheet)를 성형하는 판재성형 공정으로 분류될 수도 있다. 그러나 해석기술의 관점에서 보았을 때, 판재의 두께에 비하여 전통적인 판재성형 공정에 비하여 제품의 크기가 작고, 코너 부위의 두께 변화가 심한 점 등을 감안할 때, 판재의 체적소성가공, 즉 판단조 공정으로 간주하는 것이 바람직하다. 결론적으로 이 공정은

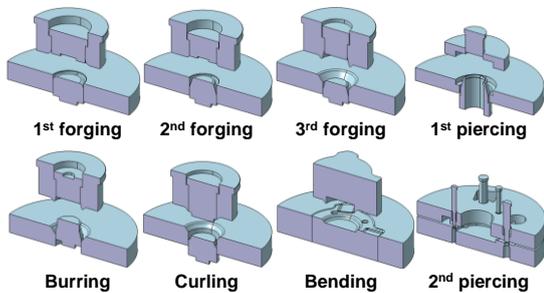


Fig. 1 Process design of a bulk metal forming process of sheet

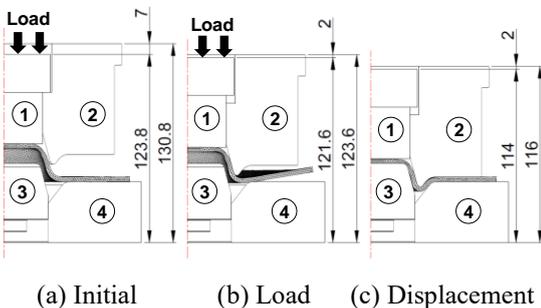


Fig. 2 A special die having multiple function (3rd forging)

은 판재의 체적소성가공이며, 해석적으로는 단조 공정으로 간주할 수 있다.

해석에 사용된 조건은 다음과 같다. 유동 응력은 $\bar{\sigma}=484.5(1+\bar{\epsilon}/0.0076)^{0.138}$ MPa 이고, 마찰 계수로 $\mu=0.01$, $m=0.02$ 를 사용하였다. 이 공정의 주안점은, Fig. 2 의 3 차 성형공정에서 보는 바와 같이, 금형 1 은 약 2.2mm 압하시까지 하중이 부가되고, 그 이후 입력된 한계치에 도달하면, 금형 1은 금형 2에 종속되어 동일하게 운동하는 것이다. 이 때, 가변 해석 스텝 시간 계산 기능을 이용하여 정확한 스트로크의 계산은 필수적이다.

Fig. 3 에 해석결과를 나타내었다. 그림에서 색깔은 변형률 분포를 나타낸다.

3. 결론

이 연구에서는 해석적 관점에서 판단조라고 간주할 수 있는 전형적인 판재의 체적소성가공 공정에 대한 탄소성 유한요소해석을 실시하였으며, 해석 상의 특징으로 특수 금형의 복합 기능과 관련 해석 결과를 제시하였다.

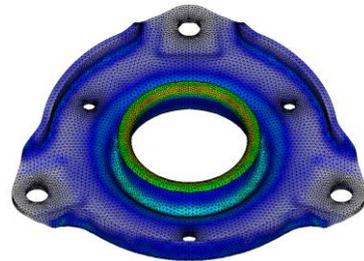


Fig. 3 Predicted final product shape

참고문헌

- [1] M. Merklein, et al., 2012, Bulk forming of sheet metal, CIRP Annals, Vol. 61, pp.725-745.
- [2] K. Mori, T. Nakano, 2016, State-of-the-art of plate forging in Japan, 2016, Prod. Eng. Res. Devel., Vol. 10, pp. 81-91.
- [3] W. J. Chung, B. S. Kim, S. W. Lee, H. Y. Ryu, M. S. Joun, 2014, Finite element simulation of plate or sheet metal forming processes using tetrahedral MINI-elements, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 28, pp. 237-243.

자동다단냉간단조용 S25C 선재코일의 상온과 중온 사이에서 유동응력의 특성

이현준¹, 조규섭², 이광희³, 임수근⁴, 전만수^{1#}

Characteristics of flow stress of S25C wire rod for automatic multi-stage cold forging at room to medium temperatures

H. J. Lee, G. S. Cho, G. H. Lee, S. G. Lim, M. S. Joun

Abstract

We conduct compression test of solid cylindrical specimen for obtaining flow stress information of S25C wire rod for automatic multi-stage cold forging. It was mathematically modelled using a power-law flow stress model with respect to strain rate in which material parameters are described by bi-linear functions of strain and temperature with the related coefficients defined at the sample points of strains and temperatures. Despite the complexity of flow stress dependence on the state variables, the fitted model describes the experiments with high accuracy. The fitted experimental flow stress was compared with its reference flow stress obtained from JMatPro. The two flow stresses are compared using compression test simulation.

Key Words: Flow Stress (유동응력), Power-Law Model (지수법칙 모델), Compression Test (압축시험)

1. 서론

최근 냉간단조에서도 온도의 영향을 무시할 수 없다는 연구결과들이 다수 발표되었다. 특히 고강도 소재일수록 단조에서 온도의 영향이 두드러지게 나타난다. 기존 연구들을 종합하면, 비록 단조품의 형상에는 상대적으로 작은 영향을 미치지만, 하중 및 금형에 작용하는 응력은 비교적 큰 영향을 받는다[1,2].

최근의 소성가공 시뮬레이션의 동향 중의 하나는 하중을 정확하게 예측하고, 금형의 응력 예측력을 증가시키는데 있다. 스마트 생산의 시대적 흐름에 따라 하중의 예측이 정확하지 않을 경우에는 개발부서와 장비운용부서 간의 협력이 긴밀하게 일어나지 않는 문제가 부각되고 있으며, 한편으로는 금형 수명의 예측이 중요해지고 있다.

따라서 비록 냉간이라도 온도를 고려한 예측

기술의 활용이 증가하고 있다. 이 논문에서는 이러한 시대적인 흐름을 고려하여 대표적인 자동다단냉간단조용 소재인 S25C 선재코일의 상온에서 중온까지의 온도 범위에서 유동응력 특성을 실험하였으며, 적절한 소재 모델로 피팅하여 수식화하였다. 그리고 실험결과를 이론적 기준이 될 수 있는 JMatPro 에서 예측한 유동응력과 비교하였다.

2. S25C 선재코일 압축 실험 및 수식모델

압축시험 조건으로 실험 변형률속도를 1/s, 5/s, 10/s, 20/s 로 선정하였고, 실험온도를 상온(20°C, 25°C), 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C로 선정하였다. 중공실린더 압축시험의 특성상 변형률 0.5 까지 신뢰성이 높다고 보고, 변형률은 0.0에서 0.5 범위까지 조사대상으로 삼았다. 시험장비로 Gleeble simulator 가 사용되었다. 상온에서 변형률속도 20/s 의 구현이 불가능하므로 이 때의 값은 인근 측정치에서 획득된 값을 바탕으로 추정되었다.

Fig. 1 은 온도와 변형률속도가 일정하다는

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. 생산 기술 연구원

3. ㈜ 풍강

4. 경상대학교 나노·신소재공학부

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부 E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

조건하에서 실험적으로 획득된 유동응력-변형을 곡선과 변형률속도에 대한 지수법칙 모델 ($\bar{\sigma}=C(\bar{\epsilon},T)\dot{\bar{\epsilon}}^m(\bar{\epsilon},T)$)로 표현하고, AFDEX MAT 를 이용하여 관련 계수를 구한 결과, 즉 점으로 표현된 추정 함수값을 비교하고 있다. Fig. 2 는 마찬가지로 참고용으로 JMatPro 를 이용하여 획득한 유동응력 곡선과 AFDEX MAT 을 이용하여 수식화한 곡선을 비교하고 있다. 두 경우 모두, AFDEX MAT 으로 피팅된 재료 상수는 실제의 현상을 매우 잘 반영하고 있음을 보여주고 있다.

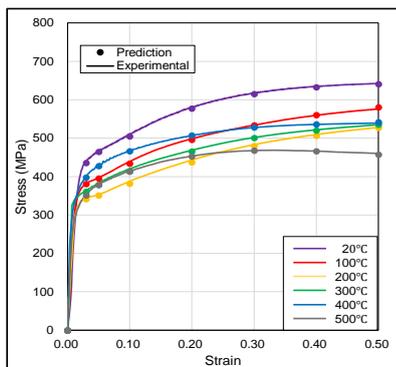


Fig. 1 Experimental and fitted flow stresses

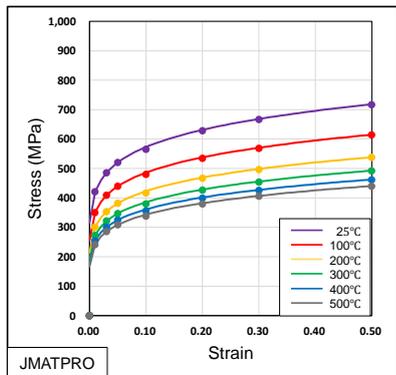


Fig. 2 Reference and fitted flow stresses

실험적으로 획득된 유동응력의 특성을 비교 평가할 목적으로 Fig. 1 과 Fig. 2 의 피팅된 유동응력 정보를 다른 조건이 동일한 조건의 압축시험(높이 15mm, 반지름 5mm)에 적용하였다. 소재의 초기온도를 400 °C 로 가정하였다. 마찰계수는 0.05 로 가정하였고, 평균 유효변형률속도가 10/s 와 근사적으로 유사하도록 하기 위하여 가변속도 조건을 사용하였다.

해석 결과, Fig. 3 에서 보는 바와 같이, 업세팅 초기와 종료 시점에서 하중 증가 구배가 다소 차이를 보였으나, 금형수명 등 거시적 차이의 발생에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되지는 않았다. 350°C 이상에서 최대 반경 측면에서 실험 유동응력이 0.012-0.025mm 크게 예측하였다. 이것은 소성열의 발생으로 인한 온도 상승에 기인하는 동적변형시효(Dynamic strain aging)에 기인하는 것으로 판단된다.

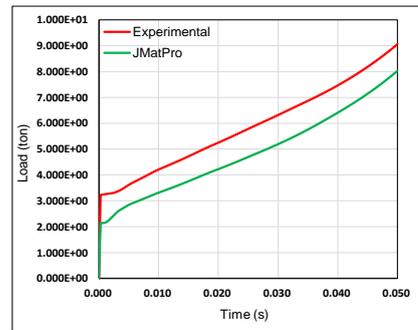


Fig. 3 Comparison of load between experimental and reference flow stresses

3. 결론

이 연구에서는 자동다단냉간단조용 S25C 선재코일의 유동특성을 냉간단조의 범위에 속할 것으로 판단되는 상온에서 500 °C 의 온도 범위에 대해서 실험적으로 규명하였으며, 그 특성을 분석하였다.

유동응력은 기존의 연구에 사용된 Al6082-T6 및 SUS304 과는 다소 다른 양상을 보였다. 이에 관한 거시적 및 미시적 연구가 요구된다.

사사

이 연구는 산업혁신소재기술개발 프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 20003950) 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] J. D. Yoo, H. N. Song, K. M. Kim, T. M. Hwang, M. S. Joun, 2018, Discussion on flow stress of aluminum to be cold forged, KSTP 2018, pp. 49-50
- [2] J. B. Byun, H. J. Lee, J. B. Park, I. D. Seo, M.S. Joun, 2020, Fully coupled finite element analysis of an automatic multi-stage cold forging process, ICPMMT 2020

복합재료 판재의 체적소성가공에서 박리 현상의 3차원 탄소성 유한요소해석

정승원¹·정석환¹·홍석무²·정완진³·전만수^{4#}

Three-dimensional elastoplastic FE analysis of delamination phenomena in bulk metal forming of a composite sheet

S. W. Jeong, S. H. Chung, S. M. Hong, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, delamination occurring in bulk metal forming of composite is revealed by three-dimensional elastoplastic finite element method. A square-cup drawing process of a composite sheet with two equal thickness sheets is tested with emphasis on prediction of delamination.

Key Words : Composite sheet (복합재료 판재), Bulk Metal Forming (체적소성가공), Elastoplastic FEA(탄소성 유한요소해석)

1. 서론

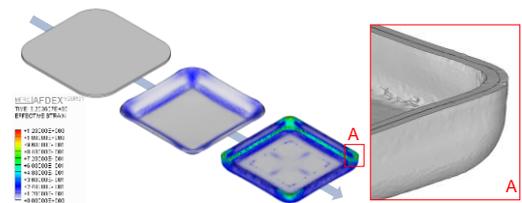
변화하는 시장의 요구를 충족하기 위해 제품의 경량화 및 원가절감을 위한 복합재료 적용 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 접합된 복합 소재 간의 박리 현상에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 이 연구에서 복합재료 판재의 체적소성가공 중 발생할 수 있는 박리 현상에 관한 해석적 연구를 수행했다.

2. 복합재료 판재성형 탄소성 유한요소해석

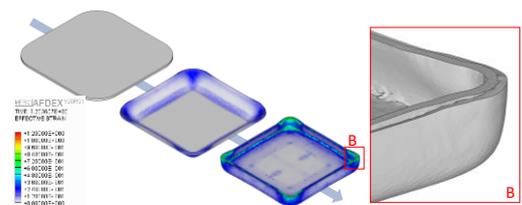
이종 소재가 적층되어 있는 복합재료 판재 시뮬레이션을 위하여 가상의 공정을 사용하였다[2]. Fig. 1은 소재간 경계를 완전 밀착한 조건과 Tasi&Wu criterion 모델에 의하여 박리가 가능한 조건을 적용한 유한요소해석 결과를 나타내고 있다.

3. 결론

이 연구에서는 이종 소재가 접합되어 있는 복합재료 판재성형 해석을 위한 3차원 탄소성 유한요소해석이 이루어졌으며, 박리 현상을 규명하였다.



(a) Full sticking condition between sheets



(b) Non sticking condition between sheets

Fig. 1 Composite sheet metal forming simulation

참고문헌

- [1] S. H. Chung et al., 2019, Elastoplastic finite element analysis of composite sheet, KSTP Fall Conf., p.111.
- [2] K. Mori, T. Nakano, 2016, State-of-the-art of plate forging in Japan, Prod. Eng. Res. Devel., 87-91.

1. ㈜MFRC
2. 공주대학교
3. 서울과학기술대학교
4# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

10. 포스터 발표

(제 8 발표회장)

너트 자동다단냉간단조 공정의 금형 최적설계 FE 모델에 관한 연구

변종복¹, 이광희², 전만수^{1#}

Study on FE model for optimizing die design of an automatic multi-stage cold forging of nut

J. B. Byun, K. H. Lee, M. S. Joun

Abstract

In this study, we propose a simplified FE model of axi-symmetric automatic five-stage cold forging process to which optimization technique is going to apply to obtain optimum die prestresses and selected dimensions of shrink rings in terms of die life considering the cross-sectional area rule and minimizing the difference in the stroke between the approximate and complete models. Comparison of actual 3D and simplified 2D models in terms of forming load, die stresses and metal flow lines validate the latter.

Key Words : Approximate Finite Element Model (근사유한요소모델), Cross-Sectional Area Rule (단면적 법칙)

1. 서론

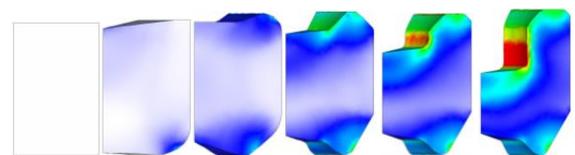
형상이 복잡한 단조공정의 최적화는 아직 다소 어렵다[1]. 반면, 형상변수가 아닌 일반 공정변수의 최적설계는 어렵지 않다[2]. 따라서 3 차원 실공정의 특징을 반영한 2 차원 공정을 만들 수 있다면, 최적설계의 측면에서 바람직하다[3]. 이 연구에서는 금형 수명 최적화를 위한 너트의 자동다단냉간단조 공정의 축대칭 근사해석 모델을 금형의 최적설계 관점에서 제시한다.

2. 금형예압 최적화를 위한 근사해석 모델

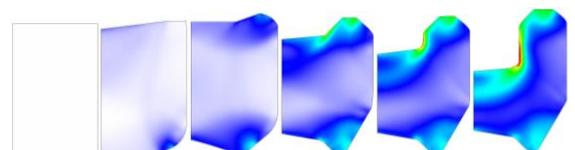
2 차원 근사모델에서 주요 반경은 3 차원 모델에서 너트 형상의 대표 단면적과 동일하게 결정한 후, 종료 시점에서 중심부의 높이 차이, 또는 상하 금형의 스트로크가 동일하도록 부분적으로 수정하여 최종 결정을 하였다. 사용된 유동응력은 개선된 Swift 모델을

사용하고, 마찰계수는 윤활처리된 코일재과 윤활유 환경을 고려하여 0.03 으로 가정하였다.

Fig. 1 은 3 차원 공정의 해석결과와 근사해석 모델의 해석결과 중 유효변형률을 비교하고 있다. Fig. 1(a)는 최소단면을 기준으로 나타낸 것이다.



(a) 3D model



(b) Simplified FE model

Fig. 1 Comparison of effective strain between 3D model and 2D simplified model

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. ㈜풍강

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

Fig 1(a)는 3 차원 공정정의 유효변형률을 Fig 1(b)는 근사해석 모델의 재료에 작용하는 유효변형률을 나타낸다. 3D 해석 모델과 2D 근사해석 모델의 결과는 유사한 형태를 보이며, 최대치는 각각 3.7 과 3.5 이다. Fig. 2 는 두 해석결과의 성형하중을 비교하고 있다. 대체적으로 유사한 패턴을 보이고 있으며, 3D 해석 모델과 2D 근사해석 모델의 최대성형하중이 각각 486 MPa와 454 MPa로 나타났다. Fig. 4(a)는 3 차원 공정에서 금형에 걸리는 유효응력을 Fig. 4(b)는 근사해석 모델에서 금형에 걸리는 유효응력을 비교하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 전반적으로 유사하게 나타났으며, 6 단계에서 상형, 즉 펀치에 작용하는 최대응력은 각각 3150 MPa 과 3100 MPa 로 나타났다.

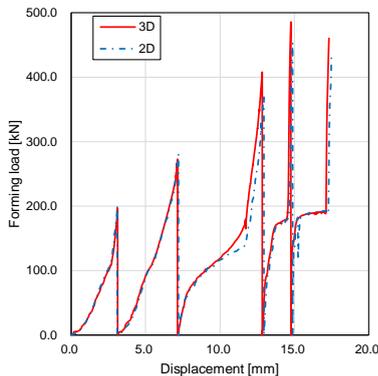


Fig. 2 Comparison of forming loads

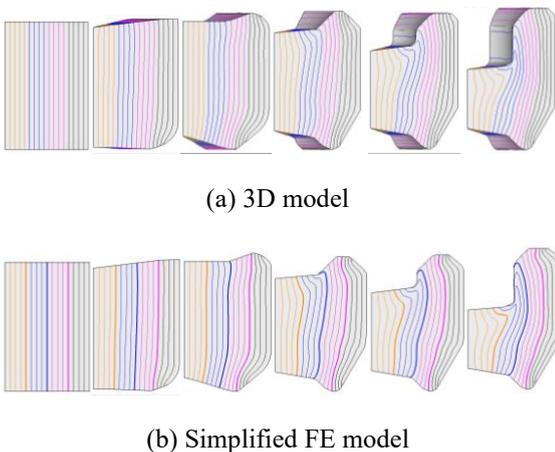


Fig. 3 Comparison between 3D and 2D predictions for grain flow line

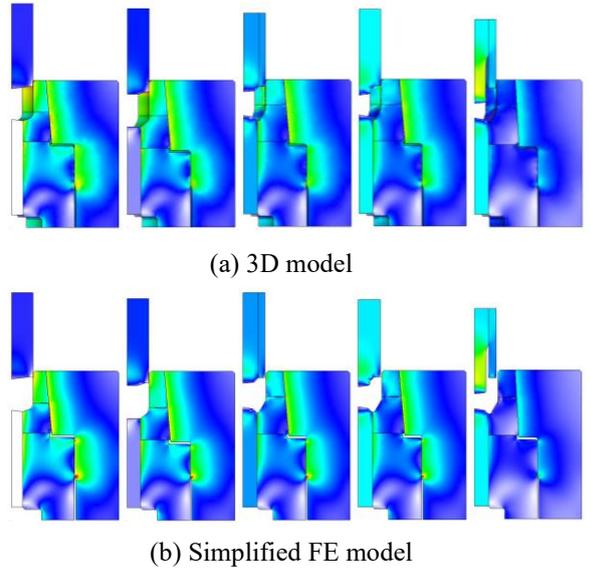


Fig. 4 Comparison between 3D and 2D predictions for die's effective stress

3. 결론

이 연구에서는 자동다단냉간단조 공법에 의한 너트 제조용 금형의 예압 최적화를 위한 중간 결과로서 실용적 금형 열박음의 설계 모델을 제안하였다.

후기

본 연구는 산업통상자원부의 산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술(과제 번호: 20003950) 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Y. H. Lee, M. C. Park, M. C. Kim, M. S. Joun, B. M. Kim, D. H. Kim, 2019, Development of cold forming process for productivity improvement of actuator ball nut with complex shape and high strength, KSTP Fall Meeting 2019, pp. 194-195.
- [2] S. W. Lee, J. M. Lee, M. S. Joun, 2020, On critical surface strain during hot forging of lubricated aluminum alloy, Tribol. Int., Vol. 141, pp. 105855.
- [3] M. S. Joun, 2008, Comparison of 2D and 3D simulations, MFCAE 2008, 91-101.

압조 센서를 활용한 냉간다단 단조기의 금형 수명 파손 모니터링

강성목^{#1} · 강기주¹ · 염승탁¹ · 이광희¹ · 김진용¹

Monitoring of tool life in multi-stage cold forging machine using piezo-sensors

S. M. Kang, K. J. Kang, S. R. Yeom, K. H. Lee, J. Y. Kim

Abstract

냉간 다단 단조기(Multi-stage cold forging)는 고속으로 제품을 생산하는 설비이다. 본 연구는 생산현장의 핵심 문제인 단조 금형 수명 파손을 실시간으로 모니터링하여 설비 비가동, 금형 파손 Trouble로 인한 설비 데미지 감소 및 생산력 증대를 통한 품질 및 원가경쟁력 강화의 기반을 마련하는데 목적이 있다.

Key Words : Cold Forming Process , piezo sensors , Tool life , in-situ monitoring

1. 서론

냉간 단조(Cold Forging)는 금속 소재를 재결정 온도 이하의 온도 또는 상온에서 금형 등으로 압력을 가해 소성 변형시킴으로써 원하는 형상의 제품을 만드는 기술이다. 냉간 단조로 형성된 제품은 단류선이 연속적이고 조직이 치밀해 주조 기술로 제조된 제품보다 강도가 뛰어나고, 비교적 높은 치수 정밀도와 부드러운 표면의 제품 제작이 가능하다[1~3].

이러한 냉간 단조(Cold Forging)에 많이 사용되는 냉간 다단 단조기(Multi-stage cold forging)는 일정한 형(틀, 금형)을 장착하여 고속으로 제품을 만들어 내는 단조 설비이며 본 연구에서는 압조 센서를 설비에 설치하여 금형의 파손 여부를 실시간으로 모니터링 하였다.

2. 실험방법

냉간 다단 단조기(Multi-stage cold forging)의 펀치 스토크 엣지(Punch stroke edge)에 압조 센서(Piezo-sensors)를 설치하여 펀치와 금형 타격시 발생하는 성형하중을 전기 신호로 변환하여 모니터링 장치에서 금형 수명 파손 여부를 검출하였다.



Fig. 1 System summary

¹ 주식회사 풍강

Corresponding Author : smollkang@pungkang.co.kr

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 진행한 냉간 다단 단조기(Multi-stage cold forging)의 금형 수명 파손 모니터링 결과 다음과 같이 검출됨을 알 수 있었다.

3-1. 펀치 수명 파손 검출 결과 설비 Trouble에 해당되는 공구 파손은 모니터링으로 검출 가능하나 미세 파손의 경우는 미 검출됨.

3-2. 금형 수명 파손 검출 결과 설비 Trouble에 해당되는 공구 파손은 모니터링으로 검출 가능하나 미세 파손의 경우는 미 검출됨.

펀치 파손 감지 사진	량 영	감 도	모니터링 검출
	#4	12	모니터링 검출 
	#4	12	미검출 작업자 설비 정지 후 교환

Fig. 2 punch test result

금형 파손 감지 사진	량 영	감 도	모니터링 검출
	#4	12	모니터링 검출 
	#4	12	미검출 작업자 설비 정지 후 교환

Fig. 3 die test result

4. 결론

본 연구에서 진행한 압조 센서(Piezo-sensors)를 활용한 냉간 다단 단조기(Multi-stage cold forging)의 금형 수명 파손 모니터링은 금형 파손 정도에 따라 검출 가능 유,무가 확인되었으며 설비 Trouble에 해당하는 금형 파손의 경우는 검출 되었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술(과제 번호: 20003950) 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] The Engineering Committee Division II, Small Products Industrial Fasteners Institute, 1984, "Cold formed parts yield impressive cost benefits", Manufacturing Eng., pp.43~48
- [2] Thoma j. Drozda, 1983, "Money saving innovation in automatic forming", Manufacturing Eng.,pp.32~39
- [3] Nada Shojiro, 1984, "Accurately forged parts by modern super-multistate parts former", Metal working Eng. Marketing, pp. 98~100

Direct Quenched Ultra-High Strength Steel: 미세조직, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 reduction rate 제어 영향

백민석¹ · 김영균¹ · 박태원² · 함진희² · 이기안[#]

Direct Quenched Ultra-High Strength Steel: The Effect of Controlling Reduction Rate on Microstructure, Tensile and High-Cycle Fatigue Properties

M.-S. Back, Y.-K. Kim, T.-W. Park, J. Ham and K.-A. Lee

Abstract

최근 thermo-mechanically controlled processes (TMCPs) 중 하나인 direct quenching (DQ)은 우수한 강도와 충격 인성을 동시에 확보할 수 있어 많은 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 DQ process로 제조된 ultra high strength steel (UHSS)의 미세조직, 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 reduction rate 영향에 대해 조사하였다. 이번 연구에 사용된 UHSS의 두께는 reduction rate 차이에 의해 6 mm (46.15 %, A alloy) 및 15 mm (9.23 %, B alloy)로 제조되었다. 두 소재 모두 near surface region (NSR)에서는 martensite를, center region (CR)에서는 auto-tempered martensite 및 bainite를 가지는 것으로 나타났다. NSR 관찰 결과, 두 합금의 prior austenite grain boundary (PAGB) size는 유사한 것으로 측정되었으며, martensite 크기 및 분율도 유사한 결과를 보였다. CR 관찰 결과, A alloy가 B alloy보다 상대적으로 미세한 PAGB size를 가지며, 특히 B alloy에서는 A alloy에서 생성되지 않은 martensite-austenite (MA) phase가 추가적으로 PAGB에서 확인되었다. 인장 시험 결과 미세하고 높은 분율의 martensite를 가지는 A alloy가 B alloy에 비해 약 180 MPa 높은 항복강도 (1522.54 MPa)를 나타냈으며 인장 강도 역시 뛰어난 것으로 측정되었다. 이와 함께 강도가 크게 증가했음에도 불구하고 연신율은 약 4 %로 유사한 결과를 보였다. 인장 파단면 관찰 결과에서 B alloy는 조대한 crack과 함께 deeper dimple들이 나타났다. 이는 MA phase가 crack initiation site로 작용하기 때문이며 그 결과 낮은 강도와 연신율을 가지는 것으로 판단된다. High-cycle fatigue (HCF) test 결과, A alloy와 B alloy의 fatigue limit은 각각 1125 MPa, 1025 MPa으로 A alloy는 강도 뿐만 아니라 fatigue resistance도 우수한 것으로 확인되었다. Fatigue crack initiation 영역에 대한 EBSD 분석 결과, M/B 계면이 fatigue crack site로 작용하는 것을 확인하였다. 이를 통해 항복 강도 이하에서 cyclic loading을 가하면 MA 상 보다는 M/B 계면이 crack initiation site로 작용하는 것을 알 수 있었다. [본 연구는 “국방과학연구소”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.]

Keywords: Direct quenching process; Ultra high strength steel; Tensile; High cycle fatigue; Reduction rate

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 국방과학연구소

교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr

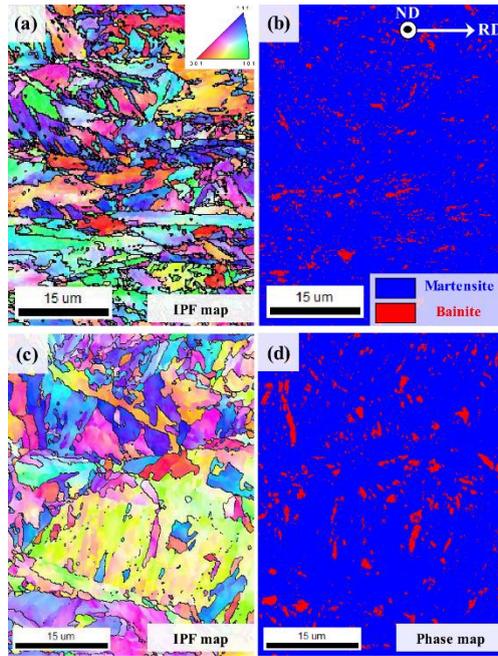


Fig. 1 (a) IPF map from center region of direct quenched steel (A alloy) (b) with corresponding selected area phase map in (a) revealing prominent martensite (blue) & bainite (red); (c) IPF map of B alloy (d) with phase map in (c). IPF: inverse pole figure

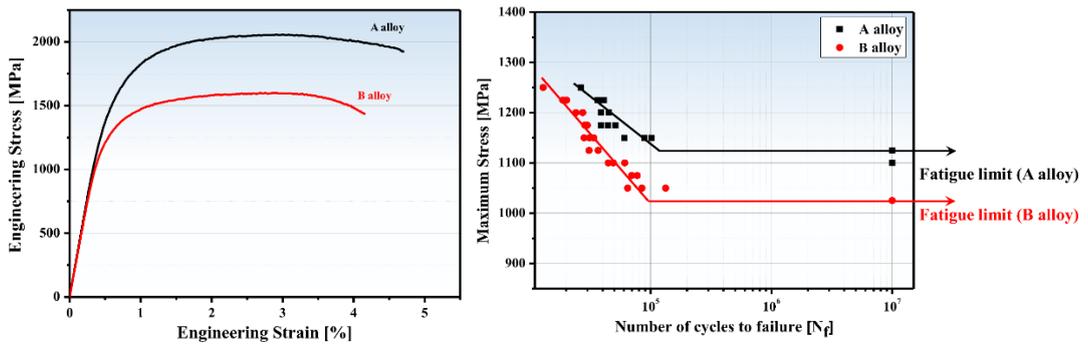


Fig. 2. Comparison of tensile & high-cycle fatigue properties of A and B alloys.

냉간단조 금형의 가공 및 압입에 따른 잔류응력 분석

김경일¹, 노우람¹, 조규섭^{1#}

Residual stress analysis according to processing and pressing of cold forging mold

K. I. Kim, W. R. Noh, G. S. Cho

Abstract

냉간단조용 금형은 대부분 우수한 기계적 성질을 갖는 복합재료인 WC-Co합금을 사용한다. 최근이 금형의 수명을 연장시키기 위해 많은 연구가 이뤄지고 있는데 WC의 크기와 Co함량을 조절하는 것도 중요하지만 근본적으로 소결을 통해 금형을 제작하고 이를 가공할 때 발생하는 잔류응력이 수명에 큰 영향을 미친다. 실제로 해외에서 만들어지는 금형은 그 조성과 조직이 유사하더라도 수명이 2~3배 가까이 높게 나타나기도 한다. 본 연구에서는 금형이 제작되고 가공되는 과정에서의 잔류응력상태를 indentation 실험을 통해 확인하고 냉간단조에 사용된 후의 잔류응력상태와 비교하여 금형의 표면이 어떤 영향을 받는지 확인하였고 이를 통해 잔류응력이 금형수명 미치는 영향도 분석하였다.

Key Words : Residual stress, Indentation, Cold forging

1. 서론

WC-Co 초경합금은 Co 기지 내에 WC 입자가 미세하게 분포되어 WC입자의 높은 경도와 Co 기지의 높은 연성이 복합된 우수한 기계적 성질을 갖는 복합재료이다. WC-Co 초경합금의 경우 특히 절삭공구, 내 마모, 내 충격 공구, 고온 고압용 부품 등 다양한 용도로 널리 사용되고 있다. 특히 냉간 단조용으로 많이 쓰이는 금형의 경우 가공 상태에 따라 금형의 표면 응력상태가 확연히 다르게 나타나며 이는 금형의 수명과도 직결된다. 본 연구에서는 금형의 가공상태 및 단조횟수에 따라 초경합금(G5, G8소재)이 갖는 잔류응력의 영향을 indentation 실험을 통하여 평가하고 표면응력상태가 금형의 수명에 미치는 영향을 분석 하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 금형은 G5와 G8으로 각각 CO의 함량에 차이가 있으며 함량에 따라 같은 경향을 보이는지 확인하기 위해 두 개의 초경소재를 활용하였다. 각 초경소재는 소결 직후의 원소재 상태와 가공 후 상태 그리고 링 압입 후의 상태로 나누어 실험을 진행하였다. 특히 G8 초경합금의 경우 275,000회의 냉간단조 공정을 진행한 후의 금형도 실험을 수행하였다. 각 금형은 잔류응력 측정을 위해 AIS-3000장비를 사용하여 Vickers micro indentation 실험을 수행하였으며 100kgf의 하중을 일정하게 주며 Load-Depth 그래프를 이용하였다. 또한 indent mark의 넓이를 광학현미경을 이용해 측정하고 Oliver-Pharr equation을 활용하여 금형의 가공별 상태에 따른 잔류응력 값을 측정하였다.

1. 한국생산기술연구원 융합공정소재그룹
교신저자: 한국생산기술연구원, gscho@kitech.re.kr

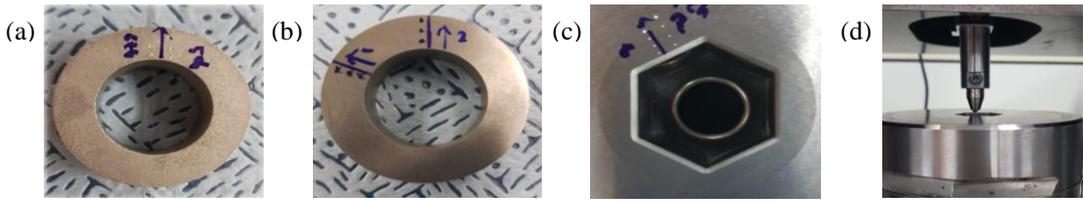


Fig. 1 mold condition; (a) as sintered (b) polished (c) pressed and (d) pressed mold under indentation experiment.

3. 결과

금형의 가공상태에 따른 indentation 그래프를 fig. 2에 나타내었다. 아래 보이는 것과 같이 소결직후 상태의 금형에 비해 가공을 하였을 때 G5와 G8모두 압축응력을 더 받는 것을 확인할 수 있다.

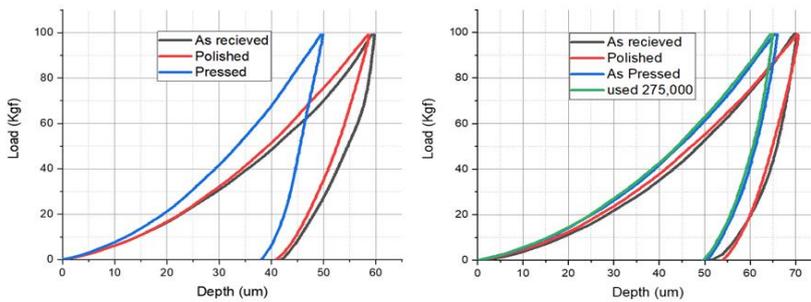


Fig. 2 Indentation result of (a) G5 mold and (b) G8 mold

소결직후의 금형은 검은색으로 나타났으며 가공된 금형은 빨간색, 실제 사용하기 위해 링에 삽입된 금형은 파란색으로 나타내었다. 또한 G8의 경우 275,000회 냉간단조가 이뤄진 선도 나타내었다. 두 금형 모두 100kgf의 같은 하중을 가하였을 때 소결직후에 비해 가공된 상태일때 깊이가 작게 나타났으며 링에 삽입된 후에는 확연하게 깊이가 작게 나타남을 확인하였다. 이 결과를 이용하여 Oliver-Pharr equation을 사용하여 잔류응력 값을 측정하였다.

4. 결론

본 연구에서는 냉간 단조용 금형재료로 사용되는 G5와 G8초경합금의 가공상태와 사용 후 에 따른 잔류응력을 indentation을 활용하여 측정하였으며 실험 결과는 아래와 같다.

1. 실험에 사용된 금형은 소결직후에 비해 가공 및 압입 상태에서 압축응력을 더 많이 받는 경향을 보이며 G5소재의 경우 압입시 9715MPa의 압축응력을 받고 G8소재는 2643MPa의 압축응력을 받는다.
2. 냉간단조 후 금형은 사용에 따라 압축응력을 더 받으며 최종적으로 파단이 일어난다.

참고문헌

[1] Yun-Hee Lee, Dongil Kwon, 2003, “Measurement of residual-stress effect by nanoindentation on elastically strained (100) W”, Scripta Materialia 49, 459–465

[2] W. C. Oliver, G. M. Pharr, 1992, “An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments”, J. Mater. Res., Vol. 7, No. 6 1565-1583

[3] M.T. Attaf, 2004, “Connection between the loading curve models in elastoplastic indentation”, Materials Letters 58 3491–3498

FE 해석을 통한 Ø0.8mm 텅스텐 와이어 인발(Drawing) 공정의 최적화 설계

박창순¹, 이해진², 임성주¹, 박경태³, 박진호⁴, 임성식^{#1}

Process Design Optimization of Ø0.8mm Tungsten Wire Drawing using the FEM Simulation

C. S. Pak, H. J. Lee, S. J. Lim, K. T. Park, J. H. Park, S. S. Lim

Abstract

텅스텐은 우수한 내식성과 열팽창률이 낮은 고용점 금속으로 전자재료, 절삭공구, 표면처리 등 여러 산업에 폭넓게 사용되며 수요가 점차 증가하고 있는 추세이다. 진공증착법(vacuum metallizing)의 핵심부품으로 사용되는 텅스텐 필라멘트는 해외에서 와이어나 Twist상태를 대부분을 수입해서 가공하여 공급하고 있기 때문에, 텅스텐 와이어 제조 기술 확보 및 공정설계가 필요한 실정이다.

인발 공정에서 생산효율과 비용적인 측면을 고려할 때 소재의 단선이나 파단이 발행하지 않는 최대 단면 감소율을 찾는 것이 중요하기 때문에 본 연구에서는 Ø0.8mm급 텅스텐 와이어 제조를 위하여 FE 해석을 통한 인발(Drawing)공정 최적화를 수행하였다. 또한 소재의 정확한 물성을 얻기 위해 Gleeble 시스템을 이용하여 다양한 조건으로 열간압축 실험을 진행 하였고 이 결과를 해석 시 물성으로 활용하여 해석 결과의 정확성을 높이고자 하였다.

Key Words : Tungsten, Hot drawing, Simulation,

-
1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹
 2. 한국생산기술연구원 마이크로나노공정그룹
 3. 한국생산기술연구원 희소금속산업실
 4. 한국생산기술연구원 디지털제조공정그룹

교신저자: 한국생산기술연구원 성형기술그룹, E-mail: sslim@kitech.re.kr

다공성 임플란트 제조를 위한 Ti6Al4V 필라멘트의 압축성 형에 관한 연구

박창순¹, 이해진², 임성주¹, 김용배¹, 정병관², 임성식^{#,1}

A Study on Compression Molding of Ti6Al4V Filament for manufacturing of Porous Implant

C. S. Pak¹, H. J. Lee², S. J. Lim¹, Y. B. Kim¹, B. K. Chung², S. S. Lim[#]

Abstract

A porous implant containing anti-inflammatory agents, stem cells, drugs, etc. is inserted into the body to prevent an inflammation in the therapeutic area. An inserted implant releases the contained substances to increase the therapeutic effect. To produce an implant with a higher porosity rate, Ti6Al4V filament, a material with proven biocompatibility, was selected.

The Compression Tests was conducted using a mold which was newly designed. Ti6Al4V filament which have different diameters, 50, 100, and 200 μ m, were mixed at a specific ratio(7:3) and compressed into compaction samples with a diameter of 10 mm. Subsequently, these compacted samples were examined and evaluated.

The porosity rate and bending strength of compacted samples were measured according to compression load and mixing ratio. A cell proliferation test was also conducted on these samples under various experimental conditions, to indirectly evaluate their adhesion strength and other properties when inserted into the body.

Key Words : Ti6Al4V Filament , Implant, Compression Test

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹
2. 한국생산기술연구원 마이크로노공정그룹
교신저자: 한국생산기술연구원. E-mail: sslim@kitech.re.kr

냉간 단조용 선재의 열처리 시 발생 가능한 표면 이상성에 대한 연구

김석¹, 박형기², 제강현³, 이명진⁴, 이유환[#]

Study on the Abnormal Behavior at the Surface During Heat Treatment of Steel Wire for the Cold Heading

S. Kim, H. K. Lee, K. H. Kang, M. J. Lee, Y. H. Lee

Abstract

냉간 소성가공 시 표면 윤활 목적으로 사용되는 인산염 피막은 가격이 저렴하고 취급이 용이하게 때문에 대부분의 냉간단조 제품 제조 시 널리 사용되고 있다. 인산염 피막처리는 냉간단조 시 소재가 금형에 눌러붙는 현상의 방지 및 윤활제의 역할을 하는데 목적이 있다. 금속의 화성처리는 금속표면에 대하여 특정조건으로 조정된 화성액(부식액)을 사용하여 표면에 수불용성, 즉 소재금속 표면에 대하여 고착성이 높은 부식 생성물을 만들어 피막의 물리적 또는 화학적 성질을 이용하여 방청, 도장하지 등에 이용하고 있다. 이러한 인산염처리의 종류는 여러 가지가 있는데 인산염철의 경우 인산철, 인산아연, 인산망간, 인산칼슘, 인산크롬피막 등이 있다. 인산염을 이용한 화성처리는 인산아연계나 인산철계로 하는데 일반적으로 인산아연계를 사용하고 있다. 인산아연계가 내식성 및 흡습성, 부착력이 높아 국내에서는 90% 이상이 사용하고 되고 있는 실정이다.

그러나, 인산염 피막의 역할은 냉간 단조 시 금형과 소재 간에 발생하는 소착 또는 Galling을 방지하는데 활용될 뿐, 요구하는 형상을 확보한 후에는 불필요한 것이다. 특히 냉간 단조를 통하여 요구하는 형상을 얻어낸 후 열처리를 수행하는 경우, 표면에 침투하여 입계파괴를 유발하거나 표층에 인화합물을 생성시키는 등의 악영향이 발생하기도 한다.

따라서 본 발표에서는 인산염피막내에 포함된 인 성분으로 인해 발생하는 여러 현상들을 살펴보고, 열처리(특히 Quenching 및 Tempering) 조건에 따른 인산염 피막의 변화과정과 미세조직적 분석을 통하여 향후 인화합물의 특징과 생성 조건 및 더 나아가서는 방지 방안을 예상해볼 수 있는 내용에 대한 소개가 이루어질 것이다.

Key Words: Cold Heading Quality (냉간 압조용), Quenching(급냉), Phosphate(인산염), Coating(피막), Microstructure(미세조직)

1~4. 태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실/팀, 주임
#. 태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실/팀, 부장
E-mail: youhwan.lee@taeyangmetal.com

초고강도 체결용 부품의 제조 방법에 따른 기계적 물성 및 체결 특성 평가

이인제¹, 송승우², 이유환[#]

Evaluation of the Mechanical and Fastening Properties on the Super High Strength Fasteners according as the Manufacturing Processes

I. J. Lee, S. W. Song, Y. H. Lee

Abstract

차량 중량 감소 및 연비 향상의 요구에 따라 거의 극한에 이르는 엔진 다운사이징이 요구되고 있는 것이 현실이다. 그러나 엔진의 중량 또는 부피 감소와는 반대로 고출력이 요구되기 때문에 엔진 부품은 높은 부하 또는 열악한 작동 환경에 놓여있게 된다. 따라서 엔진의 주요 요소를 연결하는 체결 부품은 지속적인 중량 감소 및 높은 내구성이 요구되고 있다.

이에 따라 국내/외의 주요 체결부품 제조사는 다양한 종류의 초고강도 체결 부품 개발에 경주 중이다. 체결 부품에서 가장 중요한 요소는 최초 설계 단계 또는 구동 환경 중 가해지는 진동 및 외력에 대한 저항성 확보 및 부품의 결합 유지 목적으로 정확한 체결이 이루어져야만 한다. 그러나 정확한 체결 조건을 선정하기 위해서는 해당 체결부품의 체결 특성을 잘 이해하여야 하며, 그 체결 특성은 체결부품의 기계적 특성으로부터 결정된다는 것은 두말할 나위가 없을 것이다.

또한 체결 부품의 기계적 특성은 합금성분과 열처리 및 기타의 제조방법에 따라 결정되기 때문에 최적의 체결 조건에 대한 이해 및 설정을 목적으로 하는 경우, 상기 나열된 거의 모든 부분을 이해함으로써 정확한 정보가 얻어질 수 있을 것이다. 따라서 본 연구발표에서는 동일한 초고강도 즉, 인장강도 1400MPa 수준을 가지면서 서로 다른 제조공정에 따라 제조된 두 가지 체결 부품에 대한 기계적 특성과 각각의 체결 특성에 대한 평가 결과에 대하여 논의될 것이다.

이것은 통상 최종 quenching 및 tempering 열처리를 거치지 않는 비열처리형 체결부품과, quenching 및 tempering 열처리를 거쳐 제조되는 열처리형 체결부품에 대하여 주요한 기계적 특성을 평가하고, 실제 체결에 요구되는 다양한 특성을 평가함으로써 체결 특성에 미치는 다양한 기계적 특성의 효과 및 상호관계가 고찰될 것이다.

Key Words: Super High Strength(초고강도), Fastener(체결부품), Engine Bolt(엔진볼트), Clamping force(체결력), Microstructure(미세조직)

1. 태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실/팀, 대리
2. 태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실/팀, 사원
#. 태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실/팀, 부장
E-mail: youhwan.lee@taeyangmetal.com

금속분말사출 성형된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직 변화거동

김민준¹· 백승훈²· 윤동근²· 김종하³· 이은혜³· 고영건[#]

Microstructure evolution of Ti-6Al-4V alloy via metal injection molding

M. J. Kim, S. H. Baek, D. K. Yoon, J. H. Kim, E. H. Lee, Y. G. Ko

Abstract

This study aimed at investigating the effect of sintering condition on microstructure evolution and tensile properties of Ti-6Al-4V alloy sample processed by metal injection molding (MIM) in terms of the sizes of alpha morphology and pore found in the matrix. For this purpose, a series of MIM were carried out on the present sample at various sintering temperatures ranging from 1173 to 1423 K for 3 hours followed by furnace cooling, which was observed by scanning electron microscopy. The microstructures sintered in this study showed that, with increasing sintering temperature over beta transus temperature, the transformation of equiaxed alpha into transformed beta was attained while the size of pores would tend to decrease. Thus, strength remained unchanged significantly in tension while ductility increased to some extent as sintering temperature increased. Such mechanical behavior would be explained in relation to microstructure evolution of Ti-6Al-4V alloy sample via metal injection molding.

Key Words : Metal Injection Molding (MIM), Alpha morphology, Pore, Temperature

Acknowledgement

This work was supported by Industrial-Academic Research Institute Technology Convergence Support Project of Material and Parts Development though the Gyeongbuk Economic Promotion Agency.

1. 영남대학교 신소재공학부
2. 영남대학교 신소재공학부
3. (주)계림금속 기술연구소
교신저자: 영남대학교 신소재공학부 E-mail: younggun@ynu.ac.kr

냉간 성형 스프링의 응력제거 열처리에 따른 형상 변화와 잔류응력 및 경도에 미치는 영향

신동열¹, 주윤창², 신정규^{2#}

Effects of Shape Change, Residual Stress and Hardness by Stress Relieving Heat Treatment of Cold-formed Springs

D. Y. Shin, Y. C. Joo, J. K. Shin

Abstract

본 연구는 자동차 현가장치에 적용되는 냉간 성형 스프링의 응력제거 열처리 조건에 따라 형상 요소의 변화, 잔류응력의 변화 및 경도 값의 변화를 확인하여 형상 및 물성 변화를 고려한 스프링의 설계 기술 확보 및 열처리 공정 조건의 최적화를 위한 데이터 확보가 목적이다. 응력제거 열처리의 온도 및 시간 조건에 따라 스프링의 최대 외경, 총 코일 권 수 및 자유고와 같은 형상 요소의 변화를 측정하였으며, 코일 내·외측 표면부의 잔류 응력의 완화 정도를 확인하였고, 그에 따른 경도 값의 변화를 확인할 수 있었다.

Key Words : Suspension Spring(현가스프링), Cold-forming(냉간성형), Stress Relieving(응력제거), Residual Stress(잔류응력)

1. 서론

자동차용 현가장치에 적용되는 스프링은 일반적으로 열간 성형 또는 냉간 성형 공정을 통해 제작된다. 특히 냉간 성형 스프링은 이미 퀘칭 및 템퍼링 공정을 거친 인장강도 1800 MPa 이상의 스프링 강선을 상온에서 성형하기 때문에 성형 직후 상당히 큰 잔류응력이 스프링에 발생하게 된다. 이러한 잔류응력은 제품 형상에 따라 표면 및 중심부 등에서 불균일하게 나타나기 때문에 이로 인한 균열 발생을 방지하기 위해 냉간 성형 이후 수시간 이내 응력제거 열처리를 실시하는 것이 일반적이다. 이러한 과정에서 스프링의 형상 변화가 수반되기 때문에 스프링의 최종 형상을 설계할 때 형상 변화를 예측하여 설계 오차를 최소화하여야 한다. 또한 열처리 조건에 따른 잔류응력과

경도의 변화를 확인하여 이를 최적 제어하기 위한 데이터 확보가 필요하다. 본 연구에서는 1800 MPa 이상의 인장강도를 갖는 냉간 성형 스프링의 응력제거 열처리 조건에 따른 형상변화와 잔류응력 및 경도 영향을 살펴보고자 하였다.

2. 실험방법

스프링 소재는 현가 스프링으로 널리 사용되는 SAE9254 Si-Cr강으로 직경 12 mm의 선재를 10.6 mm로 인발 후 유도가열처리 방식의 퀘칭 및 템퍼링을 실시한 강선으로 제조하였으며, 이를 양단 피그테일(pigtail) 형태의 스프링으로 냉간 성형하였다. 열처리 온도 조건 5가지와 시간 조건 5가지를 조합하여 총 25가지의 열처리 조건별 스프링 샘플을 준비하였으며, 열처리 전 샘플과의 비교를 실시하였다.

형상 측정은 휴대용 3D 레이저 스캐너를 사용하여 최대 외경, 총 코일 권 수, 자유고

1. 주식회사 영흥, 철강사업본부 기술연구팀
2. 주식회사 영흥, 자동차부품사업본부 기술연구소
교신저자 : 영흥, E-mail : comshin@youngwire.com

를 정하였고, 잔류응력은 스프링 상단 기준 0.5권 및 3.5권의 내·외측 표면에 깊이 0.12 mm 지점에 대해 XRD 잔류응력 측정기를 사용하여 측정하였다. 경도는 0.5권 및 3.5권의 스프링 코일 횡단면을 로크웰 C스케일(하중 150kgf)의 경도계로 내·외측의 일직선 상을 5포인트씩 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

- 열처리 온도와 시간 증가 시 스프링의 최대 외경은 감소하고 코일 권 수는 증가한다. 자유고는 변화 경향이 나타나지 않았다.
- 잔류 응력은 열처리 온도 및 시간 증가에 따라 감소하였다. 코일 직경에 따라 잔류 응력의 차이가 확인되었다.

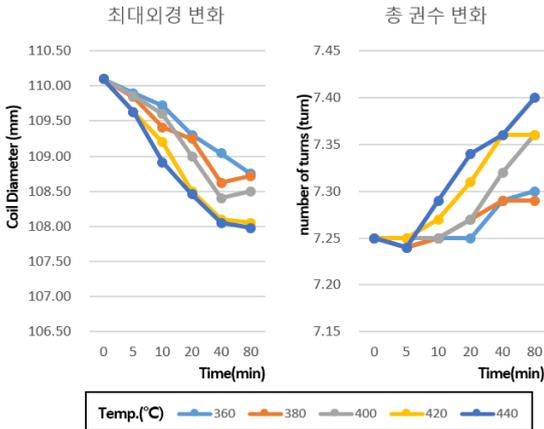


Fig. 1. 스프링 최대외경 및 권수의 변화

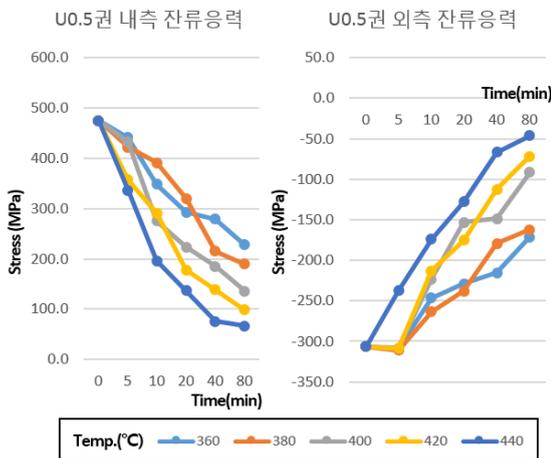


Fig. 2. 스프링 잔류응력의 변화.

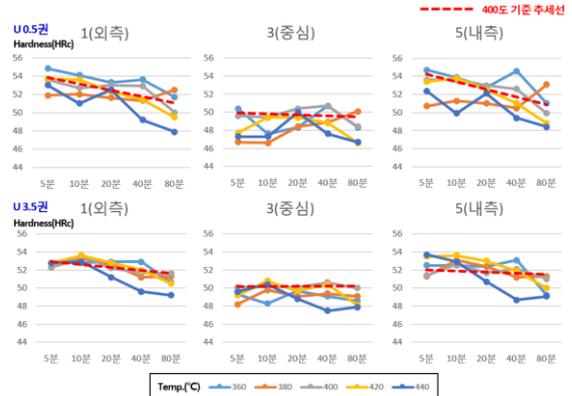


Fig.3. 열처리 후 위치 별 경도 변화.

- 경도는 표면부의 경도변화가 큰 반면 중심부의 경도는 변화 정도가 미미하였다.

4. 결론

- 스프링 형상 요소 중 최대 외경, 총 권 수는 열처리 전과 후를 비교할 때 유의미한 변화가 확인되었으며, 스프링 설계를 위한 형상 변화 예측이 가능할 것으로 확인되었다. 단, 자유고는 변화 정도가 매우 미미하였다.
- 잔류 응력의 경우 열처리 후 완화 경향이 뚜렷하게 나타나며, 높은온도에서 비교적 장시간 처리 시 거의 제거되는 수준에 이르나 형상 변화 및 경도 등 다른 요소를 고려하여 적정 수준을 확인할 필요가 있다고 판단되었다.
- 경도의 경우 내·외측 모두 표면부에서는 열처리 조건에 따른 경도 변화가 경향성을 가진 반면, 중심부의 경도 변화는 뚜렷한 경향이 없는 것으로 확인되어 열처리 조건 설정 시 중심부의 경도보다는 표면부의 경도에 대한 평가가 우선적으로 고려 되어야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- Domenic A. Canonico, ASM Handbook Vol. 4. Section : Heat treating of steel, ASM International, 2004, pp.53 ~ 55
- J. Matejcek, Materials Science and Engineering A 367, 2004, pp.306 ~ 311

실험계획법과 유한요소해석을 이용한 자동차 컴프레셔 디스크 전단공정 설계

최용진¹, 이성윤¹, 이인규¹, 이상곤¹, 황선광¹, 김상영², 정명식^{1,#}

A Shearing Process Design for a Compressor Disc of Automotive Using Finite Element Analysis and Design of Experiment

Y. J. Choi, S. Y. Lee, I. K. Lee, S. K. Lee, S. K. Hwang, S. Y. Kim, M. S. Jeong

Abstract

본 연구는 전단가공시 전단면과 파단면의 길이를 결정하는 다양한 변수 중 펀치의 각도, 펀치의 R, Holding Pad의 압력을 변수로 설정하였다. 설정된 변수들을 실험계획법으로 분류하여, Finite Element Analysis(이하 FEA)을 활용해 각 변수들이 전단공정에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 전단가공을 FEA에 적용하기 위하여, 연성파괴 값 C(Normalized Cockcroft-Latham)를 역해석 방법을 활용해 결정하였다. 결정된 연성파괴값 C와 인장시험을 통해 도출된 SPHC 소재의 Stress - Strain Curve를 활용하여 FEA를 진행하였고, 각 변수의 해석 결과를 분석하였다. 분석결과 펀치의 각도가 전단면과 파단면의 길이에 가장 큰영향을 미치는것으로 확인되었으며, 각 변수의 조합에 따라 전단면, 파단면의 길이가 달라지는 것을 확인하였다.

Key Words : Design of Experiment, Finite Element analysis, Shearing Process Design, Normalized Cockcroft-Latham

1. 한국생산기술연구원, 연구원, 수석연구원, #수석연구원
2. (주)디에이치테크, 선임연구원
교신저자: 한국생산기술연구원, 수석연구원. E-mail:
msjeong@kitech.re.kr

다단 인발 봉재의 변형률 예측

이성민^{1,2}, 이인규¹, 이성윤¹, 차경제¹, 문영훈², 이상곤[#]

Prediction of Strain in Multi-pass Drawn Bar

S. M. Lee, I. K. Lee, S. Y. Lee, K. J. Cha, Y. H. Moon, S. K. Lee

Abstract

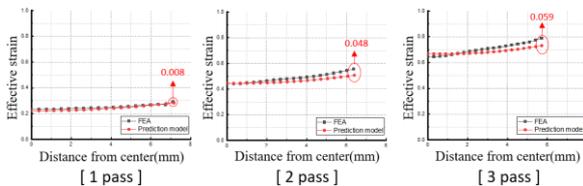
봉재 인발(drawing)공정은 초기 봉재를 다이에 통과시켜 원하는 직경의 봉재를 가공하는 공정이다. 다단 인발의 경우 일반적으로 2개 이상의 다이를 통과하게 된다. 인발공정의 경우 공정 특성상 다이와 직접적인 접촉이 발생하는 봉재 표면부의 변형률이 중심부보다 상대적으로 높다. 이로 인해 중심부와 표면부의 기계적 물성 편차가 발생하게 된다. 따라서, 기계적 물성 편차를 평가하기 위해서는 다단 인발된 봉재의 변형률 분포 평가가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 변형률 예측모델과 유한요소해석을 이용해 다단 인발된 봉재의 변형률을 평가하였다. 이를 통해 인발된 봉재의 중심부터 표면까지의 변형률 분포를 예측하였다. 또한, 압축시험과 경도측정을 통해 변형률과 경도와의 관계를 도출하였다. 본 연구결과로 토대로 향후 불균일한 변형률 분포로 인해 발생하는 인발 봉재의 기계적 물성 편차를 평가할 예정이다.

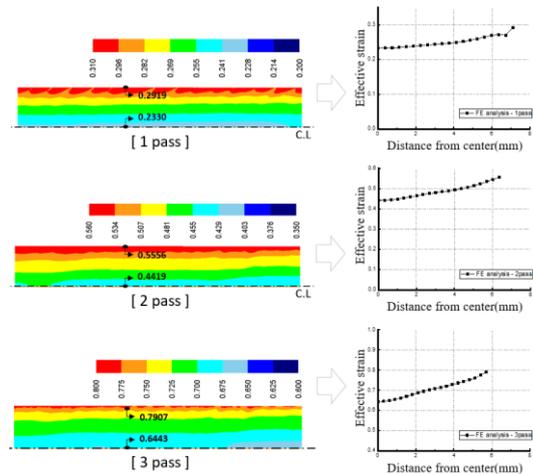
Key Words : Multi-pass drawing, Prediction of strain, Non-uniform strain, Finite element analysis

$$\bar{\epsilon} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{11}{12} \left(\frac{R}{R_f}\right) \sin^2 \alpha}{1 - \left(\frac{R}{R_f}\right)^2 \sin^2 \alpha}} \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_f}\right) + \mu \cdot \left(\frac{R}{R_f}\right)^2$$

[Strain prediction model]



[Predicted strain]



[Distribution of strain (FE analysis)]

* 본 연구는 한국생산기술연구원의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹
 2. 부산대학교 기계공학부
- # 교신저자: 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹, 수석연구원.
E-mail: sklee@kitech.re.kr

플라즈마 전해 산화 시 Mg-Al-Zn 합금에 형성되는 MgO 층의 핵 생성 및 성장

백승훈¹ · 나쉬라니사¹ · 김민준² · 윤동근² · 고영건[#]

Nucleation and Growth Phenomena of MgO Layer Formed on Mg-Al-Zn Alloy via Plasma Electrolytic Oxidation

S. H. Baek¹, N. Nashrah¹, M. J. Kim², D. K. Yoon², Y. G. Ko[#]

Abstract

This study investigated the formation mechanism of the oxide layer generated by micro-arc oxidation (MAO) considering surface roughness of AZ31 Mg alloy. For this purpose, a series of MAO under alternating current in a silicate-based electrolyte were performed on two present samples with grooved and flat surfaces. The time-voltage response presented that the grooved sample reached the breakdown voltage earlier than the flat sample. This indicated the appearance of micro-discharges on the grooved sample occurred earlier than that of the flat sample since the oxide debris nucleated preferentially at the ridge areas where electrons were concentrated severely under high electrical field. The oxide layer of the grooved sample was relatively less dense than that of the flat sample. This was attributed to the fact that the oxide layer of the grooved sample was likely to grow with ease on pre-existing coating layer whereas the oxide layer of the flat sample developed conformably throughout the whole areas. Thus, the growth rate of the grooved sample was higher than that of the flat sample, which agreed well with micro-discharge activities. Such formation mechanism was proposed in relation to nucleation and growth of the oxide layer formed on the different surface structures.

Key words : Magnesium alloy, micro-arc oxidation, surface roughness, nucleation, growth

서론

마그네슘과 그 합금은 높은 전자파 차폐 특성과 양호한 강도로 인해 다양한 상업적 용도에 적합한 유망한 금속 후보 중 하나로 내부식성을 향상시킬 수 있는 방법에 관해 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 내부식성을 향상시키는 표면처리 기술들 중 플라즈마 전해 산화를 연구하였다. 이전 플라즈마 전해 산화 공정에서 전해액, 전류의 변수가 산화피막 내부식성 물성에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 있었지만 본 연구에서 살펴보고자 하는 표면 거칠기에 따른 산화피막 핵 생성 및 성장 거동과 이에 따른 내부식성 영향은 연구된 바가 없으므로 연구결과를 제시하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 중견연구자지원사업(유형 1-2) 지원을 받아 수행하였기에 이에 깊은 감사를 드립니다. (# 2020R1A2C2004192)

1. 영남대학교 신소재공학부
2. 영남대학교 신소재공학부
교신저자: 영남대학교 신소재공학부,
E-mail: younggun@ynu.ac.kr

11. 포스터 발표

(제 1 발표회장)

Zr합금 튜브 냉간 필거링용 윤활제 개발

박기범¹· 차정우¹· 박민영^{1#}

Development of cold pilgering lubricant for Zr-alloy tubing

K.B. Park, J.W. Cha, M.Y. Park

Abstract

It is obvious that the cold pilgering process is one of the key processes controlling the quality and the characteristics of the Zr-alloy tubes. KEPCO Nuclear Fuel Company(here in after KEPCO NF) has made many efforts to improve tubing quality in recent years and as a results of this, developed the design and grinding technology of pilger dies and mandrels successfully. But the issues of minor inner defects during pilgering process were emerged as a major interest in quality, KEPCO NF started the development of pilgering lubricant from 2018.

The goal of this study is the development of pilgering lubricant which is suitable for KEPCO NF's fabrication process. Thus, chemical and physical analysis for current product were conducted and then the level of each characteristics was set. The tubing tests of the pilot products which are manufactured by some suppliers(oversea and domestic companies) were carried out in order to find the optimized formula and characteristics.

Pilgering lubricant can affect not only the surface quality of tubes but also life time of pilger tools(dies, mandrel) and mechanical parts of pilger machine(bearing, roll neck assembly). Because of this, the newly developed lubricant shall have better characteristics of lubricating and abrasion resistance performance. Therefore, the evaluation consists of three steps which are the visual examination(compared to visual standard) for tube samples after pilgering, the roughness test of inner and outer surface and lab. test for lubricating performance by micro tapping torque test and abrasion resistance by 4-ball test.

As a results of evaluation of final pilot product, the visual inspection and roughness of surface quality were satisfied the requirements of KEPCO NF and all the physical characteristics were equal of higher than current product, in addition, the characteristic against decomposition is far better than current status.

Key Words : Cold Pilgering, Zr-alloy, Lubricating Technology, Nuclear Fuel

1. 한전원자력연료㈜

교신저자: 한전원자력연료㈜ 공정기술처, E-mail: mypark@knfc.co.kr

이속압연을 통한 초미세 결정립 저탄소강의 정적 어닐링 시 미세조직 변화

윤동근¹ · 김민준² · 박선엽² · 고영건[#]

Microstructural evolution during static annealing of ultrafine-grained low-carbon steel via differential speed rolling

D. K. Yoon, M. J. Kim, S. Y. Park, Y. G. Ko

Abstract

This study investigated the static annealing behavior of ultrafine-grained low-carbon steel fabricated by differential speed rolling (DSR) process. For this purpose, the samples processed by 4-pass DSR at roll speed ratio of 1:4 for the lower and upper rolls, respectively. It was annealed at temperatures ranging from 698 K to 898 K for 1 hour. The deformed samples exhibited a complex microstructure in the ferrite phase consisting of an equiaxed structure with a mean grain size of $\sim 0.4 \mu\text{m}$ and a lamellar structure with a mean lamellar width of $\sim 0.35 \mu\text{m}$. The texture evolved after DSR deformation consisted of components with orientations belonging to the rolling texture and shear texture. After static annealing at temperatures lower than 798 K, the aspect ratio of the deformed grains tended to shift toward a unit corresponding to the equiaxed shape, whereas the grains tend to be stable during annealing. In addition, grains with low dislocation densities began to appear due to static recrystallization in the severely deformed ferrite grains at temperatures above 798 K, which also help to produce equiaxed grains with ultrafine sizes. The strong fiber texture consisting of α - and γ -components, which formed after deformation by DSR, tended to become weaker and more uniform with increasing annealing temperature.

Key Words : Low-carbon steel, Differential speed rolling, Static annealing, Ultrafine-grain, Texture

Acknowledgement

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE), Republic of Korea (NRF-2017R1D1A1A09000921)

1. 영남대학교 신소재공학부

2. 영남대학교 신소재공학부

교신저자: 영남대학교 신소재공학부 E-mail: younggun@ynu.ac.kr

자동차용 알루미늄 도어 인너의 온간 드로잉 성형에 관한 연구

석주성¹, 송영빈¹, 임용희¹, 권태하², 전효원², 오상균², 서창희[#]

A Study on Warm Drawing of Automotive Aluminum Door Inner

J. S. Seok, Y. B. Song, Y. H. Lim, T. H. Kwon, H. W. Jeon, S. K. Oh, C. H. Suh

Abstract

알루미늄 판재 소재는 자동차의 경량화를 위해서 차체부품으로의 적용이 점차 증가하고 있다. 상온에서 알루미늄 판재 소재는 연신율이 높지 않아 주로 단순한 형상의 부품에 적용되고 있으며, 형상이 복잡한 부품에는 적용이 제한적이다. 하지만 알루미늄 판재 소재는 고온에서 연신율이 증가하여 복잡한 부품의 성형에 유리하게 된다. 본 연구에서는 성형 깊이가 깊은 자동차용 도어 인너 부품을 대상으로 알루미늄의 온간 성형에 대하여 연구하였다. 열-성형 연계 해석을 통하여 다양한 드로잉 성형공정 변수에 대한 연구가 수행되었으며, 각 변수의 영향도를 파악하였다. 금형 및 시제품 제작을 통하여 성형해석 결과와 비교하였으며, 성형해석의 정밀도가 검토 되었다.

Key Words : Aluminum, Automotive, Door Inner, Warm Drawing

본 연구는 중소벤처기업부 산학협력혁신사업 R&D 바우처 사업의 지원에 의하여 수행된 결과입니다.

1. 신화에스티

2. 대구기계부품연구원

교신저자: 대구기계부품연구원, 책임. E-mail: suhch@dmire.kr

레이저 패터닝이 22MnB5소재의 원형 튜브 시편을 이용한 준정적 압괴시험에 미치는 효과 분석

김형규¹ · 이원주¹ · 박재훈¹ · 응우옌 통¹ · 양예지¹ · 김도형¹ · 윤종현[#]

Effect of laser patterning on static loading performance in cylindrical 22MnB5 tube

H. G. Kim, W. J. Lee, J.H. Park, T. P. Nguyen, R. Z. Yang, D. H. Kim, J. H. Yoon

Abstract

레이저 패터닝 기술은 성형이 완료된 자동차 판넬에 강도 구배를 주어 정적 하중 상황에서의 안전 성능을 향상시키는데 효과적이다. 연비규제 및 운전자의 안전에 대한 요구가 증대되고 있는 현재의 상황에서 소재의 두께를 감소시켜 차량 경량화를 함과 동시에 운전자의 안전을 확보할 수 있는 기술로 레이저 패터닝 기술이 제안되고 있다. 레이저와 로봇암을 결합하여 선택적으로 레이저를 조사하여 강도 구배를 부여할 수 있기 때문에 다양한 형상을 패터닝하여 원하는 변형모드를 유도할 수 있다. 본 논문에서 우리는 원형 튜브 시편에 수평, 수직, 격자, 나선형, 어그제틱, 허니컴 형상을 의도적으로 강화하여 준정적의 압괴시험을 진행한 뒤 에너지 흡수율을 평가했다. 이 과정에서 나선형과 어그제틱 형상의 에너지 흡수율이 가장 많이 향상된다는 것을 확인했으며, 그 원인이 패터닝으로 인한 강도구배에 있다는 것을 검증했다. 실제 생산라인에서 어그제틱보다 사이클타임을 단축할 수 있는 나선형 형상으로 에너지 흡수율을 보다 향상 시키기 위해 피치사이즈를 결정하는 방안을 튜브 직경과 연관하여 분석했으며 이를 이용하여 튜브의 직경에 따른 최적의 패터닝 조건을 제안했다.

Key Words : Laser, Local softening, Patterning, Static loading, Auxetic

1. 한양대학교 일반대학원 기계설계공학과
교신저자: 한양대학교ERICA 기계공학과, E-mail: yooncsmd@gmail.com

블랭킹 금형의 마모에 따른 기가급 강재의 엷지신장성에 미치는 영향

박재훈¹, 원찬희¹, 정유형¹, 트루엡반도이¹, 안강환², 윤종현^{1#}

Evaluation of edge fracture limit for GPa-grade steel with respect to blanking mold wear

J. H. Park, C. H. Won, Y. H. Jeong, Van Doi Truong, K. H. Ahn, J. H. Yoon

Abstract

전 세계적으로 자동차 연비규제와 안전규제의 강화로, 최근 인장강도 1.0 GPa 이상의 기가급 강재를 차체에 적용하여, 경량화와 승객의 충돌안전성을 확보하고 있다. 하지만, 기가급 강재는 전단된 엷지부의 신장성이 부족하여, 차체 성형중 예기치 못한 파단이 발생하여 생산품질의 문제가 발생하고 있다. 특히, 기가급 강재의 높은 강도로 인해 금형의 마모가 빠르게 형성되어, 이는 전단면의 품질 악화에 직접적으로 전단면의 Burr증가, 전단면의 가공 경화량 증가 등에 영향을 미치고 있어, 금형 마모도에 따른 기가급 강재의 엷지신장성 특성분석이 요구되고 있다. 본 연구에서는 금형의 마모도에 따른 엷지신장성 변화에 대한 연구를 수행하였다. 먼저, 금형의 마모 유/무에 따른 펀칭 실험 및 이에 따른 구멍 확장성 실험을 통해 강종별 엷지 마모 민감도에 대해서 분석 및 평가를 수행하였다. 대표적인 금형마모 인자인 표면거칠기, 모서리 치핑, 마모 깊이를 도출하였다. 반복블랭킹 실험을 통해 표면 거칠기 및 Abrasive wear에 따른 펀치 각도 및 Corner radius를 모사하였으며, 미세한 다이 간극을 제어하여 마모 깊이에 따른 효과를 모사하였다. 또한, 불균일한 특성으로 발생하는 Chipping을 모사하기 위해 펀치와 다이에 미세가공을 통해 모사하였으며, 마모도 조합에 따른 블랭킹 실험을 수행하였다. DIC(Digital Image correlation)방법을 적용한 SET(Sheared edge tensioning)실험을 통해 마모도에 따른 엷지변형률 변화에 대해 평가를 하였으며, 전단면 품질 및 경도 측정 결과와 연계하여 마모도에 따른 엷지신장성 영향에 대해 고찰하였다.

Key Words : GPa-grade steels, Mold wear, Sheared edge tensioning test, Wear depth, Surface roughness

1. 한양대학교 일반대학원 기계설계공학과

2. 포스코 성형연구그룹

교신저자: 한양대학교ERICA 기계공학과. E-mail: yooncsmd@gmail.com

Al6061 알루미늄 합금 도어 내판 열간성형공정 특성 연구

정경근¹· 김진성²· 정정봉²· 최진영²· 엄광용³· 조영진³· 배호정³· 김동욱[#]

The Study of Hot Press Forming Process of Al6061 Door Inner Panel

K. G. Jung¹, J. S. Kim², J. B. Jung², J. Y. Choi², K. Y. Eum³, Y. J. Cho³, H. J. Bae³, D. O. Kim¹

Abstract

알루미늄 6000계 합금은 열처리형 합금으로써 T6 또는 T7 처리시 300MPa급 이상의 강도를 나타낼 수 있으며, 일반적으로 알루미늄 압연재는 코일로 소재는 자동차 부품업체에 공급될 때 용체화 처리, 풀림처리 등의 압연 이후 추가적인 열처리 공정 후 공급되어 가격이 상승하는 문제가 있다. 또한 고강도 알루미늄 판재의 경우 상온 프레스 성형 시 연신율이 낮아 파단발생 문제가 있으며, 일부 부품에서는 온간에서 성형을 진행하고 있는 경우가 있다. 본 연구에서는 알루미늄 6061 합금 판재 열간성형공정을 통해 실제 도어 내판 부품을 제작하였으며, 본 공법의 사전 검토를 위해 고온물성평가, 열처리 특성 평가, 성형해석을 진행하였다. 본 발표논문에서는 소재의 고온물성값들과 이를 활용한 알루미늄 도어 내판 부품의 성형해석 결과와 실험을 통해 이를 비교 검증하고, 개선해 나가는 연구결과를 제시하였다.

Key Words : Hot forming (열간성형공정), Aluminum Sheet(알루미늄판재), Finite element Analysis (유한요소해석)

1. 서론

알루미늄 합금소재는 스틸 소재에 비해 상대적으로 낮은 강도로 인해 적용 부품에 한계가 있어왔으나, 열처리형 합금인 알루미늄 6000계 합금은 T6 또는 T7 처리시 300MPa급 이상의 강도를 나타낼 수 있어 구조적인 강성이 필요한 부품에도 적용될 수 있다. 본 연구에서는 성형단계에서 알루미늄 판재를 500도씨 이상으로 일정시간 가열하여 금형에서 급냉하며 성형하는 열간성형 공정에 대한 유효성을 검토하였고, 이를 통해 알루미늄 소재의 성형성도 높이고 열처리에 의한 원소재 비용 상승을 최소화하고자 하였다.

2. 실험방법

고온인장 물성은 판재 압연방향에 대해 0도, 45도, 90도 방향으로 온도는 300 °C 에서 450 °C 까지 50 °C 간격으로 수행하였으며, 고온성형서 평가는 200 °C 에서 350 °C 까지 수행하여 해석 시 실제 실험값보다 더 높은 온도물성은 외삽법을 이용하여 예측하였다. 성형해석은 상용 소프트웨어인 LS-Dyna를 이용하여 열간 프레스 성형을 위한 펀치, 블랭크, 다이 모델링 작업을 수행하였으며 가열된 블랭크재에 대하여 초기 온도 분포를 설정하고, 온도해석과 구조해석을 연계시켜 프레스 성형해석을 실시하여 이형 전 후의 형상정보, 온도분포, 응력 분포 및 변

1. 한국자동차연구원 금속소재연구센터
2. 신영하이테크 기술연구소
3. 동신모텍 기술연구소
교신저자: 한국자동차연구원, dokim@katech.re.kr

형 분포를 취득하도록 해석을 진행하였다. 도어 내판 열간성형 실험은 Batch 타입의 가열로에서 소재를 가열한 후, 소재를 이송하여 500톤 유압프레스를 사용하여 제품 성형을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

고온인장실험 결과 온도가 증가할수록, 변형을 속도가 낮을수록 유동응력은 감소하며 연신율은 증가하는 것으로 나타났다. 고온성형성능이 실험 결과 온도가 높을수록 Biaxial strain 값이 증가함을 알 수 있었으며, 전체적으로 FLC 커브는 그래프의 위쪽으로 이동하여 성형성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 열처리 기초시험결과 온도와 관계없이 20 분 미만 열처리 시편에서는 강도가 약 200MPa 이하로 나타나 충분한 용체화 처리가 안 되는 것으로 예상되었으며, 이는 소재 두께와 짧은 열처리 시간으로 인한 표면부와 단면내부에서 불균일한 온도분포에 의한 것으로 판단된다. 온도조건 500°C 이상에서는, 열처리 시간이 45 분 이상인 경우, 과시효 처리되어 결정립 크기가 성장하여 인장강도가 감소하는 것으로 확인하였다, 성형해석 결과에서는 Pad 압하력이 작을 경우 주름발생 문제가 존재하였으며, Pad 압하력을 증가시켰을 경우 측벽부에서 파단이 발생되어 금형수정이 필요함을 알 수 있었다. 실제 알루미늄 도어 내판의 성형 실험을 통해 해석결과와 비교 분석하였으며, 최종 T/O 와 인공시효 열처리를 통해 인장강도 300MPa 급의 도어 내판을 제작하였다.

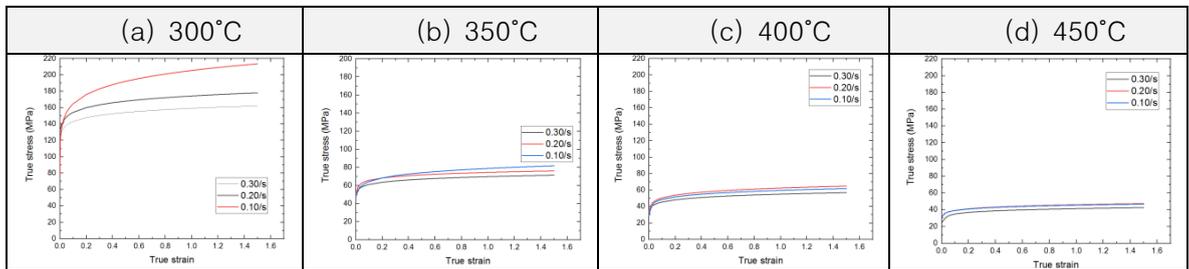


Figure 1. Stress-strain curve for elevated temperatures

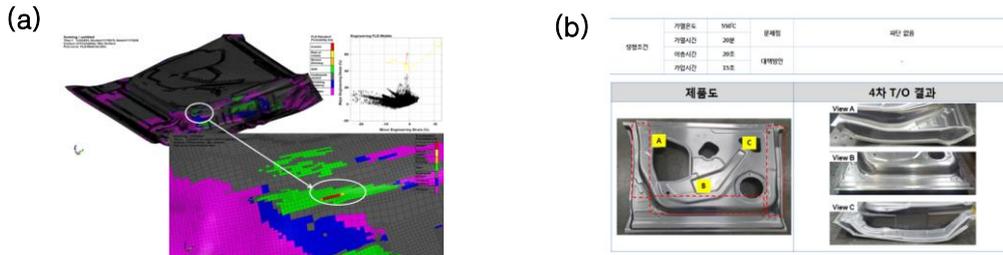


Figure 2. (a) Forming simulation and (b) try-out for Al6061 door inner panel

4. 결론

본 연구에서는 Al6061 판재 도어 내판 부품을 위한 고온인장실험, 성형성 평가, 성형 해석 및 실제 T/O을 통한 합금소재 및 공정특성을 분석하였고 도어 내판제조를 위한 열간성형공법에 대한 유효성을 검토하였다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부 친환경자동차부품 클러스터조성사업(P0004619)의 지원을 받아 수행된 연구결과이며, 이에 감사드립니다.

자동다단냉간단조 중 공기 갇힘 현상의 3차원 유한요소해석 및 검증

정승원¹·김동희²·서창민²·전만수^{3#}

Three-dimensional finite element analysis of air-trapping phenomena occurring an automatic multi-stage cold forging

S. W. Jeong, D. H. Kim, C. M. Seo, M. S. Joun

Abstract

In this paper, an air-trapping phenomenon occurring in an automatic multi-stage cold forging is analyzed by three-dimensional finite element method. The internal pressure of the cavity formed by the air-trap is modeled as a function of its volumetric strain. Comparison of the prediction with the experiment was made, revealing that they are in qualitatively good agreement with each other. The predictions are discussed in terms of instability of solution convergence.

Key Words : Air-trap(공기갇힘), Three-Dimensional Finite Element Analysis(3차원 유한요소해석)

1. 서론

Joun 등[1]은 닫힌 폐공간이 생겼을 때부터 누적된 부피변형률 (volumetric strain)와 내부 압력의 선형성의 가정하에서 축대칭 공정에서 발생하는 공기갇힘 현상을 예측하였다.

이 연구에서는 자동다단냉간단조 중 발생하는 3차원 공기갇힘 현상을 유한요소해석하였으며, 해석결과의 특징을 살펴보았다.

2. 3차원 공기갇힘 현상의 유한요소해석

Fig. 1은 자동다단냉간단조 중에 발생한 공기갇힘 현상과 해석결과를 비교하고 있다. 해석결과는 단조 종료 직전의 것으로 공기갇힘 예측 기능을 적용하지 않은 경우(좌)와 적용한 경우(우)를 비교하였다.

3. 결론

3차원 공기갇힘 현상의 유한요소해석 결과가 실험과 비교되었다. 자동다단냉간단조에서는 윤활류 미사용 환경과는 달리 공기갇힘에 따라 발생하는 압력과 부피변화율의 비선형성을 고려해야 한다는 점이 강조되었다.

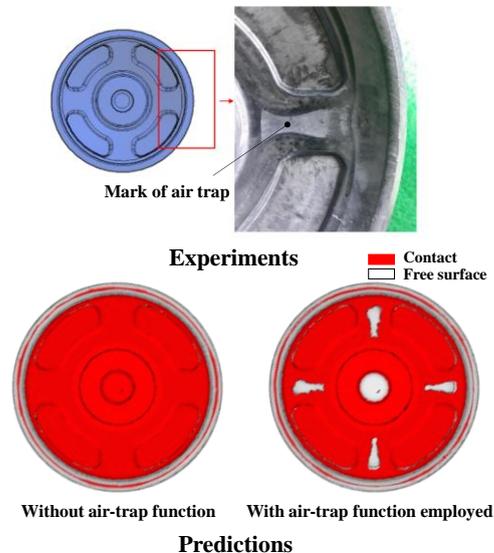


Fig. 1 Comparison of FE predictions with experiments

참고문헌

- [1] B. S. Kim, J. H. Chung, S. W. Lee, J. G. Eom, M. S. Joun, 2014, Finite element analysis of a plate forging considering air-pocketing phenomena, Int. J. Mat. Prod. Tech., 48, 258-269.

1. (☞)MFRC

2. (☞)신도

3# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

가이드롤 사용 평 링롤링 공정에서 소재의 폭퍼짐에 관한 유한요소해석 및 검증

김민철¹, 조주현², 김진국², 문호근¹, 전만수[#]

Finite element analysis of a flat ring rolling process with two guide rolls with an emphasis on prediction of spread of the ring

M. C. Kim, J. H. Cho, J. K. Kim, H. K. Moon, M. S. Joun

Abstract

In this paper, characteristics of finite element analysis of ring rolling processes are summarized with emphasis on accuracy of predictions of spread in flat ring rolling and practical scheme of dealing with contact between material and tools is given. A special tool imposing force on the material by guide rolls to enhance the stability of the process is also given. The proposed scheme is applied to a flat ring rolling process for performing a bearing race and the predictions were compared with experiments, showing a good quantitative agreement with each other.

Key Words : Flat Ring Rolling(평 링롤링), Spread(폭퍼짐), Bearing Race(베어링 레이스)

1. 서론

링롤링 공정은 전체의 표면에 비하여 상대적으로 매우 작은 영역에서 접촉이 되는 것이 특징이다[1,2]. 이 문제는 평 링롤링에서 더욱 두드러지게 나타난다. 링롤링 공정에서 소재는 환상이므로 잦은 요소망 재구성은 과도한 인위적 형상 변형을 야기시키므로 접촉영역을 효율적으로 표현하기 위한 적절한 묘책이 없다. 따라서 접촉영역을 정상적으로 표현할 수가 사실상 없다고 할 수 있다. 순간적으로는 가능하지만, 전 공정을 걸쳐 요소조밀화 기법을 사용한 접촉영역의 상세 표현은 다른 문제를 야기시키기 때문이다. 따라서 적절한 접촉 조건의 설정이 필수적이다.

이 연구에서는 평 링롤링 공정에 적합한 접촉 처리 기법을 제안한다.

2. 평 링롤링의 해석 모델

작은 접촉영역에 따른 문제를 해소하기 위해서 일부 또는 전체의 접촉 영역 상의 절점의 워크롤 회전 방향의 성분에 대하여 접촉조건을 처리하는 것이 불가피하다.

이 때, 소재와 워크롤의 상대속도 방향은 폭방향이 되며, 워크롤의 절대속도에 비하여 이 상대속도가 매우 작으며, 이로 인한 순화함수의 영향이 크게 되어 마찰의 영향이 현저하게 줄어들게 된다. 이러한 이유로 일반 단조 조건으로 해석할 경우, 폭퍼짐이 다소 과하게 예측될 수 있다. 이것은 수치적 요인에 기인하는 것이다.

그리고 만약 마찰의 순화를 줄이기 위해서 인위적으로 관련 계수를 줄이거나 늘리면, 특히 고마찰계수를 사용할 경우에는, 마찰에 대하여 계산 속도를 감안하여 축차적 계산 수가 충분치 않을 경우, 마찰력의 진동으로 효율적인 수렴해의 획득이 용이하지 않게 되거나 결과적으로 폭 퍼짐을 증가시키는 요인이 된다. 따라서 중심부와 외곽의 일정 영역을 제외하

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. 동은단조㈜ 기술팀

교신저자: 경상대학교 기계공학부,

E-mail:msjoun@gnu.ac.kr

고, 절점력에 마찰계수를 곱한 수치의 마찰력이 중심방향으로 향하도록 하는 것을 고려할 수가 있다. 경우에 따라서는 폭 방향으로 중심부의 일부 영역에서 접촉조건을 처리할 수 있다.

한편, 평 링롤링은 작은 접촉 영역으로 인해 역학적 불안정성에 노출된다. 이러한 이유로 단면감소율이 다소 커지면, 다각형 형상의 결함이 야기되기도 한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 워크롤의 맞은 편에서 링의 흔들림을 통제하는 유압장치가 널리 사용되고 있다. 이 연구에서는 유압장치의 압축량의 함수로 하중을 소재와 접촉하는 영역 주위에 부과하는 방식으로 모델링을 하였다.

Fig. 1 은 적용 예제의 형상 정보를 나타내고 있다. 재료는 S55C 이다. 등온해석을 실시하였고, 온도는 1200°C로 가정하였다. 폭방향의 마찰계수로 0.3 을 사용하였다.

Fig. 2 는 실험과 해석결과를 비교하고 있다. 마찰계수에 따라 폭 퍼짐량이 직접적으로 변하였으며, 선형성이 유지되었다. 실험결과에 가장 잘 부합되는 마찰계수는 0.35 로 나타났다. 해석의 종료 시점은 예측된 링의 두께가 실험치와 동일하도록 결정되었다. 이 때, 실험치와 예측치의 치수를 Table 1 에 나타냈다.

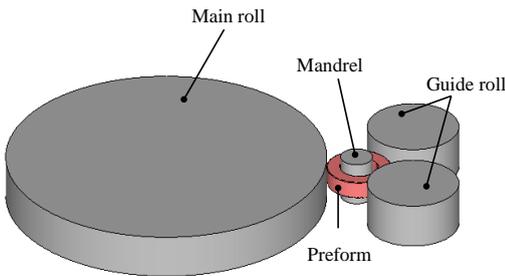


Fig. 1 Initial configuration of the process

Table 1 Comparison of prediction with experiment

	Outer diameter	Inner diameter	Width
Experiment	170.5 mm	130.5 mm	43.4 mm
Predictions	170.8 mm	130.8 mm	43.4 mm



(a) Experiment



(b) Prediction

Fig. 2 Comparison of prediction with experiment

3. 결론

이 연구에서는 평링롤링 공정의 유한요소 해석의 수치적 특성을 분석하여 안정적으로 폭퍼짐을 예측할 수 있도록 하는 유한요소해석 모델을 제시하였다. 해석결과와 실험결과를 비교한 결과, 정량적으로 유의미한 결과를 얻었다.

이 모델은 폭퍼짐이 허용된 다른 문제에도 응용될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

[1] N. Kim, S. Machida, S. Kobayashi, 1990, Ring rolling process simulation by the three dimensional finite element method, Int. J. Mach. Tools Manuf., V. 30, pp.569-577.
 [2] H. K. Hoon, M. C. Lee, M. S. Joun, 2008, Prediction polygonal-shaped defects during hot ring rolling using a rigid-viscoplastic finite element method, Int. J. Mech. Sci., V. 50, pp. 306-314.

Correlation of microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy with tungsten addition

Godwin Kwame Ahiale¹, Kye In-Seok¹, Yong-Jun Oh¹

Titanium (Ti) and its alloys are known to exhibit excellent mechanical properties that makes them suitable for application in the marine, aerospace, military, biomedical, and chemical industries. Ti-6Al-4V alloys are one of the widely used Ti based alloys in these industries. They are dual phase ($\alpha+\beta$) material with complex microstructures. The mechanical properties of Ti-6Al-4V alloys are greatly influenced by the individual properties of the two phases α and β . They possess good creep resistance, high strength-to-weight ratio, good biocompatibility, and good corrosion resistance in different environments. These properties are sensitive to critical microstructural parameters such as size and arrangement of α - β phases, α lamellar, and α colonies. Generally, there are two ways to modify the microstructural parameters of Ti-6Al-4V alloys which in turn improve the mechanical properties: processing and alloying. By various kinds of processing methods, different microstructure parameters can be obtained. However, the various processing methods add extra cost to the final product.

Recently, many researchers have focused attention on the improvement of the mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy by modification of composition via addition of interstitial elements such as boron, silicon, and tungsten. Tungsten stands out as the most suitable candidate among the interstitial elements because of its complete solubility with β -Ti and the lack of any intermetallic compounds with Ti. Tungsten is a β stabilizer and an important element for modifying the microstructure parameters of Ti-6Al-4V alloy. Therefore, this study presents a systematic investigation of tungsten addition effect in Ti-6Al-4V alloy on microstructural parameters and correlate these parameters to the mechanical properties of the alloys.

The material used in this study was Ti-6Al-4V alloy with varying contents of tungsten (W) alloying element. The Ti-6Al-4V alloy with 0 wt% W was designated as the basic alloy. W

contents of 1 wt%, 5 wt%, and 10 wt% were added to the basic alloy. Microstructural characterization was performed using a Leica DFC 500 optical microscope (OM) after carefully polishing and etching the samples in Kroll's reagent. The microstructures were also analyzed using a fully automated, high-resolution EBSD instrument (TEAM EBSD system with Hikari XP camera). Tensile tests were conducted on cylindrical samples at an ambient temperature. The tensile sample had a gauge length and a diameter of 36 mm and 6.4 mm respectively. The test was performed using an Instron 5982 universal testing machine with a load capacity of 100kN and a crosshead speed of 1 mm min⁻¹. Nano-indentation hardness tests were performed on polished sections using a XP Nano indenter with a Berkovich indenter tip.

The strength proportionally increased with respect to the W content. The ductility was not affected by the addition of up to 5 wt.% W. However, the ductility significantly decreased when the W content increased further to 10 wt.% due to incomplete dissolution of W in the matrix. Increasing the W content refined the lamellae thickness, reduced the colony sizes, and stabilized the β phase. Furthermore, the added W dissolved preferentially in the β phase, increasing the hardness of the β phase, which was originally significantly softer than the α phase. For the alloys containing up to 5 wt.% W, the strengthening without ductility loss was attributed to the finer α/β lamellae and the volume increase in the β phase hardened by W.

Cyclic softening behavior and damage accumulation of tempered martensitic steel under different fatigue modes

Godwin Kwame Ahiale¹, Yong-Jun Oh¹, Young-Bum Chun², Seung Young Cho³

Tempered martensitic steels are noted for their high strength and toughness even at elevated temperature due to their complex microstructure which is made up of packets, blocks, and laths, all confined in a prior austenite grain (PAG). Amongst them is the reduced activation ferritic/martensitic (RAFM) steel which has been extensively investigated for its functional suitability as structural and blanket materials for nuclear fusion reactor and other related applications. However, the RAFM steel has the tendency to soften under cyclic loading conditions both at room and elevated temperatures due to its microstructural instability and that could deteriorate the mechanical properties.

The RAFM steel under cyclic loading maintains geometric continuity of its structure by generating dislocations. These dislocations cause fluctuation of the crystal orientation and local misorientation changes which are better characterized by using an electron backscatter diffraction (EBSD). From the microstructural point of view, the cyclic softening of the RAFM steels is partially associated with the rearrangement, annihilation and reduction in the generated dislocations, coarsening of precipitates, and formation of low energy dislocation cells or subgrains with large sizes. Although an extensive work has been carried out on cyclic soften of the RAFM steels, however, detailed knowledge about the local misorientation caused by dislocation structures on cyclic soften is scarce, therefore, this study presents an investigation of cyclic softening of reduced activation ferritic/martensitic steel under low cycle fatigue and creep-fatigue cycling using EBSD local misorientation method.

The materials used in this study was RAFM steel with the chemical composition; C: 0.09, Si: 0.078, Mn: 0.40, Cr: 8.88, W: 1.20, V: 0.18, Ta: 0.053, Ti: 0.008, Zr: 0.002. Low-cycle fatigue (LCF) tests were conducted using MTS810 universal testing machine equipped with induction heating system. The tests were carried out in air under fully reversed total axial strain control mode

at a constant strain rate of 1×10^{-3} /s and total strain amplitude ($\Delta\varepsilon_t$) ranging from ± 0.4 to ± 1.2 %. Similarly, creep-fatigue (CF) cycling was conducted imposing 450 s dwell time during the compressive cycle (CHF) or tensile cycle (THF). Tensile and compressive peaks were recorded for all cycles. Additionally, interrupted tests were performed up to 100 cycles at $\Delta\varepsilon_t = \pm 0.4\%$ and $\Delta\varepsilon_t = \pm 1.0\%$ for LCF and $\Delta\varepsilon_t = \pm 1.0\%$ for THF and CHF. The samples were assigned with the designation of AR for as-received, LCF for low-cycle fatigue, THF for tensile hold, and CHF for compressive hold. Dislocation structures were investigated by using a transmission electron microscope (TEM, JEOL JED-2100F) operating at 200 KV. Samples for the TEM microscopy were prepared by making thin discs, and electrochemically thinned using a twin jet polisher with an electrolyte solution composed of 10% perchloric acid in a methanol solution in the temperature range of -30 to -40 °C and at the voltage of 20 V. The AR material was analyzed using a scanning electron microscope (SEM, JSM-6390). The AR and deformed microstructures were investigated using a fully automated, high-resolution electron backscattering diffraction (EBSD, EDAX TEAMTM) system interfaced with a field emission gun (FEG SEM).

The local misorientation caused by dislocation decreased with an increase in applied strain amplitude and application of dwell time. The cyclic stress response (CSR) curves under LCF loading exhibited incubation cycles at low strain amplitudes and rapid softening at high strain amplitudes at the beginning of fatigue cycling followed by gradual softening until failure occurred. For the creep-fatigue loading, the CSR curve of CHF displayed similar stress response as the LCF curve, but the THF showed significantly low stress response because of its low local misorientation value. Changes in local misorientation profiles after cycling were correlated to the cyclic stress response curves with the view of assessing the importance of the misorientation profiles on cyclic softening of the RAFM steel.

ABS 제품의 결합 강도를 높이기 위해 생성된 Groove의 내부 결함이 결합부의 응력 분포에 미치는 영향

김 호¹· 안동규[#]

Effects of the Formation of Imperfection on Stress Distributions in the Groove to Improve Joining Characteristics of ABS Parts

H. Kim, D. G. Ahn

Abstract

Fused Deposition Modeling(FDM) 공정은 재료를 층별 적층하여 일체형 3 차원 제품을 제작하는 공정으로 3차원 일체형 제품을 손쉽게 제작할 수 있지만, 대형 제품을 제작할 시 수축에 의한 적층 불량 발생한다. 이를 보완하기 위해 대형 제품 제작 시 필요한 영역만 적층을 진행하는 방법을 고안했지만, 접합부에 작은 결함이 발생하였고 결함은 결합부 내부 응력 분포에 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 FDM 공정을 이용하여 제작된 시편을 기반으로 3차원 유한 요소 해석(Three-Dimensional Finite Element Analysis, 3D FEA)을 통하여 기저부 홈 형상과 결함이 결합부의 응력 분포에 미치는 영향을 분석하고자 한다. FDM 공정을 이용하여 ABS 소재의 기저부 위에 ABS 소재의 필라멘트를 박판 형태로 적층하여 시편을 제작하였고 후처리 과정을 통해 적층부 형상과 기저부 홈 내부의 결함의 위치를 도출하였다. 실험을 통해 도출된 적층부와 기저부의 형상을 바탕으로 상용 소프트웨어인 ABAQUS 를 사용하여 3D FEA 모델을 생성하였고, 기저부 홈의 형상과 결함이 결합부의 응력 분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기저부 홈의 각도 및 결함의 위치 별 3D FEA 모델을 생성하였다. 경계 조건은 제품의 적층부의 측면과 윗면에 횡 방향 및 종 방향으로 하중을 줄 때로 나누어 적용 하였고 기저부 밑면에 고정 경계조건은 동일하게 적용하였다. 제품에 부가하는 하중이 기저부 홈 각도 및 결함부의 위치에 따라 결합부의 응력 분포에 미치는 영향을 분석하였다.

Key Words : Stress Distribution, Imperfection, Finite Element Analysis, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

1. 조선대학교 일반대학원 기계공학과, 대학원생

교신저자: 조선대학교 기계공학과, 교수. E-mail:smart@chosun.ac.kr

상변화가 고려된 유한요소 해석을 이용한 DMT 공정 적층시 적층부 부근 잔류응력 특성 분석

이광규¹, 안동규[#]

A Study on Variation of Residual Stress in the Vicinity of the Deposited Region by DMT Process Using Finite Element Analysis Considered Phase Change

K. K. Lee, D. G. Ahn

Abstract

레이저 직접 금속 조형(Laser-Aid Directed Metal Tooling, DMT) 공정은 레이저를 이용하여 기저부에 용융풀(Molten Pool)을 형성하고 동 축으로 분말을 분사하며 한 층씩 적층시키는 공정이다. DMT 공정은 적층 공정 중 국부적 금속 가열 및 냉각에 의해 변형 및 잔류응력이 발생하게 되며 이를 예측하고 해결하기 위해 유한요소 해석을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 금속 가열 및 냉각과 같은 열 입력은 금속의 상변화를 발생시키며 상(Phase)에 따라서 열 및 기계적 특성이 변화하기 때문에 공정의 열-기계 연계 해석에서는 금속의 상변화를 고려한 온도 의존 물성 데이터 적용이 필요하다. 본 연구에서는 물성계산 프로그램인 JmatPro를 이용하여 금속의 상에 따른 온도의존 물성 데이터를 도출하고, 상용 소프트웨어인 SYSWELD에 적용하여 금속의 상변화가 고려된 열-기계 연계 유한요소 해석을 통해 열전달 및 잔류응력 특성을 분석하고자 한다. 시편은 DMT 공정을 이용해 S45C 강 기저부 위 Inconel 625 분말을 분사하여 제작하였으며 후처리 과정을 통해 비드 형상 및 열 영향부(Heat Affected Zone, HAZ) 데이터를 도출하였다. 해석 모델의 상부에는 강제대류, 측면에는 자연대류가 적용되었으며 실험과 동일한 고정 경계 조건이 적용되었다. 단일 및 다열 비드 해석을 통해 실험에서 도출된 HAZ와 상변화 해석 결과를 비교 분석하였다. 상변화가 고려되지 않은 물성데이터와 상변화가 고려된 물성데이터를 적용하여 단일 및 다열 열-기계 연계 유한요소 해석을 수행하고 열전달 및 잔류응력 특성을 비교 분석하여 물성데이터가 해석 결과에 미치는 영향성을 분석하였다.

Key Words : Phase Change, Temperature-dependent Properties, Thermal-mechanical Analysis, DMT Process, Residual Stress.

후기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2019R1A2C1006741).

1. 조선대학교 일반대학원 기계공학과, 대학원생
교신저자: 조선대학교 기계공학과, 교수. E-mail: smart@chosun.ac.kr

Fe-6.5Mn-0.08C 중망간강의 충격 특성에 미치는 열처리의 영향

윤영철¹, 이상인¹, 황병철¹

Effect of Heat Treatment on Impact Toughness of an Fe-6.5Mn-0.08C Medium-Manganese Steel

Y. C. Yoon, S. I. Lee, B. hwang

Abstract

최근 화석 연료의 사용량이 증가하면서 환경 문제가 대두되고 있으며, 이를 해결하기 위해 천연 자원인 액화천연가스(LNG) 및 액화수소와 같은 친환경 에너지의 수요가 증가하고 있다. 이러한 천연 자원의 저장과 수송은 극저온에서 이루어지며, 안정성을 위해 저온 인성이 우수한 금속 소재의 개발이 요구되고 있다. 일반적으로 극저온용 금속 소재는 알루미늄 합금, 오스테나이트계 스테인리스강, 9% Ni강 및 고망간 오스테나이트계 강이 사용되고 있으나 상대적으로 높은 가격, 낮은 용접성 및 낮은 설계 강도로 인해 사용하기 어려운 실정이다. 최근 3~12 wt.% 범위의 망간(Mn) 이 첨가된 중망간강(medium-manganese steel)은 우수한 기계적 특성과 높은 저온 강도를 나타내 극저온 재료로 새롭게 주목받고 있다. Kim 등¹⁾은 열간 압연시의 온도를 변화시키며 델타-페라이트(δ -ferrite)의 분율에 따른 충격 인성의 변화를 연구하였으며, Sun 등²⁾은 2상역 열처리(intercritical annealing) 온도에 따른 미세조직과 충격 인성의 상관관계를 나타내었다. 이와 같이 중망간강은 조성과 열처리의 온도와 시간, 그리고 가열 및 냉각속도에 따라 미세조직과 기계적 특성이 변하기 때문에 열처리 방법과 기계적 특성의 상관관계에 대한 연구가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 Fe-6.5Mn-0.08C (wt.%) 조성을 갖는 중망간강을 열처리에 따라 분류하고 시험 온도에 따른 충격 시험을 실시하여 열처리에 따른 온도별 충격 인성의 변화를 고찰하였다.

Key Words : Medium-manganese Steel, Intercritical Annealing, Cryogenic, Impact Toughness

인공신경망 모델을 이용한 고강도 API 라인파이프강의 변형능 해석

신승혁¹, 이상인¹, 황병철¹

Analysis of Deformability of High-Strength API Linepipe Steels Using Artificial Neural Network Model

S. H. Shin, S. I. Lee, B. Hwang

Abstract

전 세계적으로 사람들의 삶의 질이 향상되고 산업이 발전함에 따라 천연 자원의 사용량이 급증하고 있고, 이에 따라 심해저, 알래스카 그리고 북극과 같은 극한 지역에서의 천연 자원의 채굴이 필요로 되고 있다. 이렇게 원유나 천연가스를 유정에서 항구 혹은 정유지까지 장거리 수송하는데 사용되는 라인파이프강은 일반적으로 미국석유회(American Petroleum Institute, 이하 API)의 규격에 따르므로 API강으로 표기된다. 이러한 API강은 파이프라인의 건설 시 지반의 움직임에 대하여 변형능(deformability)이 높은 강재가 요구되고 있는데 이는 API강의 변형능이 우수할수록 동토지대나 해저, 지진대 등의 가혹한 환경에서 발생하는 점진적인 혹은 급격한 변형에 높은 파괴 저항성을 나타내기 때문이다. 하지만 일반적으로 강도가 높아지면 인성과 연성이 저하되고, 강도와 인성에 미치는 미세조직적 인자가 상반되기 때문에 낮은 항복비와 높은 균일 연신율의 조합을 가지는 API강의 제조는 쉽지 않다. 따라서 낮은 항복비와 높은 균일 연신율의 조합을 얻는 API강을 제조하기 위해서는 무엇보다도 미세조직에 대한 충분한 이해가 바탕이 되어야 한다.

한편 최근 인공신경망(Artificial Neural Network, 이하 ANN) 기술은 입력(input)-출력(output) 관계를 이해하고, 배울 수 있는 능력으로 인해 여러 합금들의 다양한 현상에 대한 예측 및 관계 해석에 적용되고 있다. 이러한 ANN 기술은 종속 변수와 독립 변수 사이의 관계를 명확히 할 수 있어 재료과학의 많은 응용 분야에 성공적으로 적용되었다.

최근 ANN 모델은 API강의 합금원소와 제조공정, 그에 따른 미세조직과 인장 특성 예측 및 합금설계등에 사용되었다. 그러나 국내외적으로 개발 및 생산되고 있는 고강도 API강의 경우 매우 복잡한 형태의 베이나이트 조직으로 이루어져 있으며 연구자들마다 서로 다른 미세조직 정의 구분법을 적용하고 있어 항복비, 균일 연신율 및 가공경화지수 등과 같은 인장 특성에 미치는 미세조직적 인자의 영향에 대한 정확한 이해가 크게 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제로 생산되는 API강들의 구성상인 다각형 페라이트(polygonal ferrite, 이하 PF), 침상형 페라이트(acicular ferrite, 이하 AF), 과립형 베이나이트(granular bainite, 이하 GB), 및 베이나이트형 페라이트(bainitic ferrite, 이하 BF)와 같은 4종류의 미세조직 분율 데이터를 바탕으로 API강의 변형능 특성 예측을 위한 인공신경망 모델을 구축하였고 이를 바탕으로 API강의 변형능 특성에 영향을 주는 미세조직 분율의 영향에 대해 고찰하였다.

Key Words : Linepipe steels, Yield ratio, Uniform elongation, Microstructure fraction, ANN

사출성형 중 사출속도에 따른 금형의 진동 신호 변화에 대한 연구

이준한¹, 김종선^{1,#} (libra74@kitech.re.kr)

A Study on Correlation between Vibration Signal of Mold and Injection Speed during Injection Molding

J. H. Lee¹, and J. S. Kim^{1,#}

Abstract

The injection molding process is the most commonly used manufacturing process in various field such as automobile, home appliance and electronics, etc. In additions, because plastics are lighter than other materials and have good strength, the demand for injection-molded products has been a tremendous increased recently. However, the quality of the injection-molded product may be affected by the state of material and process environment. Therefore, to improve the production rate, process conditions should be checked and controlled according to product quality. Typical methods for monitoring the injection molding process is checking the pressure of melt resin measuring by cavity sensor, or the injection pressure from injection molding machine. However, to measure the melt pressure requires expensive sensor system operating in a high temperature and pressure environment. In order to use the injection pressure from injection molding machine, there is a limitation that a proprietary platform developed by the manufacturer must be used. Therefore, for producers, there is a need for a general monitoring method that is easily applicable to the injection molding process and has a low introduction cost. In this study, the Arduino-based acceleration sensor was attached to the mold surface and the vibration signal transmitted to mold was measured during the injection molding process. In the experiment, 250 ton injection molding machine(ROBOSHOT α-S250iA, FANUC) and polypropylene(HOPELEN J-150, LOTTE Chemical) were used. The mold used in this study had one cavity of 5 inch LGP(light guide plate). The vibration signal was evaluated by amplitude under the same conditions except for injection speed. The injection speed was set to 40, 80, 120 mm/s to evaluate the correlation between vibration of mold and injection speed. The result showed that the vibration of mold was increased having a linear proportionality as the injection speed was increased. Also, the vibration of mold showed the same tendency as the maximum pressure at injection stage according to injection speed.

Key Words : Injection molding, Process monitoring, Vibration, Acceleration, Injection speed

Acknowledgement

This research is supported by the project (No. JF200027) from Ministry of Economy and Finance, Republic of Korea.

¹ 한국생산기술연구원 형상제조연구부

교신저자: 한국생산기술연구원 형상제조연구부, 수석연구원. Libra74@kitech.re.kr

인공신경망을 활용하여 목표질량제품을 생산하기 위한 사출성형조건에 관한 연구

양동철^{1,2}, 김종선^{2,#}(libra74@kitech.re.kr)

A Study on the Injection Molding Conditions for Manufacturing Target-Mass Product Using Artificial Neural Network (ANN)

D. C. Yang^{1,2}, J. S. Kim^{2,#}

Abstract

사출성형공정에서 최종 성형품의 질량은 성형온도, 금형온도와 같이 사출성형 시 설정한 성형조건에 의해서 결정된다. 본 연구에서는 인공신경망 기법을 사용하여 사출성형조건과 제품 질량 사이의 인공신경망 모델을 구축하였고, 특정 질량에 대한 최적의 사출성형 조건을 도출하는 알고리즘을 평가하였다. 사출성형품의 질량에 영향을 미치는 인자들 중 보편적으로 알려진 사출속도, 사출온도, 금형온도, 보압, 보압시간, 냉각시간 이외에도 계량속도, 배압, 석백량, 보압절환위치를 추가로 선정하여 총 10개의 성형조건에 대해 학습 모델을 구현하였다. 인공신경망에 사용한 데이터는 10개의 성형조건에 대해 실험계획법으로 27개 조건, 임의로 50 조건을 생성하여 총 77개의 조건에서 성형된 제품의 질량으로 구성하였다. 실험 데이터에 대한 최적의 학습 구조를 결정하기 위해 격자 탐색과 임의의 탐색 방법을 사용하여 뉴런, 은닉 레이어, 학습 속도 등의 하이퍼 파라미터를 최적화하고 결과 값을 알고리즘에 적용하였다. 최적화된 ANN(artificial neural network) 구조를 이용하여 데이터를 학습하고 해당 ANN 모델의 정확성과 신뢰성을 평가하기 위해 40g의 특정 질량에 대한 성형조건을 예측하고 실제 실험을 통해 측정 질량과 비교하였다. 실험 결과, 인공신경망 학습 모델로 예측된 성형조건에서의 사출성형품 질량은 목표 질량인 40g 대비 평균 RMSE 오차율 0.45%의 매우 작은 수준의 오차를 나타내었다.

Key Words : Injection Molding, Process Condition, Random Search, Artificial Neural Network

1. 서론

사출성형은 산업 전반적으로 널리 쓰이고 있는 고분자 성형 방법으로서, 공정시간이 짧고 대량생산에 용이하다는 장점이 있다. 하지만 사출성형품의 품질은 사출성형 기술자가 정한 성형조건에 의해 영향을 크게 받는다[1]. 대부분의 경우, 사출성형조건은 사출성형 기술자의 노하우나 경험적 지식에 의존한 trial and error 방식이나 CAE 소프트웨어를 통해 정해진다. 하지만 이런 전통적인 방법들은 시간과 비용의 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 사출성형조건을 결정하기 위해 인공신경망 방식을 도입하여 특정 질량에 대한 성형조건을 예측하고 실제 사출성형 실험을 통해 측정질량과 비교하여 인공신경망 예측 정확성과 신뢰도를 평가하였다.

1. 단국대학교 기계공학과

2. 한국생산기술연구원 형상제조연구부

교신저자: 한국생산기술연구원 형상제조연구부, 수석연구원 E-mail: libra@kitech.re.kr

2. 실험방법

본 연구에서는 인공신경망 모델을 학습시키기 위한 학습데이터를 생성하기 위해 실제 사출성형실험을 진행하였다. 제품의 질량에 영향을 끼친다고 판단되는 사출속도, 사출온도, 금형온도, 보압, 보압시간, 냉각시간, 계량속도, 배압, 석백량, 보압절환위치를 성형인자로 선정하여 27 개의 실험계획법 조건과 50 개의 임의로 선정한 조건으로 사출성형실험을 계획하였다. Figure 1 의 4개의 캐비티를 가진 컵 금형을 사용하여 77 개의 성형조건으로 Fig.2의 컵을 성형하고 제품의 질량을 측정하여 인공신경망 모델을 학습하였다. 또한 인공신경망 예측성능을 높이기 위해 하이퍼 파라미터(hyper-parameter)를 격자 탐색(grid search)과 임의 탐색(random search) 방법을 사용하여 최적화하였다.

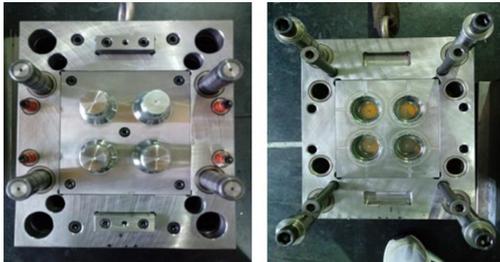


Fig. 1 4-cavity-mold for injection-molded cup

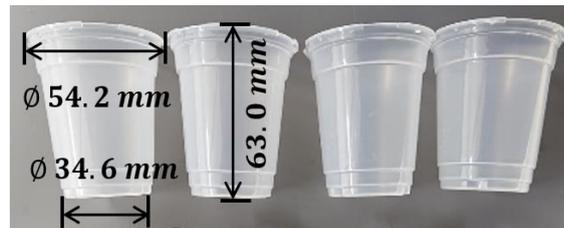


Fig. 2 Injection-molded cup product

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 인공신경망 모델이 특정 타겟 질량인 40g에 근접한 질량으로 예측한 사출성형 조건은 총 8개이다. 해당 조건들을 이용하여 검증실험을 진행한 결과, 사출성형제품의 질량과 목표 질량 사이의 RMSE 오차율은 0.45% 정도 수준의 높은 예측정확도를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 4개의 컵 제품을 성형할 수 있는 금형을 이용하여 27개의 10인자 3수준의 실험계획법 데이터와 성형인자의 허용 경계 내에서 임의로 선정한 50 개의 성형조건으로 사출성형을 진행하고 제품의 질량을 측정하였다. 해당 성형조건과 질량 데이터로 인공신경망 모델을 학습시키고 특정 질량에 해당하는 성형조건을 도출하여 실제 사출성형과정을 통해 예측 모델의 신뢰성과 정확도를 검증하였다. 실험 결과, 도출된 성형조건을 적용한 검증 질량과 목표 질량 사이의 오차가 0.45% 수준으로 높은 수준의 예측 정확도를 나타내었다. 향후 성형조건과 질량 데이터 이외에 제품 형상, 수지 물성 등의 입력 데이터, 수축, 휨 등의 출력 데이터까지 학습하여 예측 가능한 모델에 대한 연구가 필요하며, 이는 다양한 경우에 대해 최적의 품질을 가지는 성형조건을 예측하는데 효과적인 역할을 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] C.M. Seaman, A.A. Desrochers, G.F. List, 1994, Multiobjective Optimization of a Plastic Injection Molding Process, IEEE Trans. Control Syst. Technol, Vol. 2, No. 3, pp. 157–168.

후기

본 연구는 기획재정부의 중소·중견기업중견기업 생산기술실용화 및 기술지원사업(Project No. JF200027)의 지원으로 진행되었습니다.

절삭성이 향상된 무연 황동 신합금 개발

예정원¹, 윤국노¹, 이시연², 박은수[#]

Development of Lead-free brass with improved machinability

Jeongwon Yeh, Kook Noh Yoon, Si yeon Lee, Eun Soo Park

Abstract

납을 포함하는 구리 합금인 황동은 구형의 납 개재물을 형성시켜 절삭 가공성을 향상시켰다. 그러나 수도관 등으로 활용되는 황동 소재의 함유된 납은 다양한 환경 문제를 일으킬 뿐만 아니라, 중금속 오염 등의 문제로 인하여 세계적으로 사용이 금지되고 있는 추세이며, 최근 들어 대부분의 선진국에서 납이 거의 검출되지 않는 수준을 요구하고 있기 때문에 그 대체재의 개발이 절실히 필요하다. 이에 따라 비스무스 등을 활용하는 무연 황동 개발이 진행되어 왔으나 아직까지 확실한 대안이 제시되고 있지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션(CALPHAD) 방법을 통해 신합금을 제안하였고, 강도/연성 등의 물성 평가, 경도 평가, 그리고 가공능 평가를 통해 재료의 복합적인 기계적 특성을 평가하였다.

Key Words : Lead-free Brass, CALPHAD, Phase separation, Globule particle, Machinability

1. 서론

황동 소재는 구리(Cu)와 아연(Zn)의 합금으로 연성과 절삭성이 우수할 뿐만 아니라 부식 저항성이 커서 복잡한 가공이 필요한 배관설비, 수도꼭지, 가스 파이프 등 다양한 분야에 활발히 활용되고 있다. 황동 소재의 경우 성형성뿐만 아니라, 파이프, 판재 등의 다양한 형태로 활용되기 때문에 절삭성 및 가공성 역시 매우 중요한 특성이다. 따라서 절삭성의 향상을 위해 일반적으로 황동에 납(Pb)을 포함하여, 유연 황동의 형태로 활용하고 있다. 그러나 Pb, Be 등은 세계적인 환경 보호 정책에 따라 활용이 제한되고 있으며, 미국에서는 Pb 함량을 15 μ g/l 이하로 제한하고 있다. Pb의 사용 제한은 가공능과 강도의 감소를 의미하기 때문에 황동 시장에서는 이에 대한 해결책이 반드시 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 납 사용량을 줄임과 동시에 절삭성을 극대화할 수 있는 무연황동 신합금을 개발하고자 하였다.

2. 실험방법

황동 소재는 소재에 석출물의 형상과 미세구조에 따라 절삭성이나 가공 능력이 현저하게 변화된다고 알려져 있다. 따라서 급격한 취성 파괴를 야기하는 입계로의 석출물 형성을 방지하고, 절삭성 등의 향상을 위한 구형의 석출물을 형성시키고자 하였다. 이를 위해 제조된 합금에 대해 체계적인 조건에 맞추어 냉각 압연 혹은 소둔 처리 등을 통해 최적의 석출물 형상을 제어할 수 있는 합금 공정을 진행하였다. 이후 강도/연성 등에 대한 물성 평가를 수행하였고, 이와 동시에 경도 평가와 가공능 평가를 수행함으로써 재료의 복합적인 기계적 특성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

절삭에 용이하다고 알려진 구형 석출물을 석출[1, 2, 3] 시키기 위해 Cu와 상분리되는 원소를 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션(CALPHAD) 방법을 통하여 선정하였다. 이후 공정 조건의 제어 등을 통해 석출상의 형상을 제어하여 기존 유연 황동 합금과 비슷하게 Brass 기지 내

에 상분리된 석출상이 구형으로 존재하는 미세구조를 확보할 수 있었다.

그 결과로 인장실험을 통하여 항복강도는 200 MPa 이상 연신율은 20 % 이상으로 기존 유연 상용합금보다 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있었으며, 절삭성 평가를 통해 개발 합금의 상용화 가능성을 모색하였다.

4. 결론 (돋움 12pt)

본 연구에서는 α 단상(FCC 결정구조)의 기지 합금에 SUS 304 합금을 3-5% 첨가하여 유해 원소인 Pb, Be 없이 우수한 강도, 경도 및 냉간 가공성을 보이는 신합금을 개발하였다. 주조 후에는 후처리 공정을 통해 도전적인 목표인 고강도(200MPa이상), 고연신(20%이상)의 특성을 달성하였으며 이는 향후 상용화에 적합할 것으로 기대된다. 특히 현재 Bi 기반의 무연 황동만이 전 세계적으로 무연 황동 개발의 방향으로 제시되고 있는 상황에서, SUS 첨가를 통한 신합금 설계 전략을 적용한 무연 황동 신소재의 개발을 통해 소재 원천 기술 확보 및 향후 새로운 소재 시장의 개척이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌 (돋움 12pt)

- [1] H. Imai, Y. Kosaka, A. Kojima, S. Li, K. Kondoh, J. Umeda, H. Atsumi, Characteristics and machinability of lead-free P/M Cu60–Zn40 brass alloys dispersed with graphite, Powder technology 198(3) (2010) 417-421.
- [2] C. Nobel, F. Klocke, D. Lung, S. Wolf, Machinability enhancement of lead-free brass alloys, Procedia CIRP 14(95-100) (2014) 118.
- [3] C. Vilarinho, J. Davim, D. Soares, F. Castro, J. Barbosa, Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, Journal of materials processing Technology 170(1-2) (2005) 441-447.

1. 서울대학교 재료공학부

2. 원진 금속

박은수: 서울대학교 재료공학부, 정교수. E-mail: espark@snu.ac.kr

초고장력강판의 인장-압축 거동 비교

김재훈¹ · 정재봉¹ · 김지훈^{1,#}

Comparison of Tension and Compression Behavior of Advanced High Strength Steels

J. H. Kim¹, J. B. Jung¹, J. H. Kim^{1,#}

Abstract

Advanced high strength steel(AHSS) has been designed as a lightweight material for improving fuel efficiency and a high strength material for meeting safety regulations. Among them, dual-phase (DP) steels have a structure with small martensitic phase in the ferritic matrix. Transformation-induced plasticity (TRIP) steels containing residual austenite in the ferritic matrix is used for parts requiring superior formability. TRIP-aided bainitic ferrite (TBF) steels have a structure with bainitic ferrite and residual austenite. Because of the fine residual austenite generated at the boundary of the lath-shaped bainitic ferrite, TBF steels have excellent ductility. In this work, tension and compression tests were conducted for three different advanced high strength steels, DP, TRIP, and TBF steels, with tensile strengths of 980 MPa, 1180 MPa, and 1470 MPa, respectively. The differences in the behavior of the advanced high strength steels were compared.

Key Words : Advanced high strength steel, Dual Phase(DP) steel, Transformation-Induced Plasticity(TRIP) steel, TRIP-aided bainitic ferrite(TBF) steel

1. 부산대학교 기계공학부

교신저자: kimjh@pusan.ac.kr

Liquid Metal Flex Spline의 주조 및 가공

유근희¹ · 김지영¹ · 박은수[#]

Casting and Machining of Liquid Metal Flex Spline

G. H. Yoo, J. Y. Kim, E. S. Park

Abstract

하모닉드라이브는 초정밀 위치제어, 고감속비, 소형경량화, 저소음과 같은 우수한 특성을 가짐으로써 로봇 및 정밀 공작기계 등 차세대 핵심 산업분야의 활용이 기대되는 부품이다. 하모닉드라이브의 성능 및 신뢰성에 있어 부품의 설계 뿐만 아니라 소재의 물성이 큰 영향을 미치며, 특히 기어의 감속비를 결정함과 동시에 출력축에 동력을 전달하는 역할을 하는 하모닉드라이브의 주요 부품인 Flex spline은 구동시 타원형태로 탄성변형되면서 감속동력을 전달하기 때문에 지속적인 변형이 이루어져 소재 및 가공방법이 매우 중요하다. 본 연구에서는 고강도, 고탄성, 고성능을 가지는 비정질 합금 (Liquid metal)을 Suction casting을 통한 주조, 선반가공 및 방전가공을 활용한 정밀 가공을 통하여 Flex spline을 성공적으로 제조하였으며 제조한 Flex spline을 이용하여 특성을 평가하여 비정질 합금의 부품화 가능성을 검토하였다.

Key Words : Harmonic drive, Flex spline, Liquid metal, Casting, Precise machining,

1. 서론

하모닉드라이브는 초정밀 위치제어, 고감속비, 소형경량화, 저소음이 요구되는 로봇산업 및 정밀 공작기계 등에 사용되는 주요 부품으로써 향후 활용분야가 무궁무진하다. 그 중 하모닉드라이브의 핵심부품인 Flex spline은 구동시 타원형태로 탄성변형되면서 감속동력을 전달하는 독특한 거동을 보여 지속적인 변형이 가해지기 때문에 소재의 우수한 물성이 제품의 성능 및 신뢰성에 있어 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 고강도, 고탄성, 고성능을 가지는 비정질 합금을 도입하여 Flex spline을 주조, 가공하여 최종적으로 비정질 Flex spline의 성능을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

Flex spline의 모형상인 Cup-shape의 원통형 벌크 비정질 시편을 제조하기 위하여 Arc-melting 장비를 이용하여 금속을 용융한 뒤 Suction-casting 방법을 활용하였다. 이를 위하여 주조된 시편이 비정질 구조를 가지게 하기 위하여 수냉이 이루어지는 Copper mold의 설계를 통하여 빠른 냉각속도를 가질 수 있도록 설계하였으며, 비정질 형성능이 최대 15mm로 우수한 $Zr_{57}Co_{28}Al_{15}$ 합금을 모합금으로 사용하였다. 주조한 모형상의 외경 및 내경을 초경합금

을 이용한 선반 가공 및 연마 슷돌을 이용한 연마가공으로 가공하였으며, 기어부분은 방전가공을 사용하여 정밀가공을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 $Zr_{57}Co_{28}Al_{15}$ 합금을 Suction casting을 통하여 Cup-shape의 원통형 비정질 벌크 시편을 성공적으로 주조할 수 있었으며, XRD 분석을 통하여 비정질이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 이후 제조된 시편에 대해 선반 가공 및 연마 가공을 통하여 내·외부 치수 정확도를 확보하였으며, 최종적으로 방전가공을 통하여 기어부분의 정밀가공을 진행하였다. 제조한 Liquid Metal Flex Spine의 경우 기존 Stainless steel을 활용한 경우 보다 상대적으로 우수한 피로 변형 저항특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에는 Liquid Metal Flex Spine을 성공적으로 주조 및 선반가공, 연마가공, 방전가공을 통하여 정밀가공하여 치수 정확도를 확보해 성능평가를 진행함으로써, 벌크 비정질 합금의 부품화·상용화를 위해 필수기반기술인에 관한 일반적인 가이드 라인을 제시할 수 있었다.

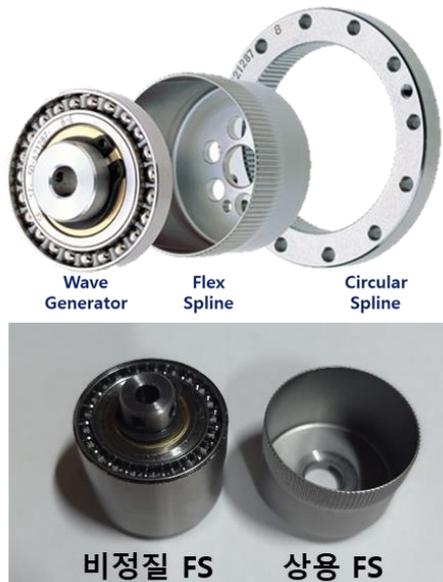


그림 1. 하모닉드라이브의 주요부품 및 가공한 비정질 Flex spline

1. 서울대학교 재료공학부, 신소재공동연구소
박은수: 서울대학교 재료공학부, 정교수. E-mail: espark@snu.ac.kr

Al-Mg 합금 판재의 냉간 압연 시 성형성에 미치는 중간열처리와 압하율 조건의 영향

김정균¹, 김민성¹, 최시훈¹

¹순천대학교

Effect of Intermediate annealing and reduction ratio on the formability of Al-Mg alloy sheets

J. G. Kim, M. S. Kim, S. H. Choi

Abstract

최근 세계적으로 자동차 환경규제 정책이 강화되면서 차체 경량화 기술에 많은 연구가 진행되고 있다. 알루미늄합금은 우수한 비강도와 경량화 효율이 높아 자동차부품 제작에 사용되는 비중이 점차 증가하고 있다. 특히 Al-Mg 합금은 내식성, 용접성, 가공경화성이 우수하여 차체에 적용되는 대표적인 알루미늄 합금으로 알려져 있다. 하지만 알루미늄 합금은 철강과 비교하여 낮은 소성변형비로 인해 성형성을 개선하려는 목적으로 많은 연구가 진행되어왔다. 본 연구에서는 DC(Direct Chill)주조 후 열간압연 한 초기두께 7mm의 5000계열 Al 합금 판재를 1차냉간압연 후에 중간 열처리와 2차냉간압연을 실시하여 두께 압하율 88%로 판재를 제조하였다. 중간 열처리 전·후 압하율이 판재의 성형성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 1차냉간압연 및 2차냉간압연의 압하율을 변경하며 압연하였다. 상이한 공정에 따라 제조된 판재의 기계적 물성과 소성 이방성을 비교하기 위한 목적으로 압연방향에 대해 0°, 45°, 90°의 3방향에서 시편을 채취하였고 일축 인장 시험을 수행하였다. 추가적인 성형성의 평가를 위해 Erichsen 시험을 진행하였다. 각 공정 조건에 따른 5000계열 Al 합금의 집합조직 발달거동을 분석하기 위해서 전계방출형 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope, FE-SEM)에 장착된 전자후방산란회절(electron backscattered diffraction, EBSD)기법을 활용하였다. 본 연구를 통하여 중간 열처리 전·후 압하율의 차이가 성형성에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였으며 집합조직과의 상관관계를 이해하고자 하였다.

Keywords: Rolling, Formability, Al-Mg alloy, Intermediate annealing, Texture

Wedge형 전조금형의 형상에 따른 웜 기어 성형특성 연구

윤덕재¹·윤상현¹·김응주[#]

Forming Characteristics of the Worm Gear According to Shape of Wedge Type Rolling Dies

D. J. Yoon, S. H. Yoon, and E. Z. Kim

Abstract

안전성 및 편의성 강화요구에 부응하여 자동차에 전기전자 구동 부품의 적용이 꾸준히 증가하는 추세이다. 자동차 전동 핵심부품으로써 경량화와 경제적 대량생산이 용이한 플라스틱기어가 널리 적용되고 있다. 플라스틱 기어의 경우 가벼울 뿐만 아니라 진동흡수성, 내식성 등이 우수한 장점을 보유하고 있다. 하지만 플라스틱 기어가 적용되는 경우에도 맞물려 사용되는 상대물은 대부분 금속재이다. 플라스틱 사출재를 강재와 비교해보면 강도는 약 1/10, 강성은 1/100 정도로, 서로 다른 소재로 구성된 두 기계요소들이 상대운동을 하는 경우 소재간 물성 차로 인한 파손 및 마모 문제가 발생할 수 있다. 강도 및 강성 차가 큰 기어들을 쌍으로 사용해야 하는 상황에서 내구성 및 신뢰성을 높이기 위해, 기어들의 전위값을 조정할 비표준 치형을 적용할 수 있다. 강도 및 강성이 열세인 플라스틱 기어의 치두께는 키우고, 반대의 특성을 갖는 강재 기어는 치두께를 극단적으로 감소시킨 치형설계를 채택하게 된다.

본 연구는 치형이 얇고 높은 형태를 갖는 강재 워엄 전위기어의 전조성형에 관한 것이다. 전동식 파워스티어링(MDPS) 등에 활용되고 있는 Worm-Worm Wheel 감속기의 Worm Gear Shaft는 치형의 두께가 얇고 높아 현시점까지 절삭가공으로만 제조되고 있는 실정이다. 전조공정은 기어의 치형을 전개하여 가공된 금형사이에 소재를 위치시킨 상태에서 금형을 이동시켜 소재가 구르면서 기어형상이 전사되도록 하는 공정으로, 대량생산이 가능하고 제조원가를 낮출 수 있다. 또한 금속 조직의 단선이 없어 기계적 성질이 우수하고 균질한 제품 생산이 가능하다. 본 연구에서는 비표준형상 Worm Gear의 전조 성형 공정의 특성을 살펴보았다. 성형 도입부에 Wedge 형태를 적용한 전조금형을 제안하여 전조 성형특성을 살펴보았다. 상용 유한요소해석 프로그램을 활용한 공정해석과 전조성형 실험을 수행하였다. Wedge형 전조금형의 형태와 마찰 및 소재물성 변화에 따른 성형특성을 비교 분석하였다.

Key Words : Worm Gear, Thread Rolling, Wedge Roll, Rotary Forming

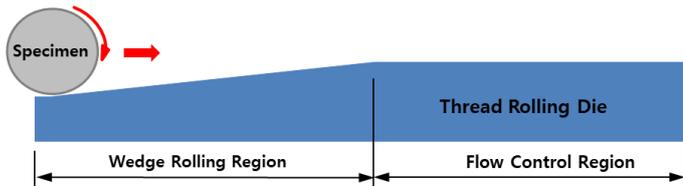


Fig. 1 Worm Gear Rolling Process

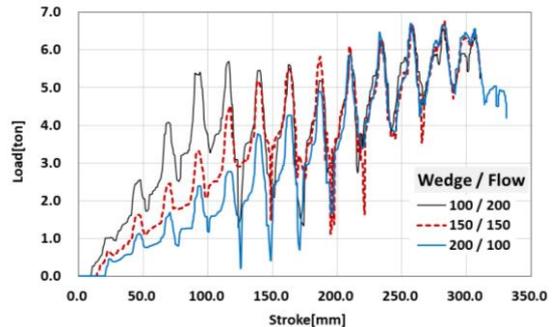


Fig. 2 Comparison of Roll Gap Separation Force

1. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: ezkim@kitech.re.kr

초음파 나노 표면 개질화된 구리의 강도에 미치는 잔류응력의 영향

김은성¹, 이학현¹, 문지현¹, 아마노프 아웨즈한², 김형섭^{1,3,4#}

Effect of residual stress on the strength of copper processed using ultrasonic-nanocrystalline surface modification

E.S. Kim, H.H. Lee, J.H. Moon, A. Amanov, H.S. Kim

Abstract

본 연구는 초음파 나노 표면 개질화(ultrasonic-nanocrystalline surface modification: UNSM)된 구리의 표면 결정립미세화 및 압축 잔류응력이 기계적 물성에 미치는 영향을 분석하였다. UNSM을 통해 구배구조화된 구리 봉재에 대해 저온열처리를 수행하여 미세조직적 특성은 유지하고 압축 잔류응력만을 해소시킴으로써, 표면 결정립미세화 및 압축 잔류응력이 기계적 물성에 미치는 각각의 기여도를 정량적으로 분석하였다. UNSM공정을 통해 강화된 구리의 경도에 대한 표면 결정립미세화 및 압축 잔류응력의 기여는 각각 70% 및 30%, 그리고 항복강도에 대한 기여는 각각 80% 및 20%로 분석되었다.

Key Words: Surface severe plastic deformation; ultrasonic-nanocrystalline surface modification; residual stress; microstructure; tensile property

1. 서론

UNSM공정은 초음파 진동에너지를 이용해 가공 재료의 표면에 초당 수만 번의 충격을 가하여 극도의 소성변형을 유발시킬 수 있는 표면 강소성가공법(Surface severe plastic deformation: S²PD)이다. 그 결과, 재료의 미세조직은 표면으로부터 중심부까지 점차적으로 결정립도가 증가하는 구배구조를 보이게 되고, 이러한 구배구조화는 강도와 연성의 트레이드-오프 경향을 극복할 수 있는 혁신적인 미세조직적 접근법으로 알려져 있다. 또한, UNSM은 금속 표면에 극도의 압축 잔류응력을 유도함으로써 재료의 피로수명, 내마모성 그리고 경도를 개선시키는 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고, UNSM을 통해 재료 표면에 야기되는 압축 잔류응력과 기계적 물성간의 상관관계에 대한 분석은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 UNSM공정 후 저온열처리를 통해 구배구조의 미세조직적 특성을 유지한 채 압축 잔류응력만을 해소시켜, UNSM 처리된 구리의 기계적 물성에 대한 압축 잔류응력의 영향을 알아보았다.

2. 실험방법

본 연구는 초기 균일한 미세조직으로 구성된 구리 봉재에 대해 진폭 30 μm , 주파수 20 kHz, 그리고 충격하중 30 N의 조건으로 UNSM공정을 실시하였다. UNSM 처리 후 미세조직적 특성 변화없이 표면에 유발된 압축 잔류응력만을 해소시키기 위해서, 50 °C에서 4 시간동안 저온열처리를 진행하였다.

1. 포항공과대학교 신소재공학과, 대학원생

2. 선문대학교 기계공학과, 부교수

3. 포항공과대학교 철강대학원, 교수

4. 포항공과대학교 고엔트로피합금연구센터, 센터장

교신저자: 포항공과대학교 신소재공학과, 교수. E-mail: hskim@postech.ac.kr

재료의 미세조직적 특성은 Electron backscatter diffraction (EBSD)를 통해 분석되었고, 저온열처리 전, 후 압축 잔류응력의 변화는 X-ray diffraction (XRD)을 통해 측정되었다. 이후 재료의 표면물성 및 인장특성은 나노인덴테이션 및 디지털 이미지 보정 기법을 이용한 일축인장시험을 통해 평가되었다.

3. 결과 및 고찰

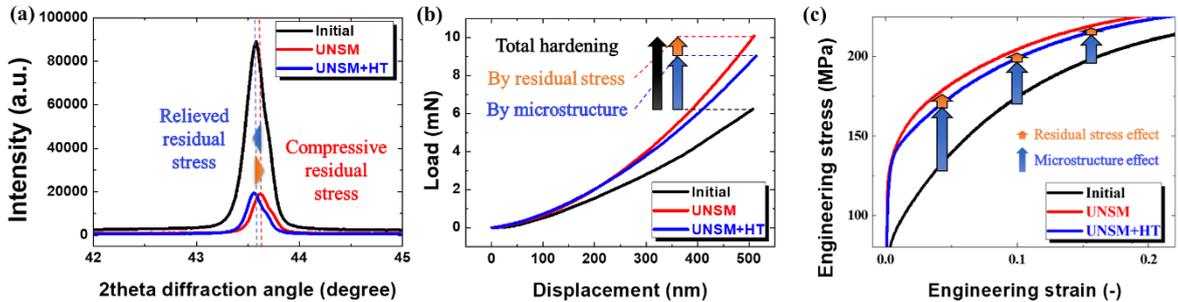


Fig. 1. (a) X-ray Diffraction patterns obtained on the surface. (b) Nanoindentation load-displacement curves and (c) Engineering stress-strain curves of initial, UNSM, and UNSM+heat treated specimens.

Fig. 1. (a)는 초기재료와 UNSM 후 저온열처리 전후의 시편을 XRD로 분석한 결과로 UNSM공정 후 peak shift되었던 (111) peak이 저온열처리 후 다시 초기 위치로 복귀함으로써, 압축 잔류응력이 해소되었음을 확인할 수 있었다.

Fig. 1. (b)는 나노인덴테이션 결과로 초기구리의 경도는 UNSM공정 후 1.96 GPa에서 2.62 GPa로 증가하였으며, 저온열처리를 통해 압축 잔류응력 해소 후 구리의 경도는 2.43 GPa로 감소하였다. 이를 통해 압축 잔류응력으로 기인한 경도 향상이 0.19 GPa (=2.62 GPa-2.43 GPa)임을 알 수 있었고, 이는 UNSM공정을 통해 유발된 전체 경화에 대해 약 30%의 해당하는 경화율이었다.

Fig. 1. (c)는 일축인장시험 결과로 초기재료, UNSM 그리고 UNSM+저온열처리의 항복강도는 각각 84, 131, 122 MPa로 측정되었다. 즉, 항복강도 향상에 대한 표면 결정립미세화 및 압축 잔류응력의 기여도는 각각 38 MPa 와 9 MPa로 확인되었으며, 넥킹 이전의 균일 연신구간동안 유동응력에 대한 압축 잔류응력의 강화효과는 점차적으로 감소하였다.

4. 결론

본 연구에서 UNSM처리된 구리재료의 경도 및 인장특성에 대한 표면 결정립미세화 및 압축 잔류응력이 미치는 각각의 기여도가 정량적으로 확인되었다. 결론적으로, 본 연구는 UNSM공정에 의해 유발된 표면 결정립미세화 뿐만 아니라 압축 잔류응력 역시 기계적 물성 향상에 크게 기여함을 실험적으로 증명하였다.

참고문헌

J.H. Moon, H.S. Kim, 2019, Effects of residual stress on the mechanical properties of copper processed using ultrasonic-nanocrystalline surface modification, Mater. Res. Lett., Vol. 7, Issue 3, pp. 97-102

A. Amanov, I.S. Cho, 2016, Microstructural evolution and surface properties of nanostructured Cu-based alloy by ultrasonic nanocrystalline surface modification technique. Appl. Surf. Sci., Vol. 388, Part A, pp. 185-195

다결정 소성모델 유한요소해석을 활용한 비대칭 압연공정에서의 집합조직 해석

권지혜¹ · 이학현¹ · 김형섭^{1,2,3} #

Texture Analysis in Asymmetric Rolling Using the Finite Element Method and Visco-Plastic Self-Consistent Model

Ji Hye Kwon, Hak Hyeon Lee, Hyoung Seop Kim

Abstract

비대칭 압연공정(Asymmetric Rolling, ASR)은 상, 하부 압연롤의 회전속도를 달리하여 압연을 수행함으로써, 판재의 두께방향으로 균일한 전단변형을 유발시킬 수 혁신적 공정이다. 본 연구에서는 유한요소법(Finite Element Method, FEM)을 이용하여 비대칭 압연하에서의 순 알루미늄의 변형거동 및 변형속도구배를 해석하였다. 다결정 소성모델(Visco-plastic self-consistent, VPSC)을 이용하여 초기 무작위 집합조직을 가진 알루미늄에 대한 비대칭 압연공정 시, 판재의 두께방향에 따른 국부적 변형집합조직 발현을 해석하였다.

Key Words : Asymmetric Rolling, Finite Element Method, Visco-Plastic Self-Consistent model, Texture Evolution, Shear Deformation

1. 서론

집합조직은 판재의 우수한 성형성을 위해 균일하게 조절되어야 할 필수요소 중 하나임에도, 일반적인 압연공정은 판재의 두께방향으로 불균일한 변형을 유발하기 때문에 집합조직 균일성 측면에서 한계가 존재한다. 그러나, 상, 하부 압연롤의 형상 및 회전속도를 달리하여 압연을 수행하는 비대칭 압연의 경우, 통상의 압연공정에 비해 상당히 균일한 전단변형을 유발하기 때문에 공정변수 조절을 통해 판재의 집합조직 균일성을 극대화시킬 수 있다. 그러나 회전속도 및 압하율 등 수 많은 공정조건을 실제 실험으로 재현하고 결정방위 변화를 정량화하기에는 소요되는 에너지가 너무 크기에, 본 연구에서는 유한요소해석과 VPSC모델을 이용해 다양한 공정조건을 보다 경제적으로 예측할 수 있는 전산모사방법을 제시한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 순 알루미늄(AI-1100)판재에 대한 비대칭 압연공정 및 통상의 대칭 압연공정의 전산모사 구현을 위해, 상용 프로그램인 Abaqus/Standard를 이용해 2차원 상에서 유한요소해석을 수행하였다. 상, 하부 압연롤은 반지름 75 mm의 강체로 구현되었으며, 비대칭 압연공정에서 회전속도는 각각 0.3 rad/sec와 0.15 rad/sec로 (각속도 비 2) 일정하게 설정되었다.

1. 포항공과대학교, 신소재공학과

2. 포항공과대학교 철강대학원, 교수

3. 포항공과대학교 고엔트로피합금연구센터, 센터장

교신저자: 포항공과대학교 신소재공학과, 교수. E-mail: hskim@postech.ac.kr

판재와 상, 하부 압연롤의 마찰계수는 0.4로 설정되었다. 본 시뮬레이션에서 사용된 알루미늄 판재의 규격은 400×3 mm²으로 isotropic hardening model 을 이용해 Plane-strain 조건하에서 해석이 수행되었다. 알루미늄 판재의 총 요소 수는 19200개로 두께 방향으로 12개의 요소를 배치하여, 두께 위치에 따른 각 요소의 변형속도구배를 판재의 국부 좌표계와 사용자 정의함수 (user-subroutine)을 통해 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

비대칭 및 대칭 각각의 압연 공정 해석과 VPSC모형을 이용하여, 두께 위치 별 3개 요소의 전단 변형률과 RD 방향에서의 역극점도를 비교하여 나타내었다. 그 결과 대칭 압연공정의 표면부와 비대칭 압연공정의 모든 두께 위치에서, 면심 입방 격자 요소의 Plane-strain 조건하에서 전단/역전단 변형을 고려한 압연공정 후 발현되는 (011)//RD 집합조직을 확인하였다. 또한, 대칭 압연공정을 받은 판재의 중심부에서는 전단/역전단 변형을 고려하지 않은 (111)//RD 집합조직 발현을 확인할 수 있었다.

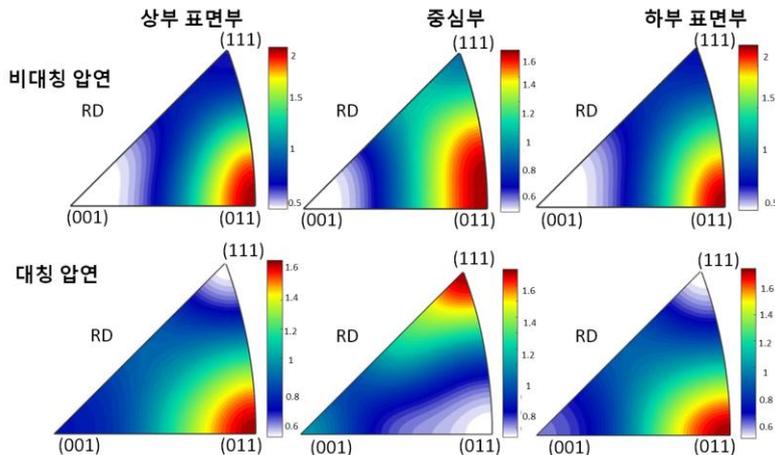


Figure 1 유한요소해석과 VPSC모형을 이용하여 예측한 비대칭 압연공정 및 대칭 압연공정 후 알루미늄 판재의 역극점도

4. 결론

본 연구에서는 유한요소해석과 VPSC모형을 이용하여 대칭 및 비대칭 압연공정 하에서의 순 알루미늄 판재의 두께위치 별 전단 변형률과 변형집합조직 발현을 성공적으로 계산하였다. 해당 전산모사방법을 통해 다양한 변형이력을 겪은 재료의 집합조직 발현을 정량적으로 재현하여 최적의 공정조건을 예측할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] V Alexa, I Kiss, V G Cioată and S A Rațiu., 2019, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*,
- [2] H.T Jeong, S.D. Park and T. Ha., 2006, *Met. & Mater.*; Vol. 12, No. 1, pp. 21~26.
- [3] Satyam Suwas and Ranjit Kumar Ray., 2014, *Crystallographic Texture of Materials. Engineering Materials and Processes.*

CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금과 FCC 단상을 갖는 steel계 합금의 신장플랜지성 비교

최연택¹ 배재웅¹ 박정민¹ · 김형섭[#]

Comparison of stretch-flangeability of CoCrFeMnNi high-entropy alloy and steel-based alloys with FCC single phase

Y. T. Choi¹, J. W. Bae¹, J. M. Park¹, H. S. Kim[#]

Abstract

Stretch-flangeability is one of the important characteristics to be considered in the forming process of sheet metals, and is an element to be considered in the commercialization of high-entropy alloys. In this study, stainless steel and twinning-induced plasticity (TWIP) steel with FCC single phase were used to compare the stretch-flangeability of CoCrFeMnNi high-entropy alloy. For quantitative stretch-flangeability comparison, a hole expansion test (HET) were performed to compare hole expansion ratio (HER). A small-scale HET method was used, which can test with a smaller specimen than the Ericshen test. As a result, the hole expansion ratio of CoCrFeMnNi high-entropy alloy was measured twice as high as that of other alloys, followed by stainless steel and TWIP steel.

Key Words: Stretch-Flangeability, High-Entropy Alloy, Hole Expansion Test, Hole Expansion Ratio

1. 서론

Stretch-flangeability는 판재의 성형공정에서 고려해야 할 중요한 특성 중 하나이며, 고엔트로피 합금의 상용화 측면에서도 살펴보아야 할 요소이다. 본 연구에서는 CoCrFeMnNi high-entropy alloy의 stretch-flangeability를 비교하기 위하여 동일하게 FCC 단상을 갖는 stainless steel, twinning-induced plasticity (TWIP) steel을 사용하였다. Stretch-flangeability를 정량적으로 비교하기 위해서 hole expansion test (HET)를 수행하여 hole expansion ratio (HER) 값을 비교하였다. Ericshen 시험보다 작은 시편으로 시험이 가능한 small-scale HER 실험법을 사용하였다. 그 결과 hole expansion ratio는 CoCrFeMnNi high-entropy alloy가 다른 합금들에 비해 두 배가량 높게 측정되었으며 그 뒤로 stainless steel, TWIP steel 순으로 높게 나타났다.

1. 포항공과대학교 신소재공학과

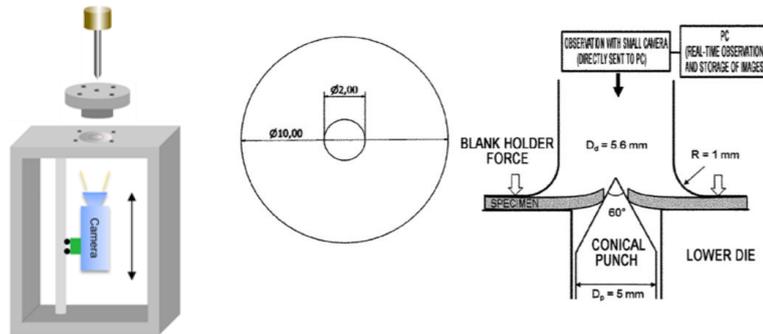
교신저자: 포항공과대학교 신소재공학과, 직위: 고엔트로피합금센터 센터장. E-mail: hskim@postech.ac.kr

2. 실험방법

Small-scale hole expansion test를 수행하기 위해서 0.3~0.7 mm 두께의 판재를 직경 10 mm의 원형으로 가공 후 중앙에 2 mm 직경의 원형 구멍을 펀칭(punching) 한다.

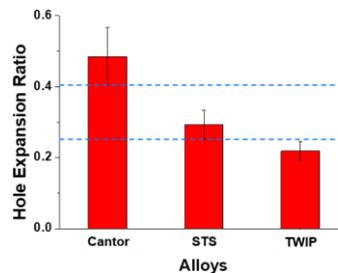
일축 압축 시험기에 금형을 설치하고 구멍 확장 시험을 진행하여 최초 파단이 발생한 시점에서 실험을 중단한 뒤 하중을 제거한다.

초기 펀칭 된 hole의 직경과 파단 발생 후의 직경의 비를 구하여 hole expansion ratio 값을 얻는다.



3. 결과 및 고찰

CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 신장플랜지성(stretch-flangeability)을 FCC 단상을 갖는 철계 합금들(stainless steel, TWIP steel)과 비교하였을 때, HER 값이 가장 높게 나타났으며 그 값은 두 배 가량 높았다.



4. 결론

합금에서 신장플랜지성은 드로잉과 같은 실제 공정에 금속 판재를 적용하기 위한 중요한 척도이며, 성형성을 결정하는 인자 중 한가지이다. 고엔트로피 합금의 상용화 가능성을 알아보기 위해 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금과 같이 FCC 단상을 갖는 철계 합금들과 신장플랜지성을 비교해보았다. 그 결과 이미 상용화 되어있는 합금들보다 우수한 결과를 확인할 수 있었으며, 이는 고엔트로피 합금이 상용화에 한걸음 다가갈 수 있는 가능성을 나타낸다.

참고문헌

[1] J.I. Yoon, 2018, Small-scale system for evaluation of stretch-flangeability with excellent reliability, JOM, vol. 70, No. 6, pp. 912~917.

Stainless steel 316L의 Laser Metal Deposition 최적 공정 조건 탐색

사공만재¹ · 박정민¹ · 김은성¹, 김형섭^{1,2,#}

Effect of Process Condition on Stainless Steel 316L Additively Manufactured by Laser Metal Deposition

M. J. Sagong¹, J. M. Park¹, E. S. Kim¹, H. S. Kim^{1,2,#}

Abstract

Laser Metal Deposition (LMD)은 Metal powder의 분사와 레이저 조사를 동시에 수행하는 금속 적층제조 (Additive Manufacturing; AM) 공정의 한 방법으로, 타 적층제조 공정 대비 빠른 공정 속도 및 대형 시편 제조의 용이함으로 인해 최근 들어 큰 관심을 받고 있는 공정이다. 한편, 이러한 LMD 공법의 큰 장점에도 불구하고 해당 공법이 적용된 조형체는 극심한 입열 및 가혹한 공정 환경으로 인해 거시적인 결함(기공, 형상 및 높이 미충족)을 자주 함유함에 따라 이를 최소화하기 위한 최적 공정 탐색 등의 연구가 전세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 이때, 이러한 LMD 적용 소재의 결함률은 공정 도중의 입열량에 가장 크게 지배받으며, Laser power, Layer height, Tool path와 같은 공정 변수의 조절에 따라 민감하게 변화하게 된다. 본 연구에서는 적층제조용 소재로 가장 많이 활용되는 316L 스테인리스강 분말을 활용하여 LMD 공정 변수 변화에 따른 조형체의 거시적 결함 양상 변화를 정량적으로 분석하였으며 건전한 조형체를 제작하기 위한 최적 LMD 공정 조건을 도출하였다.

Keywords: Laser Metal deposition, Stainless Steel 316L, Additive Manufacturing, Process Optimization

1. 서론

Laser Metal Deposition (LMD)은 Metal powder를 분사함과 동시에 레이저를 조사하여 적층 부위의 표면에 Melt pool을 형성하고, 이를 반복적으로 수행하여 CAD 데이터 기반 3차원 조형체를 제작하는 Bottom-up 방식의 적층제조 기술이다.

해당 공법은 타 적층제조 공정 대비 빠른 공정 속도 및 조형체 크기 제한의 자유도가 높은 강점을 지니나, 큰 분말 입도 및 높은 입열량을 동반함에 따라 조형체 형상 분해능이 낮은 문제가 있어 이를 개선하기 위한 공정 최적화 관련 연구가 최근 많은 관심을 받고 있다.

본 연구에서는 적층제조용 소재로 가장 많이 활용되는 Stainless Steel 316L에 대한 다양한 공정 조건에서 LMD 공정을 적용하여 CAD 설계 데이터 대비 치수 정확도 검증 및 결함을 분석을 수행하였다. 이때, LMD 공정에 따른 조형체 치수 정확도 및 기공율은 공정 도중의 입열량에 민감하게 변화함에 따라, 입열량 관련 주요 인자인 Powder feeding rate와 Laser power 변화에 따른 조형체 특성 평가를 집중적으로 수행하였다.

1. 포항공대 신소재공학과

2. 포항공과대학교, 고엔트로피융합센터

교신저자: 포항공과대학교 신소재공학과, E-mail: hskim@postech.ac.kr

2. 실험방법

입도 45 ~ 150 μm 의 상용 Stainless Steel 316L 분말(SANDVIK Ltd., Sweden)을 LMD 장비(MX-Lab, Insstek Co, Republic of Korea)를 이용하여 45C 탄소강 기판에 적층하였다. 이때, Scan speed 14.1 mm/sec, Hatching space 0.3 mm, Tool path는 n번째 Layer에서 외부/내부 경로로, n+1번째 Layer에서 외부/내부/외부 경로로 적층하는 조건 아래, 내부 경로의 적층 Pattern은 Zigzag로 설정하고, Layer마다 적층 Pattern 방향을 90° 씩 증분시켜 적층하였다.

시편의 형상은 높이 0.15 mm, 층수 20의 Slice조건을 가진 높이 3 mm, 가로 5 mm, 세로 5 mm의 직육면체 형태이며, Powder feeding rate에 따른 조형체 치수 정확도 및 결함을 양상 분석을 위해 16.7% (1.25 g/ min), 33.4% (2.5 g/ min) 두 그룹에서의 LMD 공정을 수행하였다. 또한, Laser power 효과를 분석하기 위해 100 W에서부터 20 W단위의 간격으로 260 W까지 각 9개의 적층물을 제작하였으며, 이때 설계 높이에 대한 충족 여부는 조형체 중심부의 높이를 기준으로 산정하였다. 이후, 각 조형체 단면에 대한 광학 현미경(BX51M, PUS Co., Japan) 분석을 통해 공정 조건에 따른 결함을 변화에 대한 정량적인 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 결론

결함의 존재 유무를 따져보았을 때, Powder rate에 상관 없이 공통적으로 Laser power 100 W, 120 W, 140 W 조건에서는 낮은 출력으로 인해 소결되지 않은 입자들이 적층되지않아 공극이 발생하였으나, 160 W 이상인 Laser power조건 적층물에서는 해당 결함을 찾아볼 수 없었으며, 특정 값 이상으로 출력 값을 적용하게 되었을 때 고르게 적층되는 경향을 보였다.

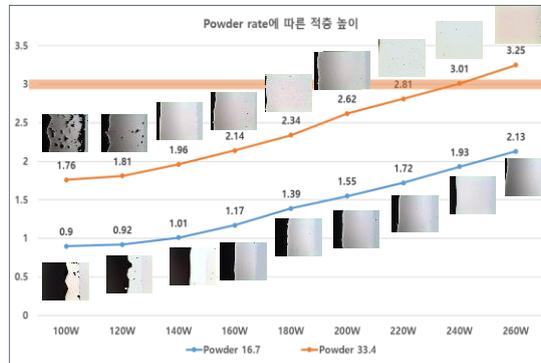


그림 1. Powder rate에 따른 적층 높이

100부터 260 W까지 Laser power 증가에 따라 적층 높이가 증가한다. Powder feeding rate 16.7% (1.25 g/min) 조건에서는 모든 적층물이 적층 설계 높이인 3 mm를 충족하지 못하였으며, 33.4% (2.50 g/min)에서는 240 W 적층물이 높이 3.01 mm로 설계 적층 높이에 가장 근접한 값을 보였다. 동일한 Powder feeding rate에서 Laser power 240 W 적용 시 2.81 mm (-0.19 mm), 260 W 적용 시 3.25 mm (+0.25 mm)의 순으로 작은 오차를 가졌다.

해당 실험을 통해 입도 45~150 micron의 Stainless steel 316L를 적층하는 LMD 공정에서 Powder feeding Rate와 Laser power에 대한 결함과 적층 높이를 고려했을 때 Powder rate 33.4%에서 Laser power 240 W 조건이 적합한 조건임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, C. Emmenlmann, Additive manufacturing of metals, Acta Mater. 117 (2016) 371-392.

STS 316L-페라이트계 저합금 경사조성재료를 이용한 Direct Energy Deposition 제조 및 특성평가

Direct Energy Deposition and properties evaluation of functional graded material of STS 316L and ferritic low carbon steel

신기승^{1,2} 김정한^{1*}, 박용호², 윤지현³, 김대환³, 이동준⁴, 장혜정⁵, 최하늘⁵

¹한밭대학교 신소재공학과

²부산대학교 재료공학과

³한국원자력연구원 신소재개발실

⁴한국기계연구원 부설 재료연구소 항공우주재료연구센터

⁵한국과학기술연구원 특성분석센터

*Corresponding author e-mail: jh.kim@hanbat.ac.kr

Key Words : Additive Manufacturing, Direct Energy Deposition, Functionally Gradient Material.

원자로의 배관 접합은 페라이트계와 오스테나이트계 합금을 이종접합 한다. 그러나 이종금속 접합은 두 금속간의 열적 또는 물리적 성질 차이로 인해, 적층간의 계면 결함이 약한 영역에서 균열 및 박리가 발생 된다고 보고되었다. 본 연구에서는 균열과 박리가 발생하는 기존 원자로 배관접합 방법을 대체하기 위해서, 경사조성재료(functionally gradient material, FGM)를 사용하였다. 한편, 적층가공(additive manufacturing, AM)은 제조업계에 획기적인 기술로 여겨지고 있다. 이종 금속분말 DED 적층 방법은 타 적층공정에 비하여 빠른 입열과 적층속도로 인해 산업현장에서 활발히 활용되고 있고 특히 FGM 소재 제작에 유리한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 3D 프린팅공정을 통해 금속접합 하였으며, 접합된 계면과 각 층의 특성분석을 확인하고자 하였다. 시편 제조는 총 5층으로 DED 적층하였으며, 기관(S45C)위에 페라이트계 저합금강을 적층하고, 그 위 중간층(3층)은 페라이트계 저합금강 0.2C와 오스테나이트계 316L 분말을 일정 비율로 혼합 후 적층하였다. 가장 윗층에는 316L분말을 적층하였다. 적층된 시편의 계면과 층 분석은 페라이트 함량측정(Ferrite scope), EBSD, TEM, XRD, 잔류응력 측정, 열팽창계수 분석과 기계적특성을 분석하였다.

임프린팅 공정에서 PET 필름의 두께 별 미세패턴 전사특성 연구

박정연¹ · 이동원^{1,2} · 윤길상^{1,#}

A Study on the Transfer characteristics of micro-patterns by thickness of PET film in the imprinting process

J.Y. Park, D.W. Lee, G. S. Yoon

Abstract

In this study, it was conducted on the characteristics of micro-pattern transfer according to the thickness during the micro-imprinting process using a crystalline polymer, PET film. The degree of influence on the process conditions for each PET film thickness was observed through experiments, and process conditions having the greatest influence on the transfer rate of the patterns were derived.

Key Words : Scaffold, Multi-layered 3D Structure, Hot Imprinting Process, Micro Pattern Mold, Crystalline Polymer, PET(Poly(ethylene terephthalate))

1. 서론

최근 신약개발, 질병연구 등의 목적으로 동물 실험을 배제하고 세포를 체내환경과 유사한 3차원으로 배양하려는 연구 및 상용화가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 두께 50 μm 이하의 고분자 기저막을 스캐폴드(scaffold)로 활용, 형상을 갖는 기저막을 적층하여 3차원 체내환경과 유사하게 구현하고자 한다. 이를 위해 독성이 없고 E-beam 살균 가능한 PET(polyethylene terephthalate) 수지 필름에 대하여 임프린팅 공정을 통해 필름두께의 4배 높이를 갖는 사각채널 형태의 구조물을 성형하고 그 결과를 관찰하였다. PET는 결정화도에 따라 비정질 부분(amorphous region)과 결정질 부분(crystalline region)이 존재하기 때문에, 공정온도에 따라 먼저 용융되는 구간이 달라진다. 또한 PET는 가압 열성형 후 냉각되는 과정에서 재결정(T_c , Crystallization temperature)이 일어나기 때문에 임프린팅 공정조건에 따라 마이크로 패턴의 성형 거동 및 전사패턴이 달라질 수 있다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 결정성 고분자 수지 필름은 PET(Polyethylene terephthalate)이며 Goodfellow사로부터 제공받았다. 실험대상 필름의 두께는 각각 50, 25 μm 이다. 상측몰드는 폭 200 μm , 높이 200 μm , 길이 5 mm의 사각 패턴이 600 μm 간격으로 배치되고, 하측몰드는 상측몰드에 대하여 좌우상하 각각 50 μm 씩 음각 오프셋(offset)되도록 설계된 마이크로 패턴 몰드를 이용하여 임프린팅 공정을 수행하였다. 공정온도(95, 115, 135 $^{\circ}\text{C}$) 및 최대하중(25, 50 kgf)의 조합으로 필름을 가압하

1. 한국생산기술연구원 형상제조연구부

2. 인하대학교 기계공학과

교신저자: 한국생산기술연구원 형상제조연구부, 수석연구원, seviaygs@kitech.re.kr

였다.

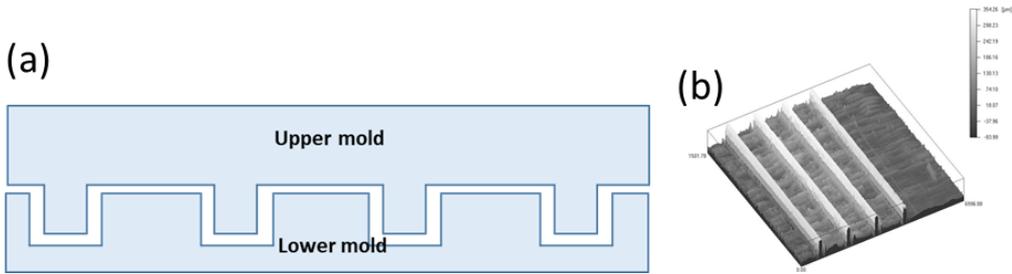


Fig. 1 (a) Scheme of Imprinting mold shape and (b) molding pattern observation through 3D microscope

3. 결과 및 고찰

두께가 50um일 경우 동일 온도에서 하중이 증가할수록 폭과 높이 모두 감소되는 경향을 보였다. 또한 동일한 하중을 적용할 경우 온도가 상승할수록 폭과 높이 모두 감소되어 채널이 성형되었다. 반면 두께가 25 um일 경우 동일 온도에서 하중이 증가할수록 폭과 높이 모두 증가되는 경향을 보였으며, 동일 하중 상에서는 온도가 증가할수록 폭과 높이 모두 증가되는 것으로 나타났다. 이는 결정성 수지 필름 두께가 감소할수록 결정질 부분의 체적이 감소되기 때문에 온도 및 하중이 증가할수록 필름이 변형될 소지가 커지기 때문인 것으로 판단된다.

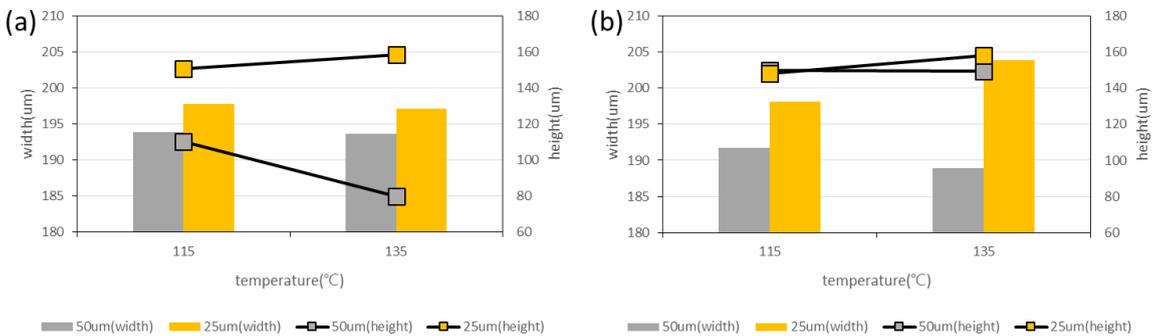


Fig. 2 Dimension of micro-pattern on films according to the compression force (a)25kgf, (b)50kgf

4. 결론

본 연구에서는 결정성 수지 필름인 PET의 두께가 감소됨에 따라 동일한 몰드 형상에 대하여 하중 및 온도조건에 따른 마이크로 패턴의 성형거동 및 전사패턴을 관찰하였다. 필름 두께가 감소할수록 몰드 형상에 근접하게 성형됨을 확인하였고, 필름에 전사되는 마이크로 채널 패턴의 전사율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 성형온도이다.

후기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 “바이오부품 적용을 위한 선택적 투과성의 다층 3차원 기저막 구조 제작 금형기술개발(KITECH-EO-0070)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문헌

[1] Ren H. L., 2018, Design of the printing pattern on film for three-dimensional molded interconnect devices, Adv. Polym Technol, 37, pp.1722-1731

마이크로 핫엠보싱 공정 시 패턴크기에 따른 PS 필름의 변형특성 비교

박정연¹, 손정언¹, 윤길상^{1,#}

Deformation comparison of PS films according to pattern size during micro hot embossing process

J.Y. Park, J.E. Son, G. S. Yoon

Abstract

Hot embossing, which is one of the plastic molding techniques, is not applied when molding precise parts with film, because the characteristic change according to the change in temperature is large. However, recently, attempts have been made to implement a 3D cell culture structure by applying a plastic material. Therefore, in this study, the deformation and transfer characteristics of the PS film were compared according to the height of the micro pattern mold and the hot embossing process conditions when forming a shell-type micro structure targeting a non-precision PS film ($t = 50 \mu\text{m}$). It was confirmed that as the height of the mold pattern decreased, the maximum load did not significantly affect the transfer rate, and was molded almost similar to the dimensions of the mold.

Key Words : Hot embossing Process, Shell-type micro-Pattern, Amorphous Polymer Membrane, PS(Poly(styrene), transcription rate of height dimension

1. 서론

플라스틱의 성형기법 중 하나인 핫엠보싱은 금속 판재의 프레스 드로잉가공과 유사하지만, 성형에 사용되는 플라스틱 소재가 금속 판재보다 온도의 변화에 따른 특성변화의 폭이 크다. 이로 인해 정밀한 부품 성형에는 사용되지 못하였으나, 최근 플라스틱 소재를 적용하여 3차원 세포배양용 구조물을 구현하려는 시도가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 멀티월 플레이트(multiwall plate) 등 세포배양용기에 많이 사용되는 비정밀 소재인 PS 필름을 대상으로 셸 타입(shell-type)의 마이크로 구조물 성형 시 마이크로 패턴몰드 높이 및 핫엠보싱 공정조건에 따른 PS 필름의 변형 및 전사특성을 비교하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 비정질 고분자 수지 필름은 PS(Polystyrene) 이며, 두께는 $50 \mu\text{m}$ 이다. 마이크로 사각 채널은 상측 몰드가 양각, 하측 몰드가 음각인 형태로 $600 \mu\text{m}$ 간격으로 배치되었다. 패턴크기에 따른 변형특성을 비교하기 위하여 높이 $200 \mu\text{m}$, $150 \mu\text{m}$ 인 마이크로 몰드를 각각 가공하였다. 핫엠보싱은 성형온도($90, 100^\circ\text{C}$) 및 최대하중($25, 50 \text{ kgf}$) 조합인 총 4가지 공정조건으로 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

높이에 대한 전사율(transcription rate of height dimension, 몰드치수/필름치수)은 무차원의 값으로, 1에 가까울수록 필름이 몰드와 동일한 치수로 성형됨을 의미한다. 높이가 200 μm 인 몰드로 패턴을 성형한 경우 최대하중을 25 kgf 부여했을 때 온도가 상승함에 따라 필름이 설정 높이에 근접하게 성형되지 않기 때문에 전사율이 높아지는 것으로 나타난다. 이는 PS 필름을 높이 200 μm 으로 성형하기 위해서는 25 kgf 보다 큰 하중이 부여되어야 함을 의미한다. 실제로 최대하중을 50 kgf 부여했을 때 1.8~2.5 였던 전사율이 1.3 정도로 개선됨을 확인하였다. 한편, 높이가 150 μm 인 몰드로 패턴을 성형할 경우 최대하중값에 관계없이 높이에 대한 전사율이 1.2를 넘지 않음을 확인하였다. 또한 성형온도가 상승할수록 전사율이 1.19 에서 1.11정도로 약간 낮아졌다. 위 실험을 통해 높이에 대한 전사율에 영향을 미치는 주요인은 최대하중임을 알 수 있다.

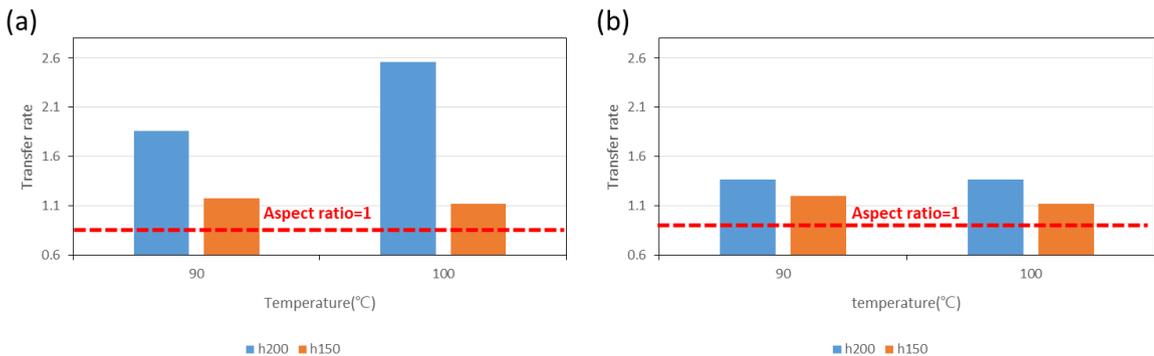


Fig. 2 Transfer rate of height according to the compression force on PS film (a) 25kgf, (b) 50kgf

4. 결론 (돋움 12pt)

본 연구에서는 비결정성 수지 필름인 PS를 대상으로 몰드의 마이크로 패턴 높이 및 공정조건 별 PS 필름의 높이 전사특성을 비교하였다. 몰드 패턴의 높이가 감소할수록 최대하중이 전사율에 큰 영향을 미치지 않으며, 몰드의 치수와 거의 유사하게 성형됨을 확인하였다. 향후 높이에 대한 전사율이 거의 1에 근접한 핫엠보싱 공정조건을 도출할 예정이다.

후기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 “바이오부품 적용을 위한 선택적 투과성의 다층 3차원 기저막 구조 제작 금형기술개발(KITECH-EO-0070)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문헌

- [1] Throne, James L., 1996, Technology of thermoforming, Hanser, pp. 235-237.
- [2] E. M. Park, S. K. Kim, S. Y. Lee, Simulation method of film thermoforming, 2018, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Autumn Conference, pp.27.

1. 한국생산기술연구원 형상제조연구부
교신저자: 한국생산기술연구원 형상제조연구부, 수석연구원, seviaygs@kitech.re.kr

세포보관용기의 극저온 사용강도에 영향을 미치는 사출성형인자 분석

박정연¹ · 손민규¹ · 이동목² · 이순례³ · 윤길상^{#1}

Analysis of injection molding factors affecting the cryogenic use strength of cell storage containers

J. Y. Park, M. K. Son, D. M. Lee, Sunray Lee, G. S. Yoon

Abstract

In this study, we suggest that optimal injection molding condition that can produce the lowest residual stress on cryogenic storage container model. First, the effect of injection process conditions on residual stress was investigated using the experimental design method. Six control factors were selected, and two levels were applied to each. Unlike previous study results, it was confirmed that the packing pressure had the greatest effect on the residual stress. Residual stress values were measured using a birefringence meter in a cryogenic storage container molded by applying optimal injection process conditions, and similar results were obtained.

Key Words : Cryogenic cell storage container, Residual stress, Von Mises stress, birefringence

1. 서론 (돋움 12pt)

선행연구에서 기존 액체질소탱크용으로 사용된 극저온 보관용기의 낮은 열팽창속도를 개선하기 위해서 관통홀을 다수 배치한 새로운 보관용기 모델을 제시하였다. 관통홀 개수가 증가함에 따라 수지의 흐름 및 압력(사출압력, 보압력), 냉각조건 등에 의해 사출성형 후 보관용기에 잔류 응력이 남게 되고, 이는 성형품의 상온 및 극저온에서의 기계적 강도에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 잔류응력을 최소화함으로써 극저온(-180 °C 이하) 환경에서 견딜 수 있는 보관용기를 성형할 수 있는 최적사출공정을 제시하고자 한다. 이를 위해 우선 실험계획법을 적용하여 6개의 사출성형공정을 인자로 설정하고 인자 별로 2수준을 적용하여 사출성형해석을 수행하였다. 실험계획법을 통해 도출된 최적사출성형조건을 적용한 시제품의 복굴절값을 측정하고 해석결과와 비교하였다.

2. 실험방법

실험계획법에 사용된 6개의 인자는 표 1과 같이 수지용융온도, 금형온도, 사출시간, 보압크기, 보압시간, 냉각시간이다. 각 인자별로 2수준을 적용하였다. 수지는 Sabic 사의 Polycarbonate(EXL 1132T)를 사용하였다.

1. 한국생산기술연구원 형상제조연구부, 연구원/기술원

2. 한국생산기술연구원 안전시스템연구그룹 바이오메디칼생산기술센터, 수석연구원

3 ㈜세포바이오 기술연구소, 연구소장

교신저자: 한국생산기술연구원, 형상제조연구부, 수석연구원/부분장, seviaygs@kitech.re.kr

Table 1. Values by injection molding condition factor and level

	Melt temperature(°C)	Mold temperature(°C)	Injection time(sec)	Packing pressure(MPa)	Packing time(sec)	Cooling time(sec)
Upper	285	65	2	40	2	20
Lower	330	100	6	80	6	60

3. 결과 및 고찰

Lee 등[1]의 연구에 따르면 결정성 고분자수지 시편의 잔류응력은 충전속도, 사출온도, 금형온도에 영향을 많이 받고, 비정형 고분자수지 시편의 잔류응력은 금형온도와 사출압력에 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 그림 1의 (a)와 같이 잔류응력에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 보압 크기인 것으로 나타났으며, 그 다음에 수지용융온도, 사출시간, 보압시간이 비슷한 영향을 끼치는 것으로 해석되었다. 반면 금형온도는 잔류응력의 증감에 가장 작은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 사출성형해석을 통해 잔류응력값이 최소가 되는 성형 조건은 용융온도 285 °C, 금형온도 65 °C, 사출시간 6초, 보압크기 40 MPa, 보압시간 2초, 냉각시간 20초 이며, 이를 적용한 해석결과 및 시사출물에 관찰되는 잔류응력값은 각각 22.96 MPa, 22.24 MPa로 거의 유사하게 나타났다.

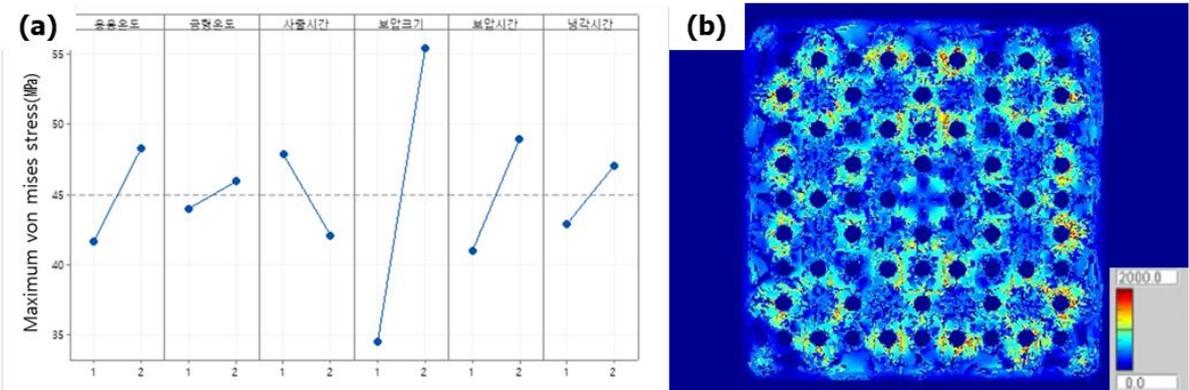


Fig.1 (a) Comparison of the main effects of each factor on the maximum residual stress (b) Birefringence distribution of molded products

4. 결론

본 연구에서는 극저온 환경에서 견딜 수 있도록 보관용기의 잔류응력이 최소가 될 수 있는 사출성형공정조건을 실험계획법 및 해석을 통해 도출하고 도출된 최적사출성형조건을 적용한 극저온 보관용기에 대하여 복굴절 측정을 통해 실제 응력 값과 비교하였다. 향후 극저온 환경에서 파단이 발생하지 않는 최소 잔류 응력 값을 도출하여 보관용기 품질기준을 확립할 계획이다.

참고문헌

[1] H. S. Kim, J. G. Kim, J. W. Lee, 1996, Effect of processing conditions on microstructure and residual stress of injection molded polymer products, The Korean Journal of Rheology, Vol. 8, No. 1, pp58-68.

알루미늄 샤프트 다단 단조공정의 해석 및 실험적 연구

이성윤¹· 이인규¹· 이성민¹· 황선광¹· 황원석²· 박재욱²· 이상곤[#]

Analytical and Experimental study on a multi-stage forming process for aluminum shaft

S. Y. Lee, I. K. Lee, S. M. Lee, S. K. Lee, S. K. Hwang, W. S. Hwang, J. W. Park

Abstract

최근 지구온난화와 화석연료 고갈에 따른 환경규제에 대응하기 위하여 에너지 효율 상승을 위한 차량 경량화에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 자동차산업은 기존 철계 소재로 제작되는 다양한 부품들을 알루미늄, 마그네슘, CFRP와 같은 경량화 소재로의 전환을 통해 에너지 고효율화 및 친환경차량 개발에 노력하고 있다. 차량용 샤프트의 경우 핸들에서 전해진 회전력을 바퀴로 전달하는 조향장치 부품중 하나로 요구되는 높은 기계적 특성으로 인해 현재 철계 소재를 사용하여 양산되고 있다.

본 연구에서는 알루미늄을 적용한 냉간 다단 공정을 설계함으로써 샤프트의 경량화 및 생산성 향상을 목적으로 하고 있다. 유한 요소 해석 프로그램인 DFORM을 이용하여 냉간 다단 단조 공정해석을 통해 알루미늄 샤프트의 성형 특성 및 성형 가능성을 확인하였으며, 실제 알루미늄 샤프트 다단 단조 실험을 통해 유효성을 검증하였다.

Key Words : Multi-stage Forming, Aluminum shaft, FEM



[Multi-stage forming process for aluminum shaft]

후기

* 본 연구는 산업기술혁신사업(산업소재핵심기술개발사업 : 20006979)의 지원으로 수행되었음

1. 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹
2. 대한메탈
교신저자: 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹.
E-mail: sklee@kitech.re.kr

유한요소 해석을 이용한 차량용 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 프로그래시브 금형 설계

이성윤¹ · 이인규¹ · 이상곤¹ · 최용진¹ · 배국진² · 김상영² · 정명식[#]

Progressive Die Design for Automotive Air Conditioning Compressor Clutch Hub Using Finite Element Analysis

S. Y. Lee, I. K. Lee, Y. J. Choi, S. K. Lee, M. S. Jeong

Abstract

최근 자동차산업에서 증가하는 인건비 및 재료비를 극복하기 위하여 원가절감 및 품질향상을 통한 제품의 경쟁력 확보가 대두되고 있다. 차량용 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 경우 주로 단조 또는 소결 가공으로 제조됨에 따라 공정이 복잡하고 각 공정별 투입되는 인력으로 인한 인건비 상승으로 제품의 경쟁력 확보에 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다수의 공정을 연속적으로 성형이 가능한 프로그래시브공정(Progressive process)을 적용하여 생산성향상 및 인원절감을 통한 원가 절감이 필요하다. 하지만 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 복잡한 형상으로 인해 프로그래시브 공정 적용 시 증육 공법(wall thickening forming)을 이용한 벽부 및 코너부의 증육이 필수적으로 수행되어야 함에 따라 소재 유동제어와 금형 설계에 어려움이 있다.

본 연구에서는 차량용 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 원가 절감 및 생산성 향상을 위하여 유한요소 해석을 이용한 프로그래시브 금형설계에 관한 연구를 수행하였다. 공정에 적용된 소재는 두께 3mm의 SPCC 강판이며, 유한요소해석 소프트웨어는 DEFORM을 이용하였다. 성형해석 시 압연방향에 의한 이방성(anisotropy)은 고려하지 않았으며, 각 공정별 파단을 예측하기 위해 연성 파괴 조건(ductile failure criteria)을 적용하였다. 진단공정과 유한요소해석의 결과 비교를 통해 임계 손상치(critical damage value)를 도출하였으며 손상치가 임계 값을 넘지 않는 금형 형상을 설계 하였다. 최종 제품 치수를 기반으로 초기 블랭크 형상을 결정하였으며 초드로잉틀 및 금형 형상변화에 따른 성형해석을 수행하였다. 유한요소해석 결과로 프로그래시브공정을 이용한 차량용 에어컨 컴프레서 클러치 허브의 생산 가능성을 확인할 수 있었다.

Key Words : Progressive process , Wall thickening forming ,Ductile failure criteria, FEM

후기

* 본 연구는 지역기업 혁신성장 지원(R&D) 사업(과제번호: P0010151)의 지원으로 수행되었음

1. 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹

2. ㈜디에이치테크

교신저자: 한국생산기술연구원 기계소재부품연구그룹, 수석연구원.

E-mail: msjeong@kitech.re.kr