

2019년도 한국소성가공학회
추계학술대회 및 정기총회
일 정 집

일 시 : 2019년 10월 17일(목)~18일(금)

장 소 : 제주 칼호텔

주 최 : 한국소성가공학회



사단
법인

한국소성가공학회

제 1 발표회장

2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 로즈

○ 특별세션 2 – 초전도 선재 제조기술

(13:00~15:00)

좌 장 : 오영석(KIMS)

13:00~13:15	MgB2 초전도 선재용 원료분말 특성제어	정국채*, 오영석, 강성훈(KIMS), 장세훈, 황덕영(KAT)
13:15~13:30	MgB2 초전도선재의 전기적-기계적 특성 연구	장세훈*, 김효성, 이광진, 황덕영(KAT), 신형섭(안동대)
13:30~13:45	정수압 압출비에 따른 Mg-B/Nb/Cu 클래드의 Cu 소재에서의 미세조직적, 집합조직적 및 결정립계 분포 특성 연구	이종범*, 박상용, 정하국(한국생산기술연구원), 황덕영(KAT)
13:45~14:00	초기 미세조직에 따른 NbTi 초전도 선재의 임계전류밀도 분석	김희락*, 오영석, 김세중, 이호원, 강성훈(KIMS), 황덕영(KAT), 김지훈(부산대)
14:00~14:15	Ti 의 초기 미세조직 제어에 따른 MgB2/Ti/Cu초전도 선재의 미세조직 변화 및 변형거동 연구	박상용*, 현승균(인하대), 박정민, 이종범, 정하국(한국생산기술연구원), 황덕영(KAT)
14:15~14:30	복합 가공 공정을 이용한 MgB2 초전도 선재 개발 현황	김효성*, 김영, 황덕영(KAT), 강성훈, 오영석(KIMS)
14:30~14:45	MgB2 초전도 선재의 물리적 특성에 관한 연구	임진영*, 최규한(한미전선㈜)
14:45~15:00	Modified Drucker-Prager Cap 모델을 이용한 초전도 MgB2 선재의 다단 인발공정 해석	오영석*, 김희락, 이호원, 김세중, 정국채, 강성훈(KIMS), 황덕영(KAT)

Coffee Break

○ 초청강연

(16:00~17:00)

16:00~16:30	소성가공기술의 융합적 유연성(광주과학기술원, 양동열 교수)	2층 로즈
16:30~17:00	미래사회 변화와 대학(강원대학교, 김현영 총장)	
17:00~17:15	Coffee Break	
17:15~17:50	[개회식 및 정기총회](사회: 총무이사) - 개회(성원보고) - 회장인사 - 2019년도 업무 및 가결산 - 감사보고 - 2020년도 사업계획 및 수지예산 - 제23회 상우학술상 수상식 - 제16회 기술상 수상식 - 제8회 신진기술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회	2층 로즈
17:50~19:00	포스터 발표 (2층 로비)	
19:00~	만찬	그랜드

제 2 발표회장

2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 그랜드 B

○ 특별세션 4 – 타이타늄 응용기술			좌 장 : 김영득(두산중공업)
(13:00~14:30)			
13:00~13:15	선택적 레이저 용융시 표면 재용융이 티타늄 부품의 표면 거칠기에 미치는 영향	황태우*, 문영훈(부산대)	
13:15~13:30	Electron Beam Melting 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 금속간 화합물의 기계적 특성 향상 방안	김영균*, 윤성준, 이기안(인하대), 김성용, 홍재근(KIMS)	
13:30~13:45	Hollow Billet Ingot을 이용한 타이타늄 심리스튜브재의 공정별 미세조직 및 기계적 특성 분석	윤창석*, 조평석, 김세봄, 이동근(순천대), 이형욱(주피티텍), 배성환(주선우엔지니어링)	
13:45~14:00	다층의 미세 구조 및 기계적 특성 직접 에너지 증착에 의해 생성된 Ti-6Al-4V, 티타늄 및 17-4PH 스테인리스 강으로 구성된 재료	Nana Kwabena Adomako *, 김정환(한밭대)	
14:00~14:15	Ti6Al4V 판재의 열간성형 및 초소성성형 공정 비교	권용남*(KIMS), 이진우, 김대용, 석무영, 신강훈, 김민건	
14:15~14:30	외경 70 mm 이하급 타이타늄 심리스 튜브 제조를 위한 압출공정 연구	배성환*, 최선목, 오상호(주선우엔지니어링)	
14:30~14:45	Coffee Break		
○ 일반발표 – 플라스틱 가공			
(14:45~15:30)			좌 장 : 유영은(KIMM)
14:45~15:00	항력 감소를 위한 계층적 구조를 갖는 초소수성 표면 패턴 최적화 연구	유광재*, 문인용, 오영석, 이호원, 김세종, 강성훈(KIMS), 문영훈(부산대)	
15:00~15:15	복합소재를 적용한 사이드 실 두께 최적화 해석	김동권*, 안민수, 서종덕(주신영), 이승찬(C2ES Korea)	
15:15~15:30	탄소복합재를 적용한 차체 부품의 두께 최적화에 관한 연구	안민수*, 김동권, 서종덕(주신영), 이승찬(C2ES Korea)	
15:30~16:00	Coffee Break		
○ 초청강연			
(16:00~17:00)			
16:00~16:30	소성가공기술의 융합적 유연성(광주과학기술원, 양동열 교수)	2층 로즈	
16:30~17:00	미래사회 변화와 대학(강원대학교, 김현영 총장)		
17:15~17:50	[개회식 및 정기총회](사회: 총무이사) - 개회(성원보고) - 회장인사 - 2019년도 업무 및 가결산 - 감사보고 - 2020년도 사업계획 및 수지예산 - 제23회 상우학술상 수상식 - 제16회 기술상 수상식 - 제8회 신진기술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회	2층 로즈	
17:50~19:00	포스터 발표 (2층 로비)		
19:00~	만찬		그랜드

제 3 발표회장

2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 그랜드 A

○ 일반발표 - 단조		
(13:00~14:15)		좌 장 : 김동규(울산대)
13:00~13:15	유한요소해석을 통한 크랭크샤프트 단조금형 크랙 개선	박정휘*, 조재민, 백진호(현대위아(주)), 김민철(주엠에프알씨), 전만수(경상대)
13:15~13:30	자동차 허브 베어링 용 쉘 금속부품의 판재성형 및 판단조의 복합 공정에 관한 연구	박기근*(주태진다이텍), 문호근(주엠에프알씨),오상균((재)대구기계부품연구원), 전만수(경상대)
13:30~13:45	복합재료 판재의 탄소성 유한요소해석	정석환*, 이민철(주엠에프알씨), 홍석무(공주대), 정완진(서울과학기술대), 전만수(경상대)
13:45~14:00	튜브형태의 부품과 중실 축류 부품의 소성변형 조립공정중 변형의 유한요소해석	엄재근*, 이민철(주엠에프알씨), 이현준, 전만수(경상대)
14:00~14:15	다물체 공정해석 기능을 이용한 스프링 부착 금형을 가진 단조공정의 정밀해석	전만수*, 변종복(경상대), 정승원, 이민철(주엠에프알씨)
14:15~14:30	Coffee Break	
○ 일반발표 - 단조		
(14:30~16:00)		좌 장 : 김상우(KIMS)
14:30~14:45	음향방출센서를 이용한 ESW90 소재의 압축실험에서의 표면 균열 발생 검출	이정음*, 이진명, 김상우(KIMS), 주호선(포스코), 서영호(한국생산기술연구원), 김지훈(부산대)
14:45~15:00	한 쌍의 볼트와 너트를 이용한 두 판재의 조립 공정의 탄소성 유한요소해석	이현준*, 유재동, 전만수(경상대)
15:00~15:15	SUS 304 소재 볼스타드 단조공정의 비등온 유한요소해석	변종복*, 전만수(경상대), 박종복, 서일동(주대동)
15:15~15:30	셀프피어싱 리벳팅 공정의 정밀 시뮬레이션	정승원*(엠에프알씨), 전만수(경상대)
15:30~15:45	소성가공을 위한 금속 사전가열용 고효율 초전도인덕션히터 개발	최종호*(슈퍼코일 주식회사), 조상호
15:45~16:00	냉간단조 공정을 위한 비조질강 열처리 설계	김기한*, 배성준*, 송용현*, 배종은, 윤은유, 이영선(KIMS), 이상용(안동대)
○ 초청강연		
(16:00~17:00)		
16:00~16:30	소성가공기술의 융합적 유연성(광주과학기술원, 양동열 교수)	2층 로즈
16:30~17:00	미래사회 변화와 대학(강원대학교, 김현영 총장)	
17:00~17:15	Coffee Break	
17:15~17:50	[개회식 및 정기총회](사회: 총무이사) - 개회(성원보고) - 회장인사 - 2019년도 업무 및 가결산 - 감사보고 - 2020년도 사업계획 및 수지예산 - 제23회 상우학술상 수상식 - 제16회 기술상 수상식 - 제8회 신진기술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회	2층 로즈
17:50~19:00	포스터 발표 (2층 로비)	
19:00~	만찬	그랜드

제 4 발표회장

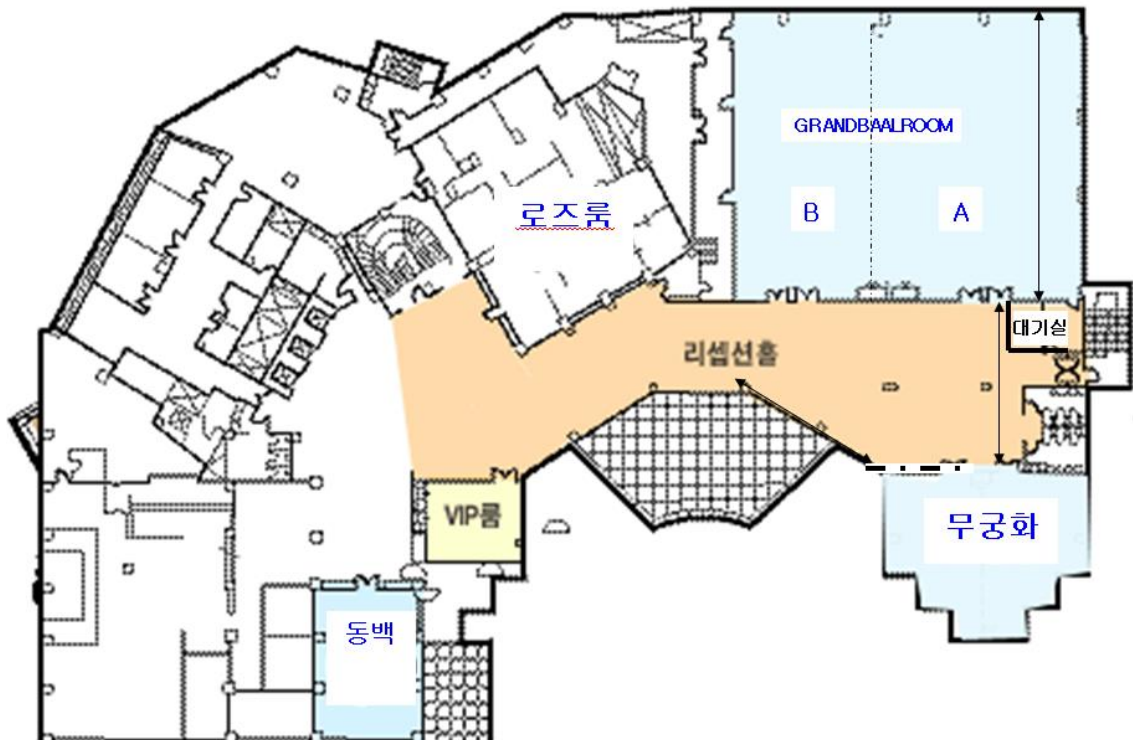
2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 무궁화

○ 경량금속 심포지엄		
(13:00~15:05)		좌 장 : 최시훈(순천대)
13:00~13:25	박관주조 및 압연 공정을 이용한 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금 판재제조	김형욱*, 이윤수, 김민석, 김원경, 어광준(KIMS)
13:25~13:50	Al 합금 주조 조직 변화에 미치는 소성가공의 영향	권용남*, 석무영(KIMS)
13:50~14:05	Twin-Roll strip casting 공정으로 제조된 고강도 Al 7075 합금의 미세조직 및 상온 마모 거동	김경욱*, 백민석, 이기안(인하대), 어광준(KIMS)
14:05~14:20	High Mg 알루미늄 합금의 비틀림 집합조직 변화	조창희*, 손현우, 김상욱, 이재철, 김용재, 정택균, 박현순, 현승균(인하대), 윤영옥, 김세광, 이지운(한국생산기술연구원)
14:20~14:35	MADF 공정에서 면단조 및 복귀단조 후 관찰되는 AA1100의 변형파 형성 기구에 관한 연구	김민성*, 이성음, 김정균, 최시훈(순천대), 권상철, 김순태, 정효태(강릉원주대), 이성(국방과학연구소), 이지현, 김환욱(한국기초과학지원연구소)
14:35~14:50	Al/Fe 이중금속 마찰교반접합부에서의 미세조직과 기계적/부식 거동의 상관관계 연구	Sam Yaw Anaman*, 조훈휘(한밭대), Hrishikesh Das, 홍성태(울산대), 백성일(Northwestern Univ), 이중숙(전남대)
14:50~15:05	드로잉 및 아이어닝 공정을 이용한 각형 캔 성형성 평가	김진수*, 이중명, 윤정환(한국과학기술원), 윤석준(삼성 SDI)
15:05~15:20	Coffee Break	
○ 경량금속 심포지엄		
(15:20~17:00)		좌 장 : 정영웅(창원대)
15:20~15:45	경량소재 가상공학 플랫폼 개발	이호원*, 김세종, 오영석, 강성훈(KIMS)
15:45~16:00	결정소성 유한요소법을 위한 유한차분기반 응력적분법의 개발 및 응용	노동환*, 윤정환(한국과학기술원)
16:00~16:15	알루미늄 6xxx의 W-temper 공정에서 퀴칭 후 시간에 따른 물성의 변화 측정	최유미*, 이명규(서울대), 진홍교(MS-AUTO TECH)
16:15~16:30	Influence of prior deformation history on anelasticity in an extruded magnesium alloy	Huai Wang*, Soo Yeol Lee(충남대), Huamiao Wang(Shanghai Jiao Tong Univ), Wanchuck Woo(KAERI), Ke An(Shanghai Jiao Tong University)
16:30~16:45	선압축과 어닐링을 통한 마그네슘 압연재의 굽힘 성형성 향상	이종언*, 김상훈, 김예진, 박성혁(경북대)
16:45~17:00	마그네슘 합금 판재의 과단 변형률 측정 및 온간 굽힘 유한요소 해석	김진우*, 허용찬, 김지훈(부산대), 서민홍, 안강환(포스코)
17:00~17:15	Coffee Break	
17:15~17:50	[개회식 및 정기총회](사회: 총무이사) - 개회(성원보고) - 회장인사 - 2019년도 업무 및 가결산 - 감사보고 - 2020년도 사업계획 및 수지예산 - 제23회 상우학술상 수상식 - 제16회 기술상 수상식 - 제8회 신진기술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회	2층 로즈
○ 경량금속 심포지엄		
(17:50~18:45)		좌 장 : 조재형(KIMS)
17:50~18:15	Recrystallization and texture evolution of Ca, Y-added magnesium alloy sheets	Young Min Kim*(KIMS)

18:15~18:30	혼합 하중 환경에서의 마그네슘 관재의 이방적 파괴 거동	정영웅*(창원대), 더크 스테글리히(Helmholtz-Zentrum Geesthacht)
18:30~18:45	미세조직과 집합조직의 발달에 따른 AZXW9100 마그네슘 합금의 석출강화와 항복 비대칭성	서종식*, 서병찬, 유봉선, 유동훈, 김대용(KIMS)
19:00~	만찬	그랜드

◆ 제주칼호텔 발표회장(2층) 안내 ◆



제 5 발표회장

2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 동백

○ 특별세션 3 – 故 김병민 교수 추모 기념 세션		
(13:00~15:00)		좌 장 : 이경훈(한국해양대)
13:00~13:15	알루미늄 단조 피스톤 공정해석에서 마찰이 소재유동에 미치는 영향	이성원*, 이정민(한국생산기술연구원), 전만수(경상대)
13:15~13:30	금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형의 수명 향상 연구	박동환*, 김진봉(경북하이브리드부품연구원), 권성민, 김희정(경창정공㈜), 권혁홍(대진대)
13:30~13:45	B-Pillar의 핫스탬핑 공정에서 경량화 및 충돌성능을 위한 패치워크의 적용	김재홍*, 김병민, 고대철(부산대)
13:45~14:00	접합기준을 이용한 마찰교반점용접에서의 공구선택	조덕상*, 김지훈, 김병민(부산대)
14:00~14:15	탄소섬유복합소재-금속 이중소재 접합기술	이찬주*(한국생산기술연구원), 고대철, 김병민(부산대), 김동환(한국국제대)
14:15~14:30	초고강도 판재 다점성형공정에서의 인공신경망을 이용한 2차 곡률 스프링백 예측모델 개발	곽민준*, 박근태, 박지우, 강범수(부산대)
14:30~14:45	다단 신선공정 해석 및 설계	이상곤(한국생산기술연구원)*, 김병민(부산대), 김동환(한국국제대)
14:45~15:00	링 압연공정 개요 및 기술동향	이경훈*(한국해양대), 김병민(부산대)
15:00~15:15	Coffee Break	
○ 특별세션 3 – 故 김병민 교수 추모 기념 세션		
(15:15~17:00)		좌 장 : 구태완(부산대)
15:15~15:30	하지재활 외골격로봇의 프레임 최적화	박한익*, 하경수, 권혁동(㈜동아금속), 박동환(경북하이브리드부품연구원)
15:30~15:45	난형상 고강도 Actuator Ball Nut 생산성 향상을 위한 냉간 성형공법 개발	이윤혁*, 박민철, 전만수(경상대), 김민철(㈜엠에프알씨), 김병민(부산대), 김동환(한국국제대)
15:45~16:00	튜브 인발 공정의 하중저감 및 잔류응력제어를 위한 Multiple-Reduction Die 설계	김정훈*, 김병민, 고대철(부산대)
16:00~16:15	롤 다이 포밍에 의한 자동변속기용 다단 드럼 클러치 설계	강길석*, 류재창, 김병민, 고대철(부산대)
16:15~16:30	초고강도강 Tailor Welded Blank의 딥드로잉에서 용접부 거동의 유한요소 해석	허용찬*, 정재봉, 김병민, 김지훈, 강정윤(부산대), 김대용(KIMS), 이명규(서울대)
16:30~16:45	인공 신경망 기반 딥드로잉 공정 최적화	박근태*, 박지우, 곽민준, 강범수(부산대)
16:45~17:00	새로운 항복조건식을 이용한 성형한계선의 평가	김영석*, Nquyan Phu van, Quoc-Tuan Pham(경북대)
17:00~17:15	Coffee Break	
17:15~17:50	[개회식 및 정기총회](사회: 총무이사) - 개회(성원보고) - 회장인사 - 2019년도 업무 및 가결산 - 감사보고 - 2020년도 사업계획 및 수지예산 - 제23회 상우학술상 수상식 - 제16회 기술상 수상식 - 제8회 신진기술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회	2층 로즈
17:50~19:00	포스터 발표 (2층 로비)	
19:00~	만찬	그랜드

제 6 발표회장 - 포스터 발표

※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.(포스터 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표번호를 심사합니다.)

※ 포스터판 사이즈 : 가로 1m×세로 1.2m (논문 1편당 1개), 포스터는 발표자가 준비합니다.

2019. 10. 17(목)

▶▶ 2층 로비

(17:50~19:00)

좌 장 : 윤종현(한양대), 성지현(생기원)

17:50~19:00	P 01	판재 성형공정에서 공법에 따른 스프링백 산포 비교	손민규*(현대성우메탈㈜), 김세호(대구대)
	P 02	LBM-CA를 활용한 응고합금 수지상정 모사해석	이원주*, 정유형, 윤종현(한양대), 강성훈, 이호원, 이재욱(KIMS)
	P 03	오픈소스 DIC를 사용한 일축 인장 실험 결과	주무영*, 이재성, 강민정, 정영웅(창원대)
	P 04	방화문 화재안전 구조성능 평가 모델 개발 및 응력해석	전성진*(동국제강㈜)
	P 05	박관형 니켈 합금 용가재를 이용한 브레이징 관형 열교환기 제작 및 평가	명동준*, 이명규(서울대), 하준(㈜지디브레이징)
	P 06	고효율 터빈로터용 Ni기 초합금 제작을 위한 단조 특성 연구	김영득*, 김정옥(두산중공업)
	P 07	경량화 브레이크 디스크의 열적 성능 연구	이성민*, 이병창, 김봉준(경창산업)
	P 08	Cowper-Symonds 구성방정식의 파라미터 획득을 위한 대리모형의 적용	우민아*, 김 정(부산대)
	P 09	자동차용 볼스터드의 국부가열 단조공정 유한요소해석	이대호*, 민승준, 김동규(울산대)
	P 10	냉간압연된 Al-1wt%Mg합금 판재의 재결정 집합조직 발달에 미치는 열처리 조건의 영향	김정규*, 이성음, 김민성, 최시훈(순천대)
	P 11	롤 포밍 공정을 이용한 고강도 자동차 차체 부품 개발	김동규*, 이철환, 강용기(㈜디케이솔루션), 심우정(㈜새한산업)
	P 12	유한요소해석을 통한 건축용 프레임의 롤포밍 공정 설계	강용기*, 이철환, 김봉준(㈜디케이솔루션), 김봉준(경창산업㈜)
	P 13	고강도 자동차 차체부품의 롤포밍 공정 해석	이철환*, 강용기, 김동규(㈜디케이솔루션), 심우정(㈜새한산업)
	P 14	FRP 소재의 열간 성형시 거동 분석을 통한 하이브리드 기어 개발	이철환*, 서명관, 강용기(㈜디케이솔루션), 김상현, 김봉준(경창산업㈜)
	P 15	신선 와이어 유효 변형률 예측	이성민*, 이인규, 이성윤, 김다혜, 황선광, 차경제, 박동용, 이상곤(한국생산기술연구원)
	P 16	이종금속 프레스 결합공정에 관한 연구	이인규*, 이성윤, 정명식, 조용재, 이상곤(한국생산기술연구원), 김봉준, 주원광(경창산업㈜), 김동규(㈜DK솔루션)
	P 17	크리프 중단 시험을 통한 IN740H/P92 이종용접부의 P92-HAZ에서의 미세조직 및 기계적 특성의 변화에 대한 연구	서위걸*, 최시훈(순천대), 이한상, 유근봉(한국전력공사), 서진유, 심재혁(한국과학기술연구소)
	P 18	SUS 304 재료의 상온 및 중온 변형특성 및 수식 모델	모하마드카스완디라자리*, 전만수(경상대), 박종복(㈜대동)
	P 19	S45C 소재의 금속학적 물성치 획득 및 적용	김성완*(㈜금동메탈), 이라니미쌈, 변종복, 모하마드카스완디라지리, 전만수(경상대)
	P 20	냉각채널 보유 금형을 활용한 소성가공 중 열전달 해석기법	엄재근*(㈜엠에프알씨), 전만수(경상대)
	P 21	W-temper 알루미늄 6xxx의 pre-strain에 따른 물성의 변화 측정	오창환*, 최유미, 이명규(서울대), 진홍교(MS-AUTOTECH)
	P 22	Tripod-Housing 온간단조 공정의 금형수명 예측	지세현*, 임성식, 조종두(인하대), 정기호(한국생산기술연구원)
	P 23	경량화 브레이크 디스크의 최적 형상과 성능평가에 관한 연구	이성민*, 이병창, 김봉준(경창산업)
	P 24	단조 해석을 통한 TERMINAL-BATTERY 너트의 최적 공정 설계	강성목*, 설주연, 강기주, 이광희, 김진용(주식회사 풍강)
	P 25	레이저 직접 적층기술을 이용한 형상적응형 냉각채널을 갖는 후속 화장품 용기용 사출금형 개발	한지수*, 이민규, 이윤선, 조용재, 성지현, 차경제(한국생산기술연구원), 유만준(구미에이테크솔루션㈜)

17:50~19:00	P 26	인발가공에서 이중금속의 심재 물성에 따른 성형특성	정현영*, 김응주, 윤덕재(한국생산기술연구원)
	P 27	이중튜브의 하이드로포밍 성형공정 유한요소해석	이영서*, 김응주, 윤덕재(한국생산기술연구원), 이명규(서울대)
	P 28	AL 열간단조 공정의 H/W 성형 한계 예측을 위한 소재유동 연구	김민우*, 박종현, 박준일, 윤여용, 이동진(센트랄모텍)
	P 29	유한요소해석을 이용한 Rotor Shaft 냉간 포머 공정 성형예측	박준일*, 김민우, 이동진(센트랄모텍)
	P 30	강소성 Warm Caliber Rolling 공정으로 제조된 과공정강의 미세조직 및 인장, 고주기 피로 특성	김규식*, 김영균, 이기안(인하대), 김현진(포스코)
	P 31	판재점진성형의 단면변형저감에 대한 실험 및 수치적 연구	정규석*, 이창환, 정완진(서울과학기술대)
	P 32	폴리프로필렌 카테터 그립부의 휨변형 최소화를 위한 사출성형해석 연구	이종현*, 이인규, 정명식, 황선광, 박동용, 이상곤, 조용재, 차경제(한국생산기술연구원)
	P 33	AISI4340강의고온변형거동예측	손영일*(국방과학연구소)
	P 34	차량 경량화를 위한 알루미늄 카울 크로 바 포트홀 압출 공정 설계	이성윤*, 이인규, 이성민, 정명식, 이상곤(한국생산기술연구원), 고대철(부산대)
	P 35	자동차 에어 서스펜션 부품 개발을 위한 Al6061 빌렛의 다단 후방충격압출 성형공정 연구	김현성*, 손원식, 임성한, 김동욱, 정경근, 윤영태, 이재은(단국대)
	P 36	FCEV의 연료 충-방전에 따른 연료 파이프 메탈 셸링부의 피로수명 예측	오준석*, 전문수, 이형욱(한국교통대학교), 한은수(주한일튜브)
	P 37	반복 굽힘 변형 시 연성 동박 적층판(FCCL)의 변형 및 파괴거동에 미치는 미시집합조직의 영향 연구	박기성*, 최시훈(순천대)
	P 38	BIS 시트 백프레임 단면 구조 설계에 관한 연구	차승훈*, 소범식, 이찬희, 김중희(경북테크노파크)
	P 39	등가응력 접근법을 통한 SLS 3D 프린팅으로 제작된 PA2200 폴리머코어의 피로 특성에 관한 연구	박준수*, 정의철, 최한솔, 김미애, 윤언경, 김진수, 김용대, 이성희(한국생산기술연구원), 원시태(서울과학기술대)
	P 40	러너 크기 변화에 따른 SLS 폴리머 코어 적용 사출성형품의 두께 방향 수축에 관한 연구	최한솔*, 정의철, 신성현, 박준수, 김미애, 손정연, 김상윤, 김용대, 이성희(한국생산기술연구원), 윤경환(단국대)
	P 41	CAE 해석을 통한 사출성형 중 용융 수지의 압력과 금형의 변형량에 대한 비교	이준한*, 양동철, 김종선(한국생산기술연구원)
	P 42	아레니우스 타입 구성식을 통한 알루미늄 합금의 고속 변형거동 예측	정대관*, 최호준, 신영철(한국생산기술연구원)
	P 43	금속 3D 프린팅 공정을 활용한 댐퍼 샤프트 보수 연구	이호진*, 이운선, 이민규, 이동욱, 김우성, 정지현, 손용(한국생산기술연구원), 안석(해군정비창)
	P 44	적층 방향에 따른 Maraging steel의 기계적 물성치 연구	김선형*, 안지섭, 조아라, 정명식, 이상곤, 차경제, 박동용, 황선광(한국생산기술연구원)
	P 45	연속주조용 텀디쉬에서 텀 및 독에 의한 용탕 및 개재물의 유동에 미치는 영향	최창영*, 이상곤, 차경제, 황선광, 김다혜, 정유현, 조용재(한국생산기술연구원), 이재욱, 이진모(주태웅)
	P 46	다공체 재료의 기계적거동 평가방법에 관한 고찰	조재형*, 이건영, 이준호, 나종주(KIMS)
	P 47	대형 단조품의 링 압연 시 Band Structure에 미치는 열처리 영향에 관한 연구	윤선룡*, 이채훈, 허상현, 주병돈, 김남용, 이진모(주태웅)
	P 48	2단 비틀림 시험을 이용한 Mg-Zn-Y 합금 고온거동 분석	김용재*, 손현우, 이재철, 조창희, 현승균(인하대)
	P 49	에어 서스펜션 부품의 성형성 평가를 위한 변형률 속도에 따른 Al6061 소재의 유동 응력 예측에 대한 연구	지은구*, 손원식, 황종일, 이진규, 이상효, 임성환(단국대)

제 1 발표회장

2019. 10. 18(금)

▶▶ 2층 로즈

○ 특별세션 1 - 황상무 교수 정년 퇴임기념

(09:00~10:30)

좌 장 : 정석환(㈜엠에프알씨)

09:00~09:15	철강 제품의 기계적 성질 설계를 위한 최적화 기법 개발	이중형*(포스코)
09:15~09:30	설계민감도를 이용한 비정상상태 소성가공공정 최적설계 기법 응용	정석환*(㈜엠에프알씨), 황상무(포항공과대)
09:30~09:45	Finite Element Modeling of Thermo-Mechanical and Metallurgical Behavior of Type 304 Stainless Steel in Cold Strip Rolling	SungKang Sohn*(POSCO), SangMoo, Hwang(포항공과대)
09:45~10:00	열간 조압연기에서 사이드 가이드 설계 및 제어	변상민*(동아대)
10:00~10:15	A study of anisotropic yield function based on J2 and J3 invariants	Phu-Van Nguyen*, Jin-Jae Kim, Quoc-Tuan Pham, Young-Suk Kim(경북대)
10:15~10:30	비정형 롤 관재성형공정에서의 목적곡면 예측을 위한 기계학습 기반 인공지능경망 모델 개발	박지우*, 광민준, 박근태, 강범수(부산대)
10:30~10:45	Coffee Break	

○ 일반발표 - 금형가공, 압출 및 인발

(10:45~12:00)

좌 장 : 정동원(제주대)

10:45~11:00	외곽 그루브를 갖는 프로파일 링롤링 공정의 결함 분석	오일영*, 문영훈(부산대)
11:00~11:15	페탈 형상을 갖는 이중관 액압 성형	한상욱*, 문영훈(부산대)
11:15~11:30	선형 마찰용접 공정의 유한요소해석	김용관*, 윤용석, 이경훈(㈜솔루션랩)
11:30~11:45	고엔트로피합금의 냉간 인발 단면감소율이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향 연구	조한솔*, 배성준, 나영상, 이광석(KIMS), 김정환(한밭대), 이동근(순천대)
11:45~12:00	금형 공구강의 고온 물성치가 수명에 끼치는 영향	심문세*, 박준표, 김수완(경남금속)
	점심	2층 사라

제 2 발표회장

2019. 10. 18(금)

▶▶ 2층 그랜드 B

○ 일반발표 - 박판성형

(08:45~10:30)

좌 장 : 김대용(KIMS)

08:45~09:00	전자기력을 이용한 판재-판재 고속 체결 기술	박현일*, 이진우, 이영선, 김대용(KIMS), 김지훈(부산대)
09:00~09:15	이중 판재의 가변 롤 성형에서의 형상결합 분석	우영윤*, 문영훈(부산대)
09:15~09:30	Yoshida-Uemori 모델을 활용한 Al 7075 w-temper 공정의 스프링백 예측	정선호*, 김용배, 박지영, 최선용, 이종섭(한국생산기술연구원), 정철영(주대우공업)
09:30~09:45	마그네슘 합금 판재의 온간 성형에서 금형 내 소재 유지 시간에 따른 변형 특성 분석	유제형*, 윤형원, 이창환(서울과학기술대)
09:45~10:00	DP590 및 SUS304 판재 시편 내 r-값과 삼축성 결정에 대한 고찰	F. Rickhey*, 홍석무(공주대)
10:00~10:15	강화학습과 유한 요소 해석을 이용한 딥드로잉 공정에서의 블랭크 홀딩력 경로 최적화	조성민*, 송우인, 이진섭, 황원재, 정완진(서울과학기술대)
10:15~10:30	Coffee Break	

○ 일반발표 - 박판성형

(10:30~12:15)

좌 장 : 송우진(부산대)

10:30~10:45	판재 이방성 예측을 위한 항복 함수 계수의 결정 최적화	이신영*, 윤성용, 김진환, Frederic Barlat(포항공과대)
10:45~11:00	가상필드법에 의한 가속도 값을 이용한 고속물성 평가 연구	김지민*, 김진환, Frederic Barlat(포항공과대)
11:00~11:15	박판 소재의 진동판 성형을 위한 스탬핑 공정 연구	김용배*, 배기현, 이종섭(한국생산기술연구원)
11:15~11:30	서보 프레스의 슬라이드 모션과 유압 서보 큐션을 활용한 판재 성형성 향상 방안	박기철*, 구진모, 서영호(POSCO)
11:30~11:45	유한요소해석을 이용한 이중소재 SPR접합품질 평가	박근영*, 박남수, 노우람, 송정환(한국생산기술연구원), 조종두(인하대), 정철영(주대우공업)
11:45~12:00	용체화 처리된 Al7075 합금의 시효시간이 파단 변형률에 미치는 영향	박지영*, 정선호, 이종섭(한국생산기술연구원), 오제훈(한양대), 정철영(주대우공업)
12:00~12:15	초고강도강판의 드로잉 공정에서 금형표면의 접촉 거동 분석 및 금형마모 예측모델개발	방준호*, 노우람, 송정환(한국생산기술연구원), 김홍기, 손현성(포스코)
	점심	2층 사라

제 3 발표회장

2019. 10. 18(금)

▶▶ 2층 그랜드 A

○ 일반발표 - 일반금속가공

(09:00~10:30)

좌 장 : 김정한(한밭대)

09:00~09:15	냉간가공량 변화에 따른 INCONEL 718합금의 열처리 특성 변화	권용남*, 석무영, 김민건, 박태오(KIMS)
09:15~09:30	정밀 가공에서 미세 패턴의 형상에 따른 변형에 대한 정 성적 분석	송기형*, 최영재(한국생산기술연구원), 이용신(국민대)
09:30~09:45	수소화-탈수소화법을 통해 제조된 Nb-Mo-Si-Cr 복합분말의 소결 거동 연구	이성용*, 이선규, 박성민, 민석홍, 하태권(강릉원주대), 박형기(한국생산기술연구원)
09:45~10:00	고지르코늄 함유 생체적합형 저탄성계수 타이타늄 합금 개발	권용재*, 조영찬, 최신영, 하태권, 민석홍(강릉원주대), 김양후(한국생산기술연구원)
10:00~10:15	ALE 기법을 이용한 마찰교반용접 공정의 유한요소해석	문희범*, 윤용석, 이경훈(㈜솔루션랩)
10:15~10:30	SLM공정에 의해 제조된 격자구조체의 압축 거동 평가	이진명*, 이정음, 김상우(KIMS), 김지훈(부산대)
10:30~10:45	Coffee Break	

○ 일반발표 - 일반금속가공, 압연

(10:45~12:00)

좌 장 : 이경훈(한국해양대)

10:45~11:00	전기 저항 점 용접한 자동차용 강판의 파손 거동 분석	노우람*, 송정한, 조규섭, 이도훈, 김경일(한국생산기술연구원), 이명규(서울대)
11:00~11:15	칩탄 열처리된 기어의 피로 파단 기구 분석을 위한 물성 평가	장인제*, 노우람, 방준호, 송정한(한국생산기술연구원)
11:15~11:30	나노인텐테이션을 이용한 텅스텐의 연성 - 취성 전이 온도 분석	오연주*, 광노준, 한홍남(서울대), 고원석(울산대), 타카히토 오무라(KIMS)
11:30~11:45	패스 스케줄 개선을 통한 H형강 Flange 중심부 Scale 결함 개선	이종빈*(포스코)
11:45~12:00	알루미늄 합금 판재의 소성변형비	이철우*, 김인수(금오공과대), 이동녕(서울대)
	점심	2층 사라

제 4 발표회장

2019. 10. 18(금)

▶▶ 2층 무궁화

○ 경량금속 심포지엄

(09:00~10:25)

좌 장 : 서종식(KIMS)

09:00~09:25	북한산 마그네사이트 활용 마그네슘 소재화 기술	유봉선*, 김영민(KIMS), 강정신(한국지질자원연구원)
09:25~09:40	AZ31 합금의 톱니형 (serrated) 입계에서 주기적인 쌍정 및 전위의 형성	손현우*, 현승균(인하대)
09:40~09:55	고온변형압축시험에서의 AZ91마그네슘합금의 미세조직 및 집합조직의 형성거동	한동근*, 김권후(부경대)
09:55~10:10	다중공형압연 적용에 따른 ZK60 Mg합금의 항복이방성 제거	이태경*, 광병제, 공태인(부산대), 이정훈(한국생산기술연구원), 이상원, 박성혁(경북대)
10:10~10:25	Mg 함량 변화에 기인한 Al-Mg 합금의 고온변형거동 특성	이재철*, 김상욱, 손현우, 조창희, 김용재, 이지운, 현승균(인하대), 김세광, 윤영욱(한국생산기술연구원)
10:25~10:40	Coffee Break	

○ 경량금속 심포지엄

(10:40~12:10)

좌 장 : 김동규(울산대)

10:40~11:05	자동차 내/외판재용 알루미늄 합금 개발 동향	강현*, 김성녕, 구남훈(현대제철)
11:05~11:20	순수타이타늄의 극저온 변형거동 연구	이민수*, 전태성(인천대), 현용택(KIMS)
11:20~11:35	순수 타이타늄의 저주기 피로특성에 미치는 쌍정의 영향	김건형*, 이종수(포항공과대), 최성우, 원종우, 홍재근(KIMS)
11:35~11:50	크랙선단부 잔류응력에 따른 준정적 연성과파괴거동 유한요소해석	김동규*(울산대)
11:50~12:10	나노트윈 나노포러스 금의 합성 및 기계적 특성 평가	곽은지*, 김주영(UNIST)
	점심	2층 사라

목 차

1. 초청강연

- 소성가공기술의 융합적 유연성
..... 양동열 / 23
- 미래사회 변화와 대학
..... 김현영

2. 특별세션 2 – 초전도 선재 제조기술 (제 1 발표회장)

- MgB₂ 초전도 선재용 원료분말 특성제어
..... 정국채*, 오영석, 강성훈, 장세훈, 황덕영 / 31
- MgB₂ 초전도선재의 전기적-기계적 특성 연구
..... 장세훈*, 김효성, 이광진, 황덕영, 신형섭 / 32
- 정수압 압출비에 따른 Mg-B/Nb/Cu 클래드의 Cu 소재에서의 미세조직적, 집합조직적 및 결정립계 분포 특성 연구..... 이종범*, 박상용, 정하국, 황덕영 / 33
- 초기 미세조직에 따른 NbTi 초전도 선재의 임계전류밀도 분석
..... 김희락*, 오영석, 김세중, 이호원, 강성훈, 황덕영, 김지훈 / 34
- Ti 의 초기 미세조직 제어에 따른 MgB₂/Ti/Cu초전도 선재의 미세조직 변화 및 변형거동 연구
..... 박상용*, 현승균, 박정민, 이종범, 정하국, 황덕영 / 35
- 복합 가공 공정을 이용한 MgB₂ 초전도 선재 개발 현황
..... 김효성*, 김영, 황덕영, 강성훈, 오영석 / 36
- MgB₂ 초전도 선재의 물리적 특성에 관한 연구
..... 임진영*, 최규한 / 37
- Modified Drucker-Prager Cap 모델을 이용한 초전도 MgB₂ 선재의 다단 인발공정 해석
..... 오영석*, 김희락, 이호원, 김세중, 정국채, 강성훈, 황덕영 / 38

3. 특별세션 1 – 황상무 교수 정년 퇴임기념 (제 1 발표회장)

- 철강 제품의 기계적 성질 설계를 위한 최적화 기법 개발
..... 이중형* / 41
- 설계민감도를 이용한 비정상상태 소성가공공정 최적설계 기법 응용
..... 정석환*, 황상무 / 43
- Finite Element Modeling of Thermo-Mechanical and Metallurgical Behavior of Type 304 Stainless Steel in Cold Strip Rolling..... SungKang Sohn*, SangMoo, Hwang / 45
- 열간 조압연기에서 사이드 가이드 설계 및 제어
..... 변상민* / 47

- A study of anisotropic yield function based on J2 and J3 invariants
.....Phu-Van Nguyen*, Jin-Jae Kim, Quoc-Tuan Pham, Young-Suk Kim / 49
- 비정형 롤 판재성형공정에서의 목적곡면 예측을 위한 기계학습 기반 인공신경망 모델 개발
.....박지우*, 곽민준, 박근태, 강범수 / 51

4. 일반 논문 발표 (제 1 발표회장)

○ 금형가공

- 외곽 그루브를 갖는 프로파일 링롤링 공정의 결함 분석
.....오일영*, 문영훈 / 55
- 폐탈 형상을 갖는 이중관 액압 성형
.....한상욱*, 문영훈 / 57
- 선형 마찰용접 공정의 유한요소해석
.....김용관*, 윤용석, 이경훈 / 59

5. 일반 논문 발표 (제 1 발표회장)

○ 압출 및 인발

- 고엔트로피합금의 냉간 인발 단면감소율이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향 연구
.....조한솔*, 배성준, 나영상, 이광석, 김정환, 이동근 / 63
- 금형 공구강의 고온 물성치가 수명에 끼치는 영향
.....심문세*, 박준표, 김수환 / 66

6. 특별세션 4 – 타이타늄 응용기술 (제 2 발표회장)

- 선택적 레이저 용융시 표면 재용융이 티타늄 부품의 표면 거칠기에 미치는 영향
.....황태우*, 문영훈 / 71
- Electron Beam Melting 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 금속간 화합물의 기계적 특성 향상 방안
.....김영균*, 윤성준, 이기안, 김성웅, 홍재근 / 73
- Hollow Billet Ingot을 이용한 타이타늄 심리스튜브재의 공정별 미세조직 및 기계적 특성 분석
.....윤창석*, 조평석, 김세봄, 이동근, 이형욱, 배성환 / 75
- 다층의 미세 구조 및 기계적 특성 직접 에너지 증착에 의해 생성된 Ti-6Al-4V, 바나듐 및 17-4PH 스테인리스 강으로 구성된 재료.....Nana Kwabena Adomako *, 김정환 / 76
- Ti6Al4V 판재의 열간성형 및 초소성성형 공정 비교
.....권용남*, 이진우, 김대용, 석무영, 신강훈, 김민건 / 78
- 외경 70 mm 이하급 타이타늄 심리스 튜브 제조를 위한 압출공정 연구

7. 일반 논문 발표 (제 2 발표회장)

○ 플라스틱 가공

- 항력 감소를 위한 계층적 구조를 갖는 초소수성 표면 패턴 최적화 연구
..... 유광재*, 문인용, 오영석, 이호원, 김세종, 강성훈, 문영훈 / 83
- 복합소재를 적용한 사이드 실 두께 최적화 해석
..... 김동권*, 안민수, 서종덕, 이승찬 / 84
- 탄소복합재를 적용한 차체 부품의 두께 최적화에 관한 연구
..... 안민수*, 김동권, 서종덕, 이승찬 / 85

8. 일반 논문 발표 (제 2 발표회장)

○ 박판성형

- 전자기력을 이용한 판재-판재 고속 체결 기술
..... 박현일*, 이진우, 이영선, 김대용, 김지훈 / 89
- 이중 판재의 가변 롤 성형에서의 형상결함 분석
..... 우영윤*, 문영훈 / 90
- Yoshida-Uemori 모델을 활용한 Al 7075 w-temper 공정의 스프링백 예측
..... 정선호*, 김용배, 박지영, 최선용, 이종섭, 정철영 / 92
- 마그네슘 합금 판재의 온간 성형에서 금형 내 소재 유지 시간에 따른 변형 특성 분석
..... 유제형*, 윤형원, 이창환 / 93
- DP590 및 SUS304 판재 시편 내 r-값과 삼축성 결정에 대한 고찰
..... F. Rickhey*, 홍석무 / 94
- 강화학습과 유한 요소 해석을 이용한 딥드로잉 공정에서의 블랭크 홀딩력 경로 최적화
..... 조성민*, 송우인, 이진섭, 황원재, 정완진 / 96
- 판재 이방성 예측을 위한 항복 함수 계수의 결정 최적화
..... 이신영*, 윤성용, 김진환, Frederic Barlat / 97
- 가상필드법에 의한 가속도 값을 이용한 고속물성 평가 연구
..... 김지민*, 김진환, Frederic Barlat / 98
- 박판 소재의 진동판 성형을 위한 스탬핑 공정 연구
..... 김용배*, 배기현, 이종섭 / 99
- 서보 프레스의 슬라이드 모션과 유압 서보 큐션을 활용한 판재 성형성 향상 방안
..... 박기철*, 구진모, 서영호 / 100
- 유한요소해석을 이용한 이중소재 SPR접합품질 평가
..... 박근영*, 박남수, 노우람, 송정환, 조종두, 정철영 / 102
- 용체화 처리된 Al7075 합금의 시효시간이 파단 변형률에 미치는 영향

-박지영*, 정선호, 이종섭, 오제훈, 정철영 / 103
- 초고강도강판의 드로잉 공정에서 금형표면의 접촉 거동 분석 및 금형마모 예측모델개발
.....방준호*, 노우람, 송정환, 김홍기, 손현성 / 104

9. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

○ 단조

- 유한요소해석을 통한 크랭크샤프트 단조금형 크랙 개선
.....박정휘*, 조재민, 백진호, 김민철, 전만수 / 107
- 자동차 허브 베어링 용 쉴 금속부품의 판재성형 및 판단조의 복합 공정에 관한 연구
.....박기근*, 문호근, 오상균, 전만수 / 109
- 복합재료 판재의 탄소성 유한요소해석
.....정석환*, 이민철, 홍석무, 정완진, 전만수 / 111
- 튜브형태의 부품과 중실 축류 부품의 소성변형 조립공정중 변형의 유한요소해석
.....엄재근*, 이민철, 이현준, 전만수 / 112
- 다물체 공정해석 기능을 이용한 스프링 부착 금형을 가진 단조공정의 정밀해석
.....전만수*, 변종복, 정승원, 이민철 / 113
- 음향방출센서를 이용한 ESW90 소재의 압축실험에서의 표면 균열 발생 검출
.....이정음*, 이진명, 김상우, 주호선, 서영호, 김지훈 / 115
- 한 쌍의 볼트와 너트를 이용한 두 판재의 조립 공정의 탄소성 유한요소해석
.....이현준*, 유재동, 전만수 / 116
- SUS 304 소재 볼스타드 단조공정의 비등온 유한요소해석
.....변종복*, 전만수, 박종복, 서일동 / 118
- 셀프피어싱 리벳팅 공정의 정밀 시뮬레이션
.....정승원*, 전만수 / 120
- 소성가공을 위한 금속 사전가열용 고효율 초전도인덕션히터 개발
.....최종호*, 조상호 / 122
- 냉간단조 공정을 위한 비조질강 열처리 설계
.....김기한*, 배성준*, 송용현*, 배종은, 윤은유, 이영선, 이상용 / 123

10. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

○ 일반금속가공

- 냉간가공량 변화에 따른 INCONEL 718 합금의 열처리 특성 변화
.....권용남*, 석무영, 김민건, 박태오 / 127
- 정밀 가공에서 미세 패턴의 형상에 따른 변형에 대한 정성적 분석
.....송기형*, 최영재, 이용신 / 128
- 수소화-탈수소화법을 통해 제조된 Nb-Mo-Si-Cr 복합분말의 소결 거동 연구
.....이성용*, 이선규, 박성민, 민석홍, 하태권, 박형기 / 130

- 고지르코늄 함유 생체적합형 저탄성계수 타이타늄 합금 개발
..... 권용재*, 조영찬, 최신영, 하태권, 민석홍, 김양후 / 131
- ALE 기법을 이용한 마찰교반용접 공정의 유한요소해석
..... 문희범*, 윤용석, 이경훈 / 132
- SLM공정에 의해 제조된 격자구조체의 압축 거동 평가
..... 이진명*, 이정음, 김상우, 김지훈 / 134
- 전기 저항 점 용접한 자동차용 강판의 파손 거동 분석
..... 노우람*, 송정한, 조규섭, 이도훈, 김경일, 이명규 / 135
- 침탄 열처리된 기어의 피로 파단 기구 분석을 위한 물성 평가
..... 장인제*, 노우람, 방준호, 송정한 / 136
- 나노인텐테이션을 이용한 텅스텐의 연성 - 취성 전이 온도 분석
..... 오연주*, 곽노준, 한홍남, 고원석, 타카히토 오무라 / 137

11. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

○ 압연

- 패스 스케줄 개선을 통한 H형강 Flange 중심부 Scale 결함 개선
..... 이종빈* / 141
- 알루미늄 합금 판재의 소성변형비
..... 이철우*, 김인수, 이동녕 / 143

12. 경량금속 심포지엄 (제 4 발표회장)

- 박판주조 및 압연 공정을 이용한 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금판재제조
..... 김형욱*, 이윤수, 김민석, 김원경, 어광준 / 147
- Al 합금 주조 조직 변화에 미치는 소성가공의 영향
..... 권용남*, 석무영 / 149
- Twin-Roll strip casting 공정으로 제조된 고강도 Al 7075 합금의 미세조직 및 상온 마모 거동
..... 김경욱*, 백민석, 이기안, 어광준 / 150
- High Mg 알루미늄 합금의 비틀림 집합조직 변화
..... 조창희*, 손현우, 김상욱, 이재철, 김용재, 정택균, 박현순, 현승균, 윤영옥, 김세광, 이지운 / 152
- MADF 공정에서 면단조 및 복귀단조 후 관찰되는 AA1100의 변형피 형성 기구에 관한 연구
..... 김민성*, 이성음, 김정균, 최시훈, 권상철, 김순태, 정효태, 이성, 이지현, 김환욱 / 154
- Al/Fe 이종금속 마찰교반접합부에서의 미세조직과 기계적/부식 거동의 상관관계 연구
..... Sam Yaw Anaman*, 조훈휘, Hrishikesh Das, 홍성태, 백성일, 이종숙 / 155
- 드로잉 및 아이어닝 공정을 이용한 각형 캔 성형성 평가
..... 김진수*, 이충명, 윤정환, 윤석준 / 156
- 경량소재 가상공학 플랫폼 개발
..... 이호원*, 김세종, 오영석, 강성훈 / 157
- 결정소성 유한요소법을 위한 유한차분기반 응력적분법의 개발 및 응용

.....	노동환*, 윤정환 / 158
• 알루미늄 6xxx의 W-temper 공정에서 퀀칭 후 시간에 따른 물성의 변화 측정	최유미*, 이명규, 진홍교 / 159
• Influence of prior deformation history on anelasticity in an extruded magnesium alloy	Huai Wang*, Soo Yeol Lee, Huamiao Wang, Wanchuck Woo, Ke An / 160
• 선압축과 어닐링을 통한 마그네슘 압연재의 굽힘 성형성 향상	이종언*, 김상훈, 김예진, 박성혁 / 162
• 마그네슘 합금 판재의 파단 변형률 측정 및 온간 굽힘 유한요소 해석	김건우*, 허용찬, 김지훈, 서민홍, 안강환 / 163
• Recrystallization and texture evolution of Ca, Y-added magnesium alloy sheets	Young Min Kim* / 164
• 혼합 하중 환경에서의 마그네슘 판재의 이방적 파괴 거동	정영웅*, 더크 스테글리히 / 165
• 미세조직과 집합조직의 발달에 따른 AZXW9100 마그네슘 합금의 석출강화와 항복 비대칭성	서종식*, 서병찬, 유봉선, 유동훈, 김대용 / 166
• 북한산 마그네사이트 활용 마그네슘 소재화 기술	유봉선*, 김영민, 강정신 / 167
• AZ31 합금의 톱니형 (serrated) 입계에서 주기적인 쌍정 및 전위의 형성	손현우*, 현승균 / 168
• 고온변형압축시험에서의 AZ91 마그네슘합금의 미세조직 및 집합조직의 형성거동	한동근*, 김권후 / 169
• 다중공형압연 적용에 따른 ZK60 Mg합금의 항복이방성 제거	이태경*, 광병제, 공태인, 이정훈, 이상원, 박성혁 / 171
• Mg 함량 변화에 기인한 Al-Mg 합금의 고온변형거동 특성	이재철*, 김상욱, 손현우, 조창희, 김용재, 이지운, 현승균, 김세광, 윤영욱 / 172
• 자동차 내/외판재용 알루미늄 합금 개발 동향	강현*, 김성녕, 구남훈 / 174
• 순수타이타늄의 극저온 변형거동 연구	이민수*, 전태성, 현용택 / 175
• 순수 타이타늄의 저주기 피로특성에 미치는 쌍정의 영향	김건형*, 이종수, 최성우, 원종우, 홍재근 / 176
• 크랙선단부 잔류응력에 따른 준정적 연성과파괴거동 유한요소해석	김동규* / 177
• 나노트윈 나노포러스 금의 합성 및 기계적 특성 평가	곽은지*, 김주영 / 178

13. 특별세션 3 – 故 김병민 교수 추모 기념 세션 (제 5 발표회장)

• 알루미늄 단조 피스톤 공정해석에서 마찰이 소재유동에 미치는 영향	이성원*, 이정민, 전만수 / 183
---------------------------------------	---------------------------

• 금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형의 수명 향상 연구	박동환*, 김진봉, 권성민, 김희정, 권혁홍 / 184
• B-Pillar의 핫스탬핑 공정에서 경량화 및 충돌성능을 위한 패치워크의 적용	김재홍*, 김병민, 고대철 / 186
• 접합기준을 이용한 마찰교반점용접에서의 공구선택	조덕상*, 김지훈, 김병민 / 187
• 탄소섬유복합소재-금속 이중소재 접합기술	이찬주*, 고대철, 김병민, 김동환 / 188
• 초고강도 판재 다점성형공정에서의 인공신경망을 이용한 2 차 곡률 스프링백 예측모델 개발	곽민준*, 박근태, 박지우, 강범수 / 189
• 다단 신선공정 해석 및 설계	이상곤*, 김병민, 김동환 / 190
• 링 압연공정 개요 및 기술동향	이경훈*, 김병민 / 191
• 하지재활 외골격로봇의 프레임 최적화	박한익*, 하경수, 권혁동, 박동환 / 192
• 난형상 고강도 Actuator Ball Nut 생산성 향상을 위한 냉간 성형공법 개발	이윤혁*, 박민철, 전만수, 김민철, 김병민, 김동환 / 194
• 튜브 인발 공정의 하중저감 및 잔류응력제어를 위한 Multiple-Reduction Die 설계	김정훈*, 김병민, 고대철 / 196
• 롤 다이 포밍에 의한 자동변속기용 다단 드럼 클러치 설계	강길석*, 류재창, 김병민, 고대철 / 197
• 초고강도강 Tailor Welded Blank의 딥드로잉에서 용접부 거동의 유한요소 해석	허용찬*, 정재봉, 김병민, 김지훈, 강정운, 김대용, 이명규 / 198
• 인공 신경망 기반 딥드로잉 공정 최적화	박근태*, 박지우, 곽민준, 강범수 / 199
• 새로운 항복조건식을 이용한 성형한계선의 평가	김영석*, Nquyan Phu van, Quoc-Tuan Pham / 200

14. 포스터 발표 (제 6 발표회장)

• 판재 성형공정에서 공법에 따른 스프링백 산포 비교	손민규*, 김세호 / 203
• LBM-CA를 활용한 응고합금 수지상정 모사해석	이원주*, 정유형, 윤종현, 강성훈, 이호원, 이재욱 / 204
• 오픈소스 DIC를 사용한 일축 인장 실험 결과	주무영*, 이재성, 강민정, 정영웅 / 205
• 방화문 화재안전 구조성능 평가 모델 개발 및 응력해석	전성진* / 206
• 박판형 니켈 합금 용가재를 이용한 브레이징 판형 열교환기 제작 및 평가	명동준*, 이명규, 하준 / 208

• 고효율 터빈로터용 Ni기 초합금 제작을 위한 단조 특성 연구	김영득*, 김정욱 / 209
• 경량화 브레이크 디스크의 열적 성능 연구	이성민*, 이병창, 김봉준 / 211
• Cowper-Symonds 구성방정식의 파라미터 획득을 위한 대리 모형의 적용	우민아*, 김 정 / 212
• 자동차용 볼스터드의 국부가열 단조공정 유한요소해석	이대호*, 민승준, 김동규 / 213
• 냉간압연된 Al-1wt%Mg합금 판재의 재결정 집합조직 발달에 미치는 열처리 조건의 영향	김정규*, 이성음, 김민성, 최시훈 / 215
• 롤 포밍 공정을 이용한 고강도 자동차 차체 부품 개발	김동규*, 이철환, 강용기, 심우정 / 216
• 유한요소해석을 통한 건축용 프레임의 롤포밍 공정 설계	강용기*, 이철환, 김동규, 김봉준 / 217
• 고강도 자동차 차체부품의 롤포밍 공정 해석	이철환*, 강용기, 김동규, 심우정 / 218
• FRP 소재의 열간 성형시 거동 분석을 통한 하이브리드 기어 개발	이철환*, 서명관, 강용기, 김상현, 김봉준 / 219
• 신선 와이어 유효 변형률 예측	이성민*, 이인규, 이성윤, 김다혜, 황선광, 차경제, 박동용, 이상곤 / 220
• 이종금속 프레스 결합공정에 관한 연구	이인규*, 이성윤, 정명식, 조용재, 이상곤, 김봉준, 주원광, 김동규 / 221
• 크리프 중단 시험을 통한 IN740H/P92 이종용접부의 P92-HAZ에서의 미세조직 및 기계적 특성의 변화에 대한 연구	서위결*, 최시훈, 이한상, 유근봉, 서진유, 심재혁 / 222
• SUS 304 재료의 상온 및 중온 변형특성 및 수식 모델	모하마드카스완디라자리*, 전만수, 박종복 / 223
• S45C 소재의 금속학적 물성치 획득 및 적용	김성완*, 이라니미쌈, 변종복, 모하마드카스완디라지리, 전만수 / 225
• 냉각채널 보유 금형을 활용한 소성가공 중 열전달 해석기법	엄재근*, 전만수 / 227
• W-temper 알루미늄 6xxx의 pre-strain에 따른 물성의 변화 측정	오창환*, 최유미, 이명규, 진홍교 / 228
• Tripod-Housing 온간단조 공정의 금형수명 예측	지세현*, 임성식, 조종두, 정기호 / 229
• 경량화 브레이크 디스크의 최적 형상과 성능평가에 관한 연구	이성민*, 이병창, 김봉준 / 230
• 단조 해석을 통한 TERMINAL-BATTERY 너트의 최적 공정 설계	강성목*, 설주연, 강기주, 이광희, 김진용 / 231
• 레이저 직접 적층기술을 이용한 형상적응형 냉각채널을 갖는 후속 화장품 용기용 사출금형 개발	한지수*, 이민규, 이윤선, 조용재, 성지현, 차경제, 유만준 / 233
• 인발가공에서 이종금속의 심재 물성에 따른 성형특성	정현영*, 김웅주, 윤덕재 / 235

- 이중튜브의 하이드로포밍 성형공정 유한요소해석
.....이영서*, 김응주, 윤덕재, 이명규 / 237
- AL 열간단조 공정의 H/W 성형 한계 예측을 위한 소재유동 연구
.....김민우*, 박종현, 박준일, 윤여웅, 이동진 / 239
- 유한요소해석을 이용한 Rotor Shaft 냉간 포머 공정 성형예측
.....박준일*, 김민우, 이동진 / 241
- 강소성 Warm Caliber Rolling 공정으로 제조된 과공정강의 미세조직 및 인장, 고주기 피로 특성
.....김규식*, 김영균, 이기안, 김현진 / 243
- 판재점진성형의 단면변형저감에 대한 실험 및 수치적 연구
.....정규석*, 이창환, 정완진 / 245
- 폴리프로필렌 카테터 그립부의 휨변형 최소화를 위한 사출성형해석 연구
.....이종현*, 이인규, 정명식, 황선광, 박동용, 이상곤, 조용재, 차경제 / 246
- AISI4340 강의고온변형거동예측
.....손영일* / 248
- 차량 경량화를 위한 알루미늄 카울 크로 바 포트홀 압출 공정 설계
.....이성윤*, 이인규, 이성민, 정명식, 이상곤, 고대철 / 250
- 자동차 에어 서스펜션 부품 개발을 위한 Al6061 빌렛의 다단 후방충격압출 성형공정 연구
.....김현성*, 손원식, 임성한, 김동욱, 정경근, 윤영태, 이재은 / 251
- FCEV의 연료 충-방전에 따른 연료 파이프 메탈 셸링부의 피로수명 예측
.....오준석*, 전문수, 이형욱, 한은수 / 253
- 반복 굽힘 변형 시 연성 동박 적층판(FCCL)의 변형 및 파괴거동에 미치는 미시집합조직의 영향 연구
.....박기성*, 최시훈 / 255
- BIS 시트 백프레임 단면 구조 설계에 관한 연구
.....차승훈*, 소범식, 이찬희, 김중 / 256
- 등가응력 접근법을 통한 SLS 3D 프린팅으로 제작 된 PA2200 폴리머코어의 피로 특성에 관한 연구
.....박준수*, 정의철, 최한솔, 김미애, 윤언경, 김진수, 김용대, 이성희, 원시태 / 257
- 러너 크기 변화에 따른 SLS 폴리머 코어 적용 사출 성형품의 두께 방향 수축에 관한 연구
.....최한솔*, 정의철, 신성현, 박준수, 김미애, 손정언, 김상윤, 김용대, 이성희, 윤경환 / 258
- CAE 해석을 통한 사출성형 중 용융 수지의 압력과 금형의 변형량에 대한 비교
.....이준한*, 양동철, 김종선 / 259
- 아레니우스 타입 구성식을 통한 알루미늄 합금의 고속 변형거동 예측
.....정대관*, 최호준, 신영철 / 261
- 금속 3D 프린팅 공정을 활용한 댐퍼 샤프트 보수 연구
.....이호진*, 이윤선, 이민규, 이동욱, 김우성, 성지현, 손용, 안석 / 262
- 적층 방향에 따른 Maraging steel의 기계적 물성치 연구
.....김선형*, 안지섭, 조아라, 정명식, 이상곤, 차경제, 박동용, 황선광 / 264
- 연속주조용 턴디쉬에서 댐 및 독에 의한 용탕 및 개재물의 유동에 미치는 영향
.....최창영*, 이상곤, 차경제, 황선광, 김다혜, 정유현, 조용재, 이재욱, 이진모 / 266
- 다공체 재료의 기계적거동 평가방법에 관한 고찰
.....조재형*, 이건영, 이준호, 나종주 / 267
- 대형 단조품의 링 압연 시 Band Structure에 미치는 열처리의 영향에 관한 연구
.....윤선룡*, 이채훈, 허상현, 주병돈, 김남용, 이진모 / 268

- 2 단 비틀림 시험을 이용한 Mg-Zn-Y 합금 고온거동 분석
..... 김용재*, 손현우, 이재철, 조창희, 현승균 / 269
- 에어 서스펜션 부품의 성형성 평가를 위한 변형률 속도에 따른 Al6061 소재의 유동 응력 예측에 대한
연구..... 지은구*, 손원식, 황종일, 이진규, 이상효, 임성한 / 270

1. 초 청 강 연

소성가공기술의 융합적 유연성

- 양동열(광주과학기술원)-

미래사회 변화와 대학

- 김현영(강원대학교)-

소성가공의 혁신과 유연성

양동열[#]

Innovation and Flexibility in Metal Forming

Abstract

오늘날 제품이 다양해지고 맞춤생산이 늘면서 과거의 대량생산에 기반을 둔 가공방법만으로는 현대의 새로운 추세에 부응하기가 어려워지고 있다. 더욱 더 커져가는 소비자의 다양한 수요에 부응하기 위해서는 소성가공방법들도 보다 유연하게 적응하는 새로운 방법들을 도입해야 되는 상황이 되었다. 소성가공방법의 유연성이 커지게 되면 제품개발에서의 불확실성도 보다 유리하게 진행할 수가 있다. 지금까지 유연성이 재료, 기계, 공정 및 작업환경 측면에서 여러 가지 면에서 시도되었으나 이에 대해서 개념적으로 보다 체계적인 시도를 함으로써 제조경쟁력과 제조환경의 새로운 도전에 대처할 수가 있을 것이다. 특히 소성가공공정의 혁신과 제품기술혁신 측면에서 잘 고찰할 필요가 있다. 이 강연을 통해서 소성가공의 유연성을 공정, 재료, 제조여건, 새로운 공정들의 결합, 그리고 기계-시스템-소프트웨어의 총합적인 상호작용 측면에서 체계적으로 분류하고 검토해 보고자 한다.

[#] 광주과학기술원 기계공학부 석좌교수, KAIST 명예교수

2. 특 별 세 셴

초전도 선재 제조기술
(제 1 발표회장)

MgB₂ 초전도 선재용 원료분말 특성제어

정국채^{1,#} · 오영석¹ · 강성훈¹ · 장세훈² · 황덕영²

Precursor manipulation of MgB₂ superconducting wires

K. C. Chung, Y. S. Oh, S. H. Kang, S. H. Jang, D. Y. Hwang

Abstract

For the high performance MgB₂ superconducting wires, one of the key issues are the careful control of raw precursors, i.e. Mg, B, and various dopants being the core powder-type constituents inside the MgB₂ long wires. Absolute & relative size, purity, crystallinity, surface condition, morphology, etc of the raw Mg & B precursors and impurities like MgO and B₂O₃ must be carefully examined, processed, and manipulated for the consecutive step of wire fabrication. In this work, it is shown that the impurities removal has been done using the various chemical treatment at Room temperature better than the high temperature (~950 °C) reduction process and checked with the element analyzer. Size effect of Mg powders on MgB₂ properties was also presented with the relative size effect with Boron. Also discussed are the selection of carbon based doping materials and its delicate relation such as the size, optimal contents, and form of existence to the precursors of Mg & B respectively.

Key Words : Superconducting wire, MgB₂, Powder, Critical current density, Connectivity

1. 재료연구소

2. Kiswire Advanced Technology Ltd.

교신저자: 재료연구소, kcchung@kims.re.kr

MgB₂ 초전도선재의 전기적-기계적 특성 연구

장세훈¹ · 김효성¹ · 이광진¹ · 신형섭² · 황덕영^{1#}

A study of electro-mechanical properties of MgB₂ wires

S. H. Jang¹, H. S. Kim¹, K. J. Lee¹, H. S. Shin² and D. Y. Hwang^{1#}

Abstract

MgB₂ 초전도체의 임계전이온도(T_c)는 약 39K로 고가의 액체헬륨을 사용하지 않고 냉동기 사용만으로 초전도 특성을 구현할 수 있고 저렴한 원료분말과 장선재 제조에 용이한 공정 등의 장점으로 인해 차세대 초전도 의료 및 전력기기 산업 분야에 많은 관심을 받고 있다. PIT법(Powder-In-Tube)으로 제조되는 MgB₂ 초전도선재는 다수의 필라멘트 형태의 MgB₂/금속 sheath로 구성된 복합다심선재로 제조되며 금속 sheath는 내부 Mg, B분말과 금속간의 반응 억제를 위한 확산방지층(Nb, Fe, Ti 등), 열적·전기적 안정화(Cu) 및 선재의 기계적 특성 강화(Monel, Ni, SUS 등) 역할을 한다. MgB₂ 선재를 마그네통 코일 및 케이블기기 등에 적용 시 권선 및 연선 과정에서 인장-압축 및 굽힘 응력이 가해지게 되며 이러한 외부 응력에 의해 필라멘트 내 깨지기 쉬운 MgB₂는 crack이 발생하여 초전도 특성이 저하되게 된다. MgB₂ 초전도선재의 전기적-기계적 특성에 영향을 미치는 인자로는 필라멘트 배치, Sheath 소재, 소성가공과 열처리, 내부 MgB₂의 connectivity 등으로 알려져 있으며 인장 또는 굽힘에 따른 비가역응력 또는 변형률(σ_{irr} , ϵ_{irr}) 측정을 통해 선재의 전기적-기계적 특성을 평가한다.

본 연구에서는 sheath 소재 종류와 분율(Barrier: Nb, NbTi, Matrix: Cu, Cu-Ni, Stabilizer: Cu, Monel), 모듈 수(1, 18, 36모듈) 및 열처리 조건(600, 675°C-1시간) 별 MgB₂ 선재의 상온, 저온(77K)에서의 인장시험을 통한 기계적 물성과 4.2K, 20K에서의 인장변형율(강도) 및 굽힘반경에 대한 임계전류 측정을 통해 I_{C0} 의 95%에 해당하는 I_c 에서의 비가역 변형률(ϵ_{irr})은 측정하였다. 측정 결과로부터 MgB₂/Nb/Cu-Ni/Monel 구조와 동일 구조에서 Monel 소재의 높은 분율이 MgB₂ 초전도선재의 전기적-기계적 특성 향상에 많은 영향을 미침을 확인하였다.

Key Words : MgB₂, 초전도선재, PIT, Sheath, 전기적-기계적 특성, 인장변형율, 굽힘반경

1. Kiswire Advanced Technology Ltd. (KAT)

2. Department of Mechanical Design Engineering, Andong National University

교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.(KAT)

E-mail: dyhwang74@kiswire.com

정수압 압출비에 따른 Mg-B/Nb/Cu 클래드의 Cu 소재에서의 미세조직적, 집합조직적 및 결정립계 분포 특성 연구

이종범^{1, #} · 박상용^{1,2} · 정하국¹ · 황덕영³

Effect of extrusion ratios on microstructural evolution, textural evolution, and grain boundary character distributions in Cu materials of Mg-B/Nb/Cu cladding during hydrostatic extrusion

J. B. Lee^{1, #} · S. Y. Park^{1,2} · H. G. Jeong¹ · D. Y. Hwang³

Abstract

This study fabricated Mg-B/Nb/Cu cladding by hydrostatic extrusion at various extrusion ratios from 2.7 to 6.5 at ambient temperature and then investigated the effects of the extrusion ratios on the microstructural evolution, textural evolution, and coincidence site lattice (CSL) boundary distribution in Cu tube of the cladding. The hydrostatic extrusion process affected the grain recovery when the Cu tube was hydrostatically extruded at a certain extrusion ratio, resulting from the decrease in dislocation density calculated by the kernel average misorientation (KAM) values based on EBSD data. The fraction of the low-energy Σ 3 boundaries increased sharply at the highest extrusion ratio, resulting in grain recrystallization, followed by grain growth. The rolling texture components present in microstructure of Cu tubes are a function of the extrusion ratio. This study reports for the first time that the microstructure of Cu tubes can be developed by grain recovery and recrystallization, as well as by increasing the content of the rolling texture components. This is attributed to the heat generated during severe plastic deformation (SPD) at an extrusion ratio of 6.4, and the adiabatic heat plays a key role in dislocations, thus overcoming the obstacles faced during thermal activation and boundary migration under specific conditions of hydrostatic extrusion.

Key Words : Mg-B/Nb/Cu cladding, hydrostatic extrusion, recovery, texture CSL boundary, EBSD

1. 한국생산기술연구원

2. 인하대학교 신소재공학과

3. K.A.T.

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: ljb01@kitech.re.kr

초기 미세조직에 따른 NbTi 초전도 선재의 임계전류밀도 분석

김희락¹ · 오영석¹ · 김세종¹ · 이호원¹ · 황덕영² · 김지훈³ · 강성훈[#]

Effect of Initial Microstructure of NbTi on Superconducting Properties

H. R. Kim, Y. S. Oh, S. J. Kim, H. W. Lee, D. Y. Hwang, J. H. Kim, S. H. Kang

Abstract

NbTi 는 열처리를 통해 결정립계 또는 삼중점에서 Pinning center 역할을 하는 α -ti 가 석출된다. 변형률 누적과 반복적인 열처리를 통해 α -ti 석출을 유도할 수 있으며, α -ti 의 크기, 분율, 종횡비 그리고 길이방향으로의 연신은 임계전류밀도에 큰 영향을 미친다고 보고되어 왔다. 일반적으로 초전도 선재 제작공정으로 반복적 열처리와 인발 공정을 사용하고 있다. 인발 공정간 α -ti 가 석출이 되는 결정립계 또는 삼중점을 증가시키기에 한계가 있다. 그렇기 때문에 선재 제작 공정 전 결정립을 미세화 하여 결정립계 또는 삼중점을 증가시키는 것은 최종 임계전류밀도를 향상 시키기 위해 필수적이다.

본 연구에서는 초기 미세조직을 제어할 통해 임계전류밀도 특성과 상관관계를 확인하기 위한 연구를 수행하였다. Nb-47.5wt%Ti 로 구성된 Billet 을 다양한 온도에서 열간 압연을 수행한 뒤 Rod 로 가공하여 Cu-Nb-NbTi 모노 선재로 조립하였으며, 이를 반복적인 열처리 및 인발 공정을 통해 최종 $\varnothing$ 1.03 mm 로 가공하였다. 초기 미세조직 및 α -ti 를 관찰을 위해 광학현미경과 FE-SEM 을 사용하였으며 그 결과를 PPMS 를 통해 측정한 최종 임계전류밀도와 비교·분석하였다. 그 결과 NbTi 초전도 선재의 초기 미세조직과 임계전류밀도 사이의 관계를 확인하였다.

Key Words : NbTi, Superconduction, Hot rolling, Critical current density

1. 재료연구소

2. 케이.에이.티. (주)

3. 부산대학교

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

Ti의 초기 미세조직 제어에 따른 MgB₂/Ti/Cu 초전도 선재의 미세조직 변화 및 변형거동 연구

박상용^{1,2#}, 현승균¹, 황덕영³, 박정민², 이종범², 정하국²

Abstract

이붕화 마그네슘(MgB₂)은 높은 임계온도(39 K)를 가지고 있어 고가의 액체 헬륨 없이 냉동기만으로도 초전도 상태를 유지하기 때문에 차세대 전력 및 의료기기 핵심소재로 주목받고 있다. 초전도 전력기기에 최소 1km이상의 초전도선이 요구되며, MgB₂는 마그네슘(Mg) + 붕소(B)분말을 금속튜브 안에 채운 후 인발, 압연 등의 가공 기술 통하여 지름이 1mm이하의 장선재 형태로 만드는 Powder in tube(PIT)법을 사용한다.

금속튜브의 선정기준은 (1)낮은 질량 밀도, (2)화학적 안정성(MgB₂형성 과정에서 Mg 혹은 B 미반응), (3)비자성, (4)냉간 가공과정에서 혼합된 분말을 보호할 수 있는 기계적 강도와 연신 특성을 가져야 되며, 이에 해당하는 금속으로 순철(Fe), 니켈(Ni), 나이오븀(Nb), 구리(Cu) 등이 존재한다. Fe는 높은 임계전류밀도($J_c \sim 3 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ at 5 K and in zero field)를 갖지만 자성을 가지고 있으며, Nb(8.57g/cm³)는 Fe(7.87g/cm³)보다 높은 밀도와 높은 원자재 가격을 가지며, Cu는 열처리 과정에서 Mg와 반응하여 Mg₂Cu를 형성시켜 초전도특성을 저하시키는 문제점이 있다. Cu의 경우, 이를 방지하기 위한 방법으로 Mg-B혼합분말과 Cu금속튜브 사이에 확산 방지층을 위치시켜 Mg₂Cu형성을 억제한다. 최근 확산 방지소재로 Mg와 반응이 없고, 우수한 기계적 특성을 지닌 순 티타늄(Commercial pure Ti: CP-Ti)을 적용한 연구가 진행되고 있다. CP-Ti을 확산 방지 소재로 적용하면 기존에 사용되었던 나이오븀(Nb)이나 순철(Fe)보다 건전한 분말/barrier 계면이 얻어지며, 기존 열처리온도 보다 높은 온도에서도 barrier층으로 B분말이 확산되지 않아 초전도 특성을 향상시킨다는 연구 결과가 보고되었다. 하지만 가공 과정에서 확산 방지소재의 기계적 특성 및 미세조직 변화에 관한 연구는 거의 이루어 지지 않고 있다.

본 연구는 열처리를 통해 CP-Ti의 미세조직을 제어한 후, 다양한 미세조직 특성을 가진 Ti튜브를 적용하여 지름이 25mm인 Mg+2B/Ti/Cu의 튜브를 조립하여 최종 직경이 0.82mm인 와이어를 제조하였다. 모든 변형 구간에서 Ti의 미세조직 및 구성소재 비율 변화를 관찰하여 변형 특성과 이들과의 관계를 연구하였다.

Key Words : MgB₂wire, Diffusion-barrier, Microstructure and deformation behavior

1. 첨단금속재료연구실, 인하대학교, 인천광역시 남구 인하로 100
2. 융합공정소재그룹, 한국생산기술연구원, 인천 연수구 송도동 7-47
3. KAT, 대전광역시 유성구 테크노2로 223
E-mail: persona8302@kitech.re.kr

복합 가공 공정을 이용한 MgB_2 초전도 선재 개발 현황

김효성¹ · 김영¹ · 강성훈² · 오영석² · 황덕영^{1#}

The development status of MgB_2 Superconducting wires fabricated by hybrid process

H. S. Kim¹, Y. Kim¹, S. H. Kang², Y. S. Oh² and D. Y. Hwang^{1#}

Abstract

MgB_2 초전도체는 초전도 임계온도(T_c) 39K, 상부임계자기장(H_{c2}) 16T, 구성원소가 2 개인 2 원계 금속 형태로 고가의 액체 헬륨을 사용하지 않고도 일반 냉동기로 초전도 특성의 구현이 가능하다. 또한 고온 초전도체에 비해 원료의 가격이 저렴하고 가공 방법이 단순해서 초전도 기기산업의 응용이 가능하므로 현재 MgB_2 선재의 상용화를 위한 연구들이 수행되고 있다. 그러나 MgB_2 초전도 선재를 MRI, 전력 케이블, 모터, 한류기와 같은 응용기기에 적용하기 위해서는 고성능의 균질한 임계전류 특성을 갖는 km 급의 장선재 제조가 반드시 필요하다. 일반적으로 MgB_2 선재는 PIT(Powder-In-Tube)법을 이용하여 원료분말의 형태에 따라 In-situ 방식과 Ex-situ 방식으로 제조되며 MgB_2 /확산방지층/최외곽시스 구조의 다수의 필라멘트로 구성된 복합다심선재로 제조된다. 하지만 인발 가공에 의한 In-situ 방식으로 제조되는 MgB_2 다심 선재의 원료 분말인 Mg, B는 연성이 부족하고 소재의 가공한계에 의한 단선과 소세징 현상과 같은 균일성 및 건전성 저하로 인해 km 급 이상의 MgB_2 장선재의 제조에 많은 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 초기 원료 분말의 입자크기, 입도 선정 및 Mg, B (1:2) 분말 혼합 후 튜브 내 균일하게 장입 가능한 분말 제어 기술이 중요하며, 다수의 필라멘트 내 균일변형을 부여하기 위한 조립 방식 최적화가 필요하다. 또한 인발 가공 대비 적은 변형량을 부여하기 위해 공형 압연이 혼합된 복합 가공 공정을 적용하며, 인발 가공은 다이스 설계 및 윤활성 향상, 공형 압연은 롤 설계 및 공정 설비 구축을 통한 균일한 소성가공이 필요하다.

본 연구에서는 장선재 제조 기술 개발을 위해 테이핑 장치를 이용하여 최외곽 층 튜브 내 모듈 균일 위치 제어로 안정적인 다심 선재를 조립 하였으며, 6km 이상의 장선재 제조를 위해 세룰 선경 인발 기술 연구를 진행하였다. 또한 인발 가공 시 nonSc/Sc 상승 제어를 위해 습식 및 건식 윤활제 타입을 적용한 윤활성 향상 및 더블 다이스 방식에 적합한 다이스 설계 최적화 연구를 진행 하였고, 공형 압연 최적 롤 설계를 바탕으로 공정 설비 안정화를 통해 복합 가공 공정이 적용된 6 km급 MgB_2 선재를 제조하였다.

Key Words : MgB_2 , 초전도선재, PIT, 테이핑, 인발, 다이스, 공형압연

1. Kiswire Advanced Technology Ltd. (KAT)

2. Korea Institute of Materials Science (KIMS)

교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.(KAT)

E-mail: dyhwang74@kiswire.com

MgB₂ 초전도 선재의 물리적 특성에 관한 연구

임진영¹ · 최규한²

Study on physical properties of MgB₂ Superconducting Wire.

J. Y. Lim, K. H. Choi

Abstract

MgB₂ 초전도체의 임계전이온도는 약 39K으로 고가의 액체헬륨을 사용하지 않고 10K~20K 냉동기를 이용한 운전이 가능한 초전도 특성으로 인해 케이블, 모터 및 발전기 제작과 같은 실제 응용에 이용되고 있다. 그러나 MgB₂ 초전도 선재의 경우 마그넷 및 케이블에 있어 열처리된 선재의 적용시 가용공정 특성에 대한 물리적 신뢰성 기준의 제시가 불명확하다. 따라서 본 연구에서는 열처리된 MgB₂ 선재에 대하여 곡률반경에 대한 장력 조건 별 신뢰성 검증을 수행하였다. 먼저 본 연구의 선재는 케이에이티(KAT) 생산한 MgB₂ Wire로 18다심선, 선경 Ø1.033mm, Non Sc/Sc 가 4.42 인 선재를 사용하였으며, MgB₂ 결정화 시키기 위해 열처리 공정의 경우 675 °C 1시간을 Ar 분위기에서 열처리 후 로냉 하였다. MgB₂ Wire를 인장강도 (0.5Kg/f ~ 8Kg/f) 와 곡률반경(Ø60 ~ Ø150)을 다양한 조건을 열처리 후 MgB₂ Wire에 대하여 인장강도 및 곡률반경 조건을 검증하였다. 실시된 MgB₂ Wire를 임계온도 측정 후 비교 분석하여 선재를 취급 시 물리적 특성의 인장강도와 곡률반경의 운영 조건을 제안하였다.

Key Words : Superconductor, Reliability, MgB₂, Tensile strength, radius of curvature

1. 한미전선㈜

2. 한미전선㈜

교신저자: 한미전선㈜ jylim@hanmicable.com

Modified Drucker-Prager Cap 모델을 이용한 초전도 MgB_2 선재의 다단 인발공정 해석

오영석¹ · 김희락¹ · 이호원¹ · 김세종¹ · 정국채¹ · 황덕영² · 강성훈^{1,#}

Numerical simulation of multi-pass drawing processes for MgB_2 superconducting wire by a modified Drucker-Prager Cap model

Y. S. Oh, H. R. Kim, H. W. Lee, S. J. Kim, K. C. Chung, D. Y. Hwang and S. H. Kang

Abstract

In this study, numerical simulation of drawing process for multi-filamentary MgB_2 wire was conducted by using the modified Drucker-Prager Cap (DPC) model to predict deformation behavior of powder. The modified DPC model, implemented in commercial finite element software ABAQUS, was utilized for the wire drawing simulation. In that simulation, variations of calibrated parameters according to density of powder were considered using the ABAQUS user-defined subroutine (USDFLD). The material parameters for modified DPC model were obtained from the cold isostatic pressing and die compaction tests. The initial shape and material properties of wire was modelled based on the experimental results. The simulation results such as deformed shape and predicted density were compared with experimental results to verify model predictions. The mechanical behavior of powder during wire drawing process was investigated to account for experimental observations founded in the literatures.

Key Words : Numerical simulation, Multi-pass wire drawing, MgB_2 (magnesium diboride), Modified Drucker-Prager Cap model.

1. 재료연구소

2. Kiswire Advanced Technology

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

3. 특 별 세 셴

황상무 교수 정년 퇴임기념
(제 1 발표회장)

철강제품의 기계적 성질 설계를 위한 최적화 기법 개발

이중형¹

The development of optimization scheme for searching optimal design variables to satisfy target mechanical properties in steel product

J. H. Lee

Abstract

In recent years, the major steel companies all over the world have faced intense competitions against each other because of an oversupply of steel products, especially in East Asia. To increase market share, it has been an important issue to reduce production cost without quality degradation. To handle this issue, this research is focused on developing optimization scheme to determine optimal process and alloy conditions in steel product, which is automatic simulations based on heuristics, that is, multiple objective particle swarm optimization (MOPSO) using the concept of Pareto optimality, replacing experiments by human to reduce trial and error in applying real industry field. The Pareto solutions give us the optimal trade-off solution among competing objective functions. In industry, although the Pareto solutions are optimal candidates, they commonly have extreme process conditions, that is, they are dangerous or challenging to implement. So, allowing for the degradation more than one objective function, the many more solutions in the vicinity of the original optimal solution can be considered as second optimal candidates for application, which surely gives the decision maker more opportunities for determining more safe and applicable solutions. To do this, the concept of a Meta Pareto Front was suggested in this research.

Key Words : English Key Word: Industrial Optimization, Metaheuristics, Optimization Modeling

1. 연구배경

철강제품의 기계적 물성은 합금 성분의 조성과 공정 조건에 의해 결정이 된다. 이의 예측을 위해 많은 연구가 수행되었으나 현장에서 발생하는 복잡한 야금 현상을 정확하게 모델링하는 부분은 앞으로도 많은 노력이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 기 개발된 재질예측모델(그림1)과 다중 목적함수 최적화 기법을 활용하여 고객이 원하는 재질을 만족시키는 합금성분과 공정조건을 도출하는데 목적이 있다(그림2). 재질예측은 석출, 재결정, 상변태 등과 같은 야금현상이 온도, 변형과 같은 공정변수와 연계되어 예측되므로 모델의 비선형성이 크다. 그리고 고객의 요구사항은 엄격하고 다양화되고 있어 다목적함수를 가진 최적화의 문제를 다룰 수 있어야 한다. 본 연구를 통해 철강제품의 개발 측면에서 목적함수의 비선형성과 다양한 고객의 요구사항을 반영할 수 있는 최적화 전략 및 기법을 제시하고자 하였다.

1. 포스코 강재연구소 열연선제연구그룹

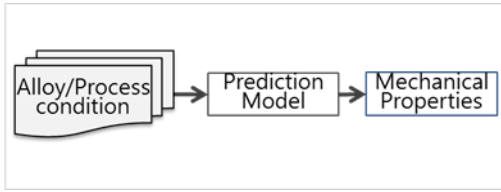


그림1. 기계적성질예측 모델

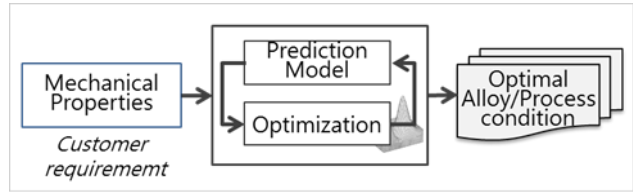


그림2. 최적화기법을 이용한 성분/공정 설계

2. 개발내용

본 연구에서는 비선형 최적화 문제를 효율적으로 다룰 수 있는 군집최적화(Particle Swarm Optimization) 기법을 사용하였으며, 다중의 목적함수를 다루기 위해 파레토 최적설계 개념을 도입하였다(그림3). 파레토 최적화에서는 최적값이 하나의 값으로 존재하지 않고 다중의 목적함수 ($f_1(x), f_2(x)$) 사이에서의 타협(trade off)을 이루는 지점들(파레토프런트)로 존재한다(그림4). 기존의 파레토프런트는 이러한 타협 지점들이 목적함수 공간의 최전선을 따라 위치하였지만, 본 연구에서는 목적함수들의 최전방 지점들을 중심으로 일정 구간을 메타 파레토프런트로 정의하여 다양한 최적의 후보 조건들을 확보할 수 있었다(그림5).

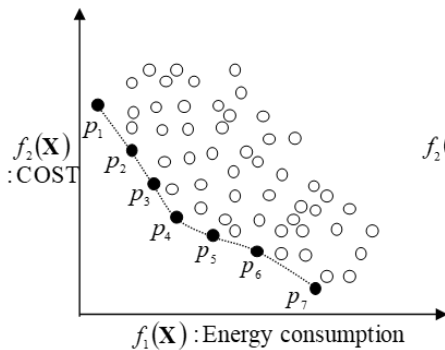
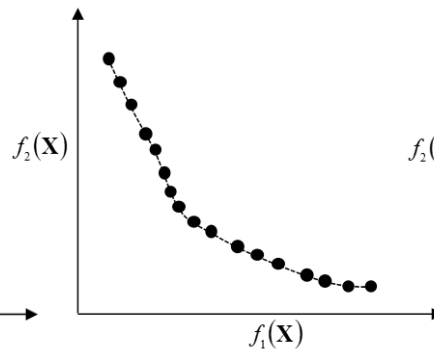
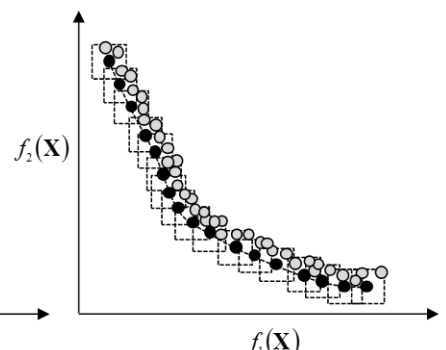


그림3. 파레토프런트 형성 과정



● Pareto front (Pareto solutions)

그림4. 파레토프런트(기존)



● Pareto front (Pareto solutions)
○ Meta Pareto front

그림5. 파레토프런트(변경)

3. 결과 및 고찰

개발된 최적화 기법을 강종개발에 적용하여 2가지 이상의 다양한 고객요구사항을 만족(재질, 원가)시키는 최적의 성분과 공정조건을 자동으로 도출하여 강종설계자에게 추천하는 툴로 활용할 수 있었다. 해당 기술의 활용으로 강종설계에 대한 시행착오를 줄이고 고객요구사항에 신속하게 대응할 수 있는 제품설계 방법론을 개발하였다.

참고문헌

- [1] Pareto, Vilfredo (1886). "Cours D'Economie Politique", volume I and II. F. Rouge, Lausanne.
- [2] Jouni Lampinen, "Multi objective nonlinear Pareto optimization", A pre-investigation report, Lappeenranta university of technology, (2000)
- [3] Peter Dueholm Justesen, "Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms", Progress report, Department

설계민감도를 이용한 비정상상태 소성가공공정 최적설계 기법 응용

정석환[#] · 황상무²

Optimization technique based on design sensitivity in non-steady state metal forming process and its applications

S. H. Chung and S. M. Hwang

Abstract

With the development of CAE simulation technique in metal forming process and performance of computing power, the application of optimization technique has been realized more and more. In this paper, one of the trends in optimization technique, that is, the optimization technique based on the design sensitivity, for non-steady state metal forming process actively studied in the past is introduce, which is powerful in computation time but difficulty in application.

Key Words : Non-Steady State, Optimization, Design Sensitivity, Direct Differentiation Method, Adjoint Variable Method

1. 서론

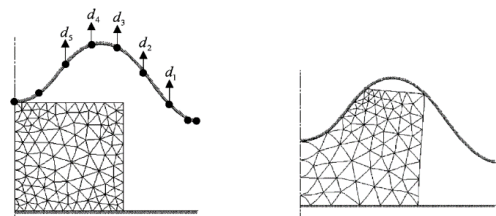
1990 년대 중반 이후 단조 공정을 포함한 소성가공 공정에 대한 최적화 기법 적용을 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 컴퓨터 성능, CAE 해석 정밀도 및 최적화 기법의 발전을 통해 근래에 적용 분야를 확대하고 있다. 최적화 기법으로는 설계민감도를 이용한 방식, 유전알고리즘 등과 같은 설계민감도를 이용하지 않는 방식, 메타모델을 이용한 방식 등이 연구되어 왔는데, 본 논문에서는 설계민감도를 이용한 방법에 대해서 소개하고자 한다.

2. 설계 민감도 계산

최적화를 위한 설계민감도는 유한차분법, 직접미분법, 수반변수법으로 구할 수 있다. 유한차분법은 설계변수에 미소변화를 주고 추가해석을 수행하여 그 차이에 미소변화량을 곱해서 구하고, 직접미분법은 유한요소 해석을 위한 상태방정식으로부터 구한 설계

변수에 대한 상태변수의 미분을 이용하여 설계민감도를 계산한다[1]. 수반변수법은 상태방정식을 처리함에 있어서 수반변수를 도입함으로써 설계민감도 계산을 위한 행렬 방정식 계산 횟수를 최소화 한다[2]. 단조 공정과 같은 비정상 상태 공정은 설계변수의 변화에 따른 시간증분, 경계조건, 이력 의존 변수의 미분 및 리메싱에 따른 영향이 고려된다.

Chung 등은 Table 1 에서 Fig. 1 의 설계변수에 대해 경계조건 변화와 리메싱이 있는 경우 수반변수법으로 설계민감도를 계산하는 방법을 제시하였다[2].



(a) Initial

(b) Final

Fig. 1 Process to verify the adjoint variable method

[#]. 교신저자 : (주) 엠에프알씨

² 포항공과대학교 기계공학과,

E-mail: shchung@afdex.com

Table 1. Comparison of the design sensitivity

Variable no.	Direct diff.	Adjoint state	Diff. (%)
1	-0.00062	-0.00062	0.00129
2	-0.00542	-0.00542	0.00028
3	-0.00297	-0.00297	0.01046
4	-0.00587	-0.00586	0.10146
5	-0.01109	-0.01110	0.11520

3. 공정 최적설계 응용 사례

설계민감도를 이용한 첫번째 최적화 사례는 Fig. 2 에서와 같이 절삭공구 팁의 일종인 VBMT 의 분말금형압축 공정에서 성형체의 밀도 구배를 최소화하기 위한 펀치 및 금형의 움직임을 최적화 한 사례로서 밀도 구배를 최소화함으로써 Fig. 3 에서와 같이 소결시 벤딩량을 줄일 수 있음을 보였다 [3].

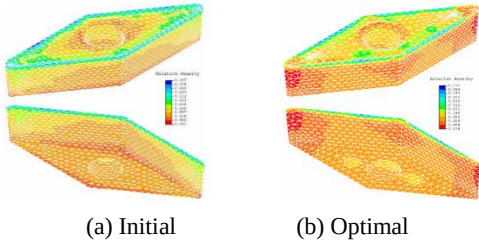


Fig. 2 Powder compaction of VBMT cutting tool tip

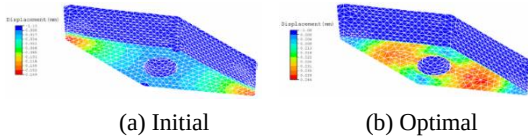


Fig. 3 Comparison of bending amount during sintering process due to density distribution in powder compact

두번째 적용 사례는 Fig. 4 에서와 같이 티타늄 소재의 후방 압출 공정에서 발생한 표면 크랙을 없애기 위해 펀치 형상, 소재 및 금형 온도를 최적화 한 사례이다. 최적화를 통해서 크랙 발생 부위의 손상도 값을 최소화함으로써 표면 크랙을 개선하였다 [4].

Table 2. Optimization cases and optimal design variables

Design variable	Initial	Optimization I	Optimization II	Optimization III
d_1	720 °C	720 °C	710.4 °C	716 °C
d_2	420 °C	420 °C	800 °C	800 °C
d_3	250.5 mm	252.6 mm	250.5 mm	253 mm
d_4	252 mm	252.7 mm	252 mm	251 mm
d_5	255 mm	250 mm	255 mm	250 mm
d_6	263 mm	263.9 mm	263 mm	260.5 mm
d_7	3 mm	10 mm	3 mm	10 mm
d_8	3.3 mm	5.5 mm	3.3 mm	10 mm
d_9	36 mm	36 mm	36 mm	36 mm

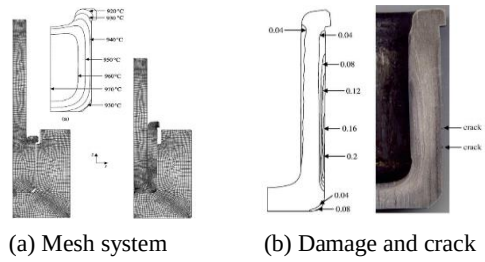


Fig. 4 Backward extrusion process of titanium

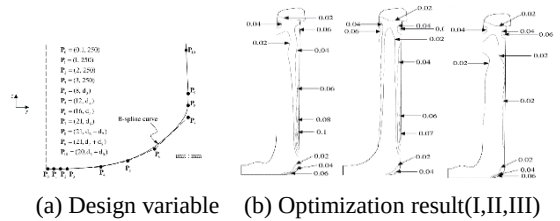


Fig. 5 Description of design variables and optimization

4. 결론

본 논문에서는 최적화 기법 중 하나인 설계민감도 의존 최적화 기법 및 적용사례에 대해서 소개하였다.

참고문헌

- [1] S. H. Chung, S. M. Hwang, 1998, Optimal process design in non-isothermal, non-steady metal forming by the finite element method, Int. J. Numer. Meth. Engng., 42, 1343-1390.
- [2] S. H. Chung, L. Fourment, J. L. Chenot, S. M. Hwang, 2003, Adjoint state method for shape sensitivity analysis in non-steady forming applications, Int. J. Numer. Meth. Engng., 57, 1431-1444.
- [3] S. H. Chung, Y. S. Kwon, C. M. Hyun, M. J. Kim, R. M. German, 2004, Analysis and design of a press-and-sinter process for fabrication of precise tungsten carbide cutting tools, Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, 26-39.
- [4] T. J. Shin, Y. H. Lee, J. T. Yeom, S. H. Chung, S. S. Hong, I. O. Shim, N. K. Park, C. S. Lee, S. M. Hwang, 2005, Process optimal design in non-siothermal backward extrusion of a titanium alloy by the finite element method, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, 194, 3838-3869.

Finite Element Modeling of Thermo-Mechanical and Metallurgical Behavior of Type 304 Stainless Steel in Cold Strip Rolling

SungKang Sohn¹ and SangMoo, Hwang²

Abstract

A finite element-based, integrated process model is presented for the coupled analysis of the thermo-mechanical and metallurgical behavior of type stainless 304 steel occurring in the entire tandem mill during cold strip rolling. The validity of the proposed model is examined through comparison with measurements. The model's capability of revealing the effect of diverse process parameters is demonstrated through a series of process simulation.

Keywords: Stainless Steel, finite element model, thermo-mechanical behavior, metallurgical behavior, cold strip rolling

Introduction

Precise control of product quality, as well as enhancing the production economy, may greatly depend on the mechanical/thermal/metallurgical behaviors of the strip and also on those of the roll during cold rolling, and therefore, in order to achieve successful process design and control, it is highly desirable to be capable of predicting the detailed aspects of these behaviors through sound process modeling.

It was well known that some austenite stainless steels, such as type 304, undergo the deformation induced bcc martensite (α') transformation from fcc austenite (γ) during cold deformation process. Recently, Iwamoto et al. [1] extended the generalized constitutive relationship by Stringfellow [2] by taking the strain rate effect into account both in tension and compression state.

Presented in this paper was an integrated finite element(FE)-based approach for the prediction of the mechanical/thermal/metallurgical behaviors that a type stainless 304 strip would reveal as it passes through the entire cold tandem mill. The validity of the proposed models was examined through comparison with measurements. Then, a series of process simulation were conducted to investigate the effect of various process parameters on the detailed aspects of the thermo-mechanical and metallurgical behavior of the strip.

Kinetics of Strain-Induced Martensite Transformation

In this investigation, Iwamoto model [1] was adopted for the prediction of the evolution of the martensite during cold strip rolling.

Under constant temperature, strain rate and stress state, volume fraction of martensite may be described as :

$$f_m = 1 - \exp\left\{-\beta[1 - \exp(-\alpha\bar{\epsilon})]^n\right\} \quad (1)$$

FE Model for Analysis of Rigid-Plastic Deformation

A steady-state, rigid-viscoplastic deformation behavior of the strip was adopted in the present investigation. The detailed finite element formulation may be seen in the references [3,4]. The flow stress $\bar{\sigma}$ of the strip within two phases of austenite and martensite may be represented by the mixed rule [4]:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_\gamma(1 - f_m) + \bar{\sigma}_{\alpha'} f_m \quad (2)$$

FE Model for Analysis of Heat Transfer in the Strip and in the Roll

The governing equation for steady state heat transfer in the strip as well as that in the roll is given by

$$\rho c u_i T_{,i} = (kT)_{,i} + Q + Q_l \quad (3)$$

1. POSCO Technical Research Lab., sksohn@posco.co.kr

2. Pohang University of Science and Technology

Results and Discussion

Investigated was the thermo-mechanical/metallurgical behavior of the strip occurring in the tandem mill of POSCO no. 2 cold strip mill, pohang works. Due to the diverse effects of lubrication, the friction coefficients in the first three stands, which apply excessive lubricant, were adopted as 0.06; in the mean while, the friction coefficient in the last stand, which serves as the nearly dry rolling, was used as 0.2, instead, according to the reference [5]. The predicted roll forces were in good agreement with the measurements, as shown in Fig. 1.

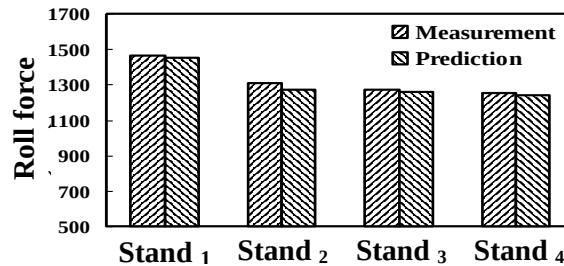


Fig. 1 Comparison of the roll forces between the predictions and the measurements

Illustrated in Fig. 2 were the distributions of temperature, effective strain and the evolved martensite through the entire mill at the surface and center of the strip. In the bite region, because of the aforementioned heat generation in rolling process, the strip temperatures were quickly increased with the higher temperature at center than surface. After passing through the mill stands, the strip surface is still covered with the retained lubricant film due to the spray at the exit, resulting in the continuous decrease of the strip temperatures in the inter stands. The predicted surface temperatures were in good agreement with the measurements, as shown in Fig. 2a. Before entering into the mill stands, the surface of strip is covered with the excessive lubricant, indicating the over drop of the strip temperatures in the vicinity of the entry zone except the first stand, where the strip temperatures were increased arising from the higher temperature of lubricant than the initial temperature of strip. After passing through the last stand, the surface temperatures were quickly restored, due to the profuse heat supply from the relatively hot mass in the interior of the strip. As shown in Fig. 2b, the effective strain was dramatically accumulated as rolling progresses, due to the work hardening characteristics. Since the martensite evolution is keenly dependent on the temperature and variation of the effective strain, the gradual increase of the evolution of the martensite phase was observed, as depicted in Fig. 2c.

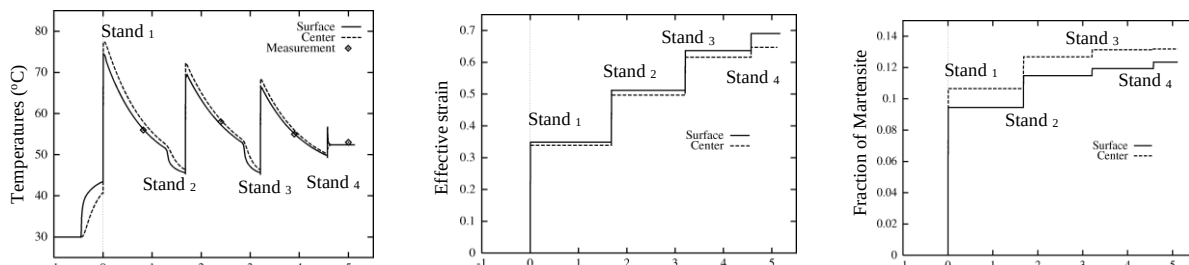


Fig. 2 the distributions of temperature (a), effective strain (b) and the evolved martensite (c) through the entire mill at the surface and center of the strip

Concluding Remarks

A finite element-based approach was presented for the prediction of the thermo-mechanical and metallurgical behavior that a strip reveals as it passes through the entire tandem cold mill. The merits of the present approach lied in many aspects, for example,

- (1) its capability of taking into account the strong interaction among the thermal, mechanical and metallurgical behavior of the strip, and also between the thermal behavior of the roll and that of the strip;
- (2) though the current investigation was focused on tandem cold mill, its application can be expanded to Sendzimir mill;

References

- [1] T. Iwamoto, T. Tsuta and Y. Tomita: *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 40, (1998), p. 173.
- [2] R.G. Stringfellow, D.M. Parks and G.B. Olson: *Acta Metall. Mater.*, Vol. 40, (1992), p. 1703.
- [3] C.G. Sun, C.S. Yun, J.S. Chung and S.M. Hwang: *Metall. Mater. Trans. A*, Vol. 29A, (1998), p. 2407.
- [4] S.M. Hwang, C.G. Sun, S.R. Ryoo, and W.J. Kwak: *Comput. Meth. Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 191 (2002), p. 4015.
- [5] W.L. Roberts: *Flat Processing of Steel*, (Marcel Dekker, INC. New York, 1987).

열간 조압연기에서 사이드 가이드 설계 및 제어

변상민[#]

Design and Control of Side Guide in Hot Roughing Rolling Mill

S. M. Byon[#]

Abstract

사이드 가이드는 압연 중에 발생하는 판의 좌우 휨이 더 이상 진행되지 않도록 지탱하는 역할을 한다. 따라서, 판의 좌우 휨 양도 줄이면서 내구성도 확보할 수 있는 사이드 가이드의 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 사이드 가이드 설계를 위해 수평률, 수직률, 사이드 가이드가 장착된 열간 조압연 공정의 유한요소해석을 수행하였다. 먼저, 판의 좌우 휨에 영향을 미치는 사이드 가이드의 형상 인자를 설계변수로 선택하였다. 설계변수가 고려된 사이드 가이드, 수평률 및 수직률을 삼차원 CAD 모델링 하였고, 판의 소성 변형해석을 수행하기 위한 격자를 생성하였다. 설계변수 변화에 따른 사이드 가이드와 판 사이의 접촉 시간과 가이드력을 평가하여 판의 휨 저감과 내구성 향상에 적합한 설계 변수를 도출하였고, 이것으로 제작된 사이드 가이드를 이용하여 실제 열간 조압연 공정에 적용하여 판의 휨 저감 효과를 고찰하였다.

Key Words : Side Guide(사이드 가이드), Design Parameters(설계변수), Hot Roughing Rolling(열간 조압연), Finite Element Analysis(유한요소해석)

1. 서론

열간 압연 중에 판이 완전히 상하 혹은 좌우 대칭적으로 변형되는 경우는 거의 없고 약간의 비대칭 압연이 항상 존재하게 된다. 특히, 압연 중에 판의 좌우 굽힘을 캠버(Camber)[1~3]라고 하는데, 이것의 정도가 큰 경우에는 수직률과 충돌하거나 판을 이동하게 하는 롤러 테이블을 벗어 나기도 한다. 압연 현장에서는 약간 발생한 캠버가 압연 중에 더 이상 증폭되지 않도록 압연기 전후에 사이드 가이드를 설치하여 관리범위 내에 있도록 하고 있다. 본 연구에서는 캠버 저감 및 내구성 측면에서 가장 효과적인 사이드 가이드 설계변수를 도출하기 위해서 유한요소해석을 수행하였다. 설계변수에 따른 접촉시간과 가이드력을 평가하여 합리적인 설계안을 도출하였다. 도출한 설계안을 토대로 제작하여 실제 열간 조압연기에 적용하여 캠버 저감효과를 고찰하였다.

2. 설계변수

Fig. 1은 본 연구의 대상인 사이드 가이드를 CAD 모델링한 결과를 나타내고 있다. 사이드 가이드에 5개의 가이드 롤러가 장착되어 있는데, 이것은 판의 측면과 사이드 가이드 사이의 마찰을 최소화 하기 위한 도구로 사용된다. 본 연구에서는 롤러의 갯수는 고정되어 있는 것으로 하고 롤러의 형상 및 장착 위치를 설계 변수로 설정하였다.

[#] 교신저자: 동아대학교 기계공학과, 교수, E-mail: smbyon@dau.ac.kr

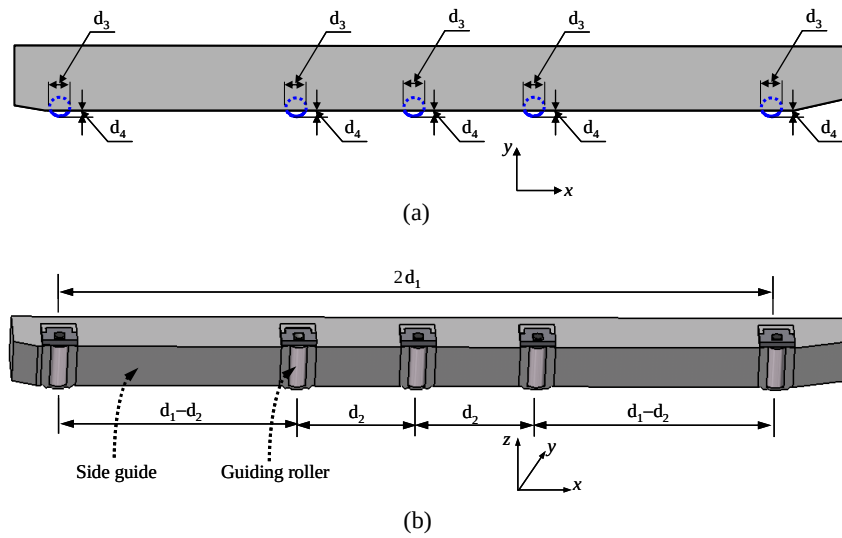


Fig. 1 (a) Top view of the side guide (b) Complete view of the side guide

그림에서 $d_1 \sim d_4$ 는 설계변수를 나타낸다. $2d_1$ 은 사이드 가이드의 전체길이를 나타내고 d_2 는 가이드 롤러 사이의 피치를 나타낸다. d_3 는 가이드 롤러의 직경을 나타내고 d_4 는 사이드 가이드면에서 돌출된 롤러의 높이를 나타낸다. 가이드 롤러는 판 측면과의 지속적인 접촉으로 마모가 빈번하게 발생하므로 정비 및 교체가 용이하도록 같은 형태로 정하였다. 따라서, 5개의 롤러 모두 d_3 및 d_4 는 같은 설계변수가 채용된다.

3. 결과 및 고찰

판과 사이드 가이드 측면 사이의 접촉시간은 사이드 가이드의 내구성과 반비례 관계이다. 접촉시간에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 d_4 즉, 사이드 가이드면에서 돌출된 롤러의 높이(d_4)로 나타났다. 접촉시간이 현저하게 떨어지는 특정 d_4 이상의 값을 후보로 선정하였다. 이 값을 기준으로 가이드력을 최소화 시킬 수 있는 d_2 및 d_3 를 선정하였다. d_1 은 사이드 가이드를 열간 조압연기에 설치시 구속조건이 될 수 있으므로 $d_i/d_1 (i=1 \sim 4)$ 를 새로운 설계변수로 선정하여 결과를 정리하였다.

4. 결론

사이드 가이드, 수직롤 및 수평롤이 장착된 열간 조압연 공정에 유한요소해석을 적용하여 사이드 가이드의 판의 캠버 저감과 내구성 향상에 적합한 설계 변수를 도출하였다. 본 설계안을 토대로 사이드 가이드를 제작하여 실제 열간 조압연 공정에 적용하였다. 캠버량이 $\pm 20\text{mm}$ 를 만족하는 경우를 양품으로 설정했을 때, 51%의 개선효과를 얻었다.

참고문헌

- [1] T. Shiraishi, H. Iyata, A. Mizuta, S. Nomura, E. Yoneda, K. Hirata, 1991, Relation Between Camber and Wedge in Flat Rolling under Restrictions of Lateral Movement, ISIJ International, Vol. 31, No. 6, pp. 583~587.
- [2] D. L. Biggs, S. J. Hardy, K. J. Brown, 2000, Influence of Process Variables on Development of Camber during Hot Rolling of Strip Steel, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 27, pp.55~62.
- [3] S. J. Hardy, D. L. Biggs, K. J. Brown, 2002, Three-dimensional Hot Rolling Model for Prediction of Camber Generation, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 29, pp. 245~252.

A study of anisotropic yield function based on J_2 and J_3 invariants

Phu-Van Nguyen¹, Jin-Jae Kim¹, Quoc-Tuan Pham¹, Young-Suk Kim[#]

Abstract

In this paper a new anisotropic yield function that describes the elastoplastic behavior of sheet metals depends not only on the second stress invariant J_2 for the yield, but also on the third stress invariant J_3 , both may affect the shape of the yield surface. The new anisotropic yield function is general and applicable to three-dimensional stress states. The proposed model is identified by calibration parameters from experimental data of material including uniaxial and biaxial tests. In this study, the predictive capabilities of the new anisotropic yield function are demonstrated by comparison between the predictions and experimental data for yield locus, normalized yield stress and r-value on aluminum sheet. The result indicates that the new anisotropic model is reasonable to predict the shape of the yield surface of the sheet metals.

Key Words: invariant J_2 , invariant J_3 , and anisotropic yield function.

1. Introduction

In previous study, for anisotropic sheet metals, many anisotropic yield functions have been proposed [1], for example Yld2000-2d (2000), Cazacu and Barlat (2001), Barlat (2004), Banabic (2010), etc. The Yld2000-2d yield function is able to give accurate prediction for both directional yield stresses and r-values at rolling, diagonal and transversal orientations. However, this yield function is much complicated for procedure to determine the parameters of the yield function. Another approach, Cazacu and Barlat (2001) extended to anisotropy of the isotropic Drucker yield function. They replaced J_2 and J_3 by J_2^0 and J_3^0 , respectively [2].

$$(J_2^0)^3 - c(J_3^0)^2 = \tau_Y^6 \quad (1)$$

where J_2^0 and J_3^0 denote the anisotropic second and third invariant respectively as defined in next section, c is a constant and τ_Y is the yield stress in pure shear. Similarly, Yanshan Lou and Jeong Whan Yoon (2017) revised the isotropic Drucker yield function by using J_2^0 and J_3^0 as the second and third invariants of the linearly transformed stress tensor s' [3]. Another yield function in terms of anisotropic invariants J_2^0 and J_3^0 was also proposed by and Cazacu (2018) for textured metallic materials as below [4]:

$$(J_2^0)^4 - \alpha(J_2^0) \times (J_3^0)^2 = \tau_Y^8$$

A similar approach, in this study a new anisotropic yield function is proposed based on J_2^0 and J_3^0 invariants. The theoretical prediction of anisotropy in tensile properties for uniaxial tension for arbitrary orientation of the loading axis are presented. In particular, the comparison between the predictions and experimental data for yield locus, normalized yield stress and r-value on AA6016-T4 are demonstrated. A summary of the main results is presented in section 2.

2. New anisotropic yield function

From early discussions, we propose a new anisotropic yield function named as Kim-Van's yield function as expressing below:

$$f(J_2^0, J_3^0) \equiv (J_2^0)^6 + \alpha(J_3^0)^4 + \beta(J_2^0)^3 \times (J_3^0)^2 = \tau_Y^{12} \quad (3)$$

where τ_Y denotes the yield stress in pure shear, α and β are material constants. If $\alpha = \beta = 0$, the von Mises yield criterion is recovered. The anisotropic generalizations of the second and third invariant of the stress deviator should be express as follows [2, 4]:

$$J_2^0 = \frac{a_1}{6}(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \frac{a_2}{6}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + \frac{a_3}{6}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + a_4\sigma_{xy}^2 + a_5\sigma_{xz}^2 + a_6\sigma_{yz}^2 \quad (4)$$

$$J_3^0 = \frac{1}{27}(b_1 + b_4)\sigma_{xx}^3 + \frac{1}{27}(b_3 + b_4)\sigma_{yy}^3 + \frac{1}{27}[2(b_1 + b_4) - b_2 - b_3]\sigma_{zz}^3 - \frac{1}{9}(b_1\sigma_{yy} + b_2\sigma_{zz})\sigma_{xx}^2 - \frac{1}{9}(b_3\sigma_{zz} + b_4\sigma_{xx})\sigma_{yy}^2 \\ - \frac{1}{9}[(b_1 - b_2 + b_4)\sigma_{xx} + (b_1 - b_3 + b_4)\sigma_{yy}]\sigma_{zz}^2 + \frac{2}{9}(b_1 + b_4)\sigma_{xx}\sigma_{yy}\sigma_{zz} - \frac{\sigma_{xx}^2}{3}[2b_9\sigma_{yy} - b_8\sigma_{zz} - (2b_9 - b_8)\sigma_{xx}] \\ - \frac{\sigma_{xy}^2}{3}[2b_{10}\sigma_{zz} - b_5\sigma_{yy} - (2b_{10} - b_5)\sigma_{xx}] - \frac{\sigma_{yz}^2}{3}[2b_7\sigma_{xx} - b_6\sigma_{yy} - (2b_7 - b_6)\sigma_{zz}] + 2b_{11}\sigma_{xy}\sigma_{xz}\sigma_{yz}$$

In the above expressions a_i ($i = 1 \dots 6$) and b_k ($k = 1 \dots 11$) are coefficients describe anisotropic property. If $a_i = b_k = 1$, the above equation (3) returns to isotropic yield function.

For the isotropic yield function to be convex, the range of variation of α and β are: $\alpha = 0$ and $\beta = [-4, 12]$; $\beta = 0$ and $\alpha = [-12, 20]$; $\alpha = (0, 3]$ and $\beta = (0, 12]$; $\alpha = [-6, 0)$ and $\beta = [-4, 0)$; $\alpha = (0, 20]$ and $\beta = [-4, 0)$; $\alpha = [-12, 0]$ and $\beta = (0, 12]$.

Fig. 1 shows different kind of shapes of the yield locus of this yield function depend on the parameters α and β . If α and β are more negative, the shape of yield locus is more sharp as shown in Fig. 1b whereas when α and β are positive, the shape of yield locus as shown in Fig. 1a.

For the case of anisotropic yield function, to identify the coefficients by fitting the experimental data with predicted ones here we adopt the

1. Graduate School, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Daegu 41566, South Korea

Corresponding Author: School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Daegu 41566, South Korea,

Email: caekim@knu.ac.kr, Tel: +82-53-9505580

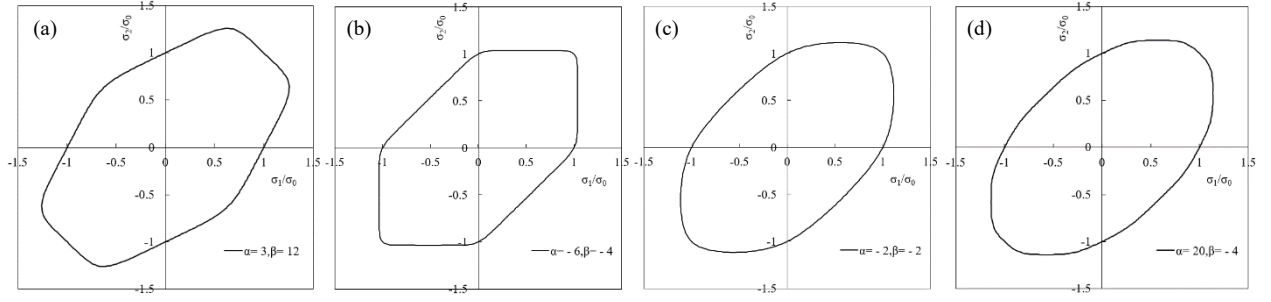


Fig. 1. The general shapes of the yield locus of the isotropic yield function: (a) $\alpha = 3$; $\beta = 12$ (b) $\alpha = -6$; $\beta = -4$ (c) $\alpha = -2$; $\beta = -2$ (d) $\alpha = 20$; $\beta = -4$

following error function to be minimized:

$$F = \sum_i^n \eta_i \left(1 - \frac{(\sigma_\theta)_i^{th}}{(\sigma_\theta)_i^{data}} \right)^2 + \sum_j^m \gamma_j \left(1 - \frac{(r_\theta)_j^{th}}{(r_\theta)_j^{data}} \right)^2 + \delta \left(1 - \frac{(\sigma_b)_i^{th}}{(\sigma_b)_i^{data}} \right)^2 + \nu \left(1 - \frac{(r_b)_i^{th}}{(r_b)_i^{data}} \right)^2 \quad (5)$$

In the above equation, n and m represent the number of experimental yield stresses and r -values, respectively corresponding to different orientations θ are available, the superscript indicates whether the respective value is experimental or calculated data while η_i , γ_j , δ and ν are weight factors.

Fig. 2 are shown the predicted variation of the normalized uniaxial yield stresses σ_θ/σ_0 and r -values r_θ according to the Kim-Van's yield function and Cazacu-Barlat's yield function (2001) [2] respectively, in comparison with the measured yield stresses and r -values for an AA6016-T4. The numerical values of the coefficients involved in this yield function in plane stress $\sigma_3 = 0$ were determined by minimizing the error function from the experimental yield stresses and r -values for $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 45^\circ, 75^\circ, 90^\circ$, the tensile equibiaxial yield stress $\sigma_b/\sigma_0 = 1.0$ and biaxial coefficient $r_b = 1.05$ [5]. These coefficients are shown in Table 1.

Table 1. Anisotropic coefficients of Kim-Van's yield function and Cazacu-Barlat's yield function

Parameters	a_1	a_2	a_3	a_4	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_{10}	α	β	c
Kim-Van	1.020	1.035	0.787	0.685	0.747	1.871	2.744	0.296	1.720	1.656	1.589	1.893	$\times$
Cazacu-Barlat	0.334	0.815	0.815	0.420	0.040	-1.205	-0.958	0.306	0.153	-0.020	$\times$	$\times$	1.4

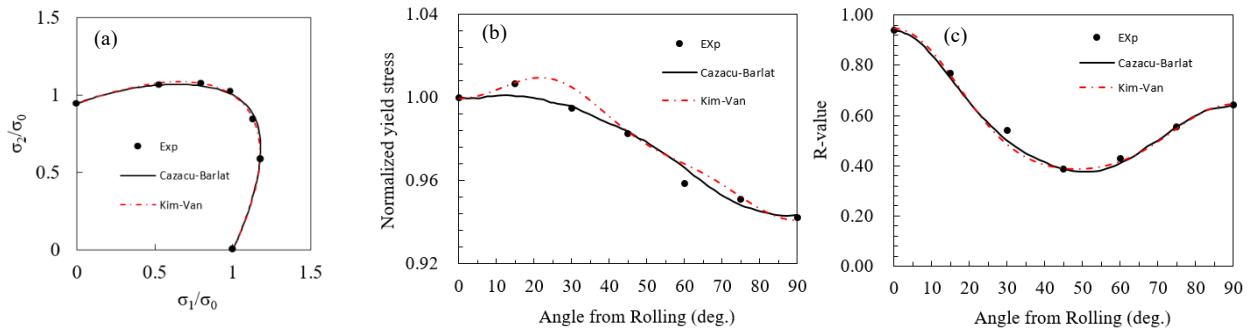


Fig. 2 Predicted anisotropy according to the Kim-Van's yield function and Cazacu-Barlat's yield function (2001) for an AA6016-T4. (a) Yield locus, (b) Uniaxial yield stresses, (c) R-values

From the results are shown in Fig. 2, the yield locus shape and the following dependence of the predicted normalized yield stresses, r -values on the angle θ between the direction of loading and the rolling direction are good agreement with experimental data. Based on this observation, the proposed yield function can describe with accuracy both the anisotropy in yielding and r -values of this aluminum sheet.

3. Conclusion

Due to the space limit, we omit the conclusion.

Acknowledgement

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2019R1A2C1011224).

References

- [1] Noh Woo Ram, Myoung Gyu Lee, Yield functions for sheet metal forming applications, Transactions of Materials Processing, Vol. 25, pp. 275-282, 2016.
- [2] Oana Cazacu, Frederic Barlat, Generalization of Drucker's Yiled Criterion to Orthotropy, Mathematics and Mechanics of Solids, Vol. 6, pp. 613-630, 2001.
- [3] Yanshan Lou, Jeong Whan Yoon, J₂-J₃ based anisotropic yield function under spatial loading, International conference on the Technology of Plasticity, Vol. 207, pp. 233-238, 2017.
- [4] Oana Cazacu, New yield criteria for isotropic and textured metallic materials, International Journal of Solids and Structures, pp. 200-210, 2018.
- [5] Lucian Lazarescu, Determination of material parameters of sheet metals using the hydraulic bulge test, Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 19, p. 4-12, 2013.

비정형 롤 판재성형공정에서의 목적곡면 예측을 위한 기계학습 기반 인공지능망 모델 개발

박지우¹ · 곽민준² · 박근태² · 강범수[#]

Study on Prediction Model Development for Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process

J. W. Park, M. J. Kwak, K. T. Park, B. S. Kang

Abstract

Flexible forming technology has been utilized to fabricate various products which have complex shape. Multi-point dieless forming (MDF), one of the most popular flexible forming technologies, is used in sheet metal forming process. As an advanced technology of the MDF, flexibly-reconfigurable roll forming (FRRF) process has been suggested in several years ago. The FRRF process can be manufactured 3D curved sheets using flexible rollers. It is difficult to predict forming result in this process, because those 3D curved sheets are formed from position of the 2D rollers. In this study, as the input parameters of the regression analysis, it is chosen the compression ratio of the sheet, curvature radius of the transverse direction and width of initial blank. The output parameter is longitudinal curvature of the forming results. Through simulation research, the FRRF forming results of each condition were predicted, and those results were trained by an artificial neural network learning model. The training was carried out using MATLAB, and the goodness of fit test was also performed to confirm that this model was suitable to predict forming results.

Key Words : Flexibly-Reconfigurable Roll Forming, Artificial Neural Networks, Simulations

후 기

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2019R1A5A6099595)과 신진연구지원사업(No. NRF-2019R1C1C1005721)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. 부산대학교, 부품소재산업협력연구소

2. 부산대학교, 항공우주공학과

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail: bskang@pusan.ac.kr

4. 일반 논문 발표

(제 1 발표회장)

외곽 그루브를 갖는 프로파일 링롤링 공정의 결함 분석

오일영¹ · 문영훈[#]

The analysis of the process-induced defects in profile ring rolling with outer groove

I. Y. Oh, Y. H. Moon

Abstract

Profile ring rolling is a process of gradually forming a cross section of a ring material according to the profile shape of the main roll and the mandrel. In this paper, the defects in the ring rolling process with grooves on the outer surface of the ring were analyzed. Major defects were locally groove and unfilling. FEM analysis was performed to analyze the effect of groove height and depth on defects in the final shape. Based on the analysis results, formable dimensions of groove height and depth were analyzed.

Key Words : Profile Ring Rolling, Outer Groove, Shape Defects, Finite Element Method, Hot Working

1. 서론

프로파일 링롤링 공정은 맨드렐과 메인롤 사이에서 링이 회전하여 단면적이 점진적으로 프로파일 형상에 따라 변형된다[1]. 따라서 이음매가 없는 링 제품 제작이 가능하고 가공경화로 인해 생산성 및 물성치가 뛰어나다[2]. 사각 단면의 링 제품에 비해, 형상이 복잡하며 금형으로 인한 응력의 분포가 국부적으로 집중되기 때문에 여러가지 결함들이 발생한다[3].

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 링의 외곽에 그루브를 갖는 형상의 결함에 대해 분석하였다. 메인롤의 프로파일 형상으로 인해 국부적으로 소재가 완전히 채워지지 않거나 표면에 의도하지 않은 그루브가 발생하게 된다. 따라서 목표 형상에 대한 그루브를 갖는 제품의 성형한계를 분석하여 최적의 성형 구간을 파악하는 것이 중요하다.

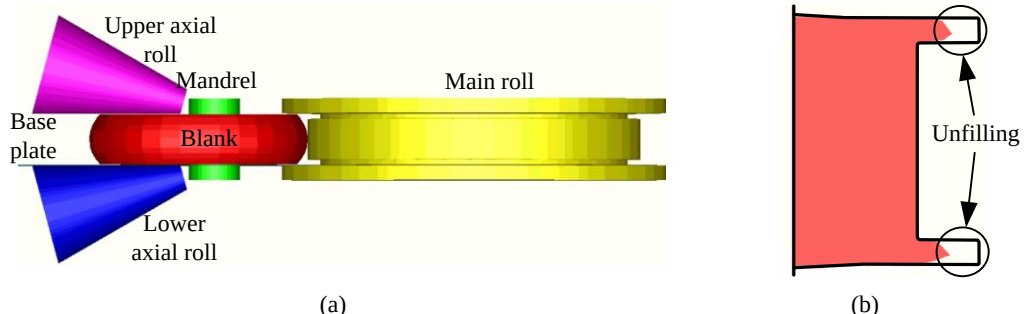


Fig. 1 Schematic diagram of profile ring rolling with outer groove; (a)profile ring rolling process, (b)defects in flanges

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

2. 실험방법

Forge NXT™을 이용하여 해석을 수행하였고, 소재는 SUS304L이 사용되었다. 목표 형상의 폭과 높이는 각각 75mm, 100mm이다. Fig. 2와 같이 치수에 따라 다양한 외곽 그루브 형상의 프로파일 링롤링 공정을 분석하였다. 목표 형상의 각 치수는 메인롤의 프로파일 형상에 따라 변형하게 된다. 그루브의 높이(h)와 깊이(d)에 따른 메인롤 형상을 Fig. 2의 (a)와 (b)에 나타내었다. 해석결과를 통해 h와 d의 성형한계를 파악할 수 있다.

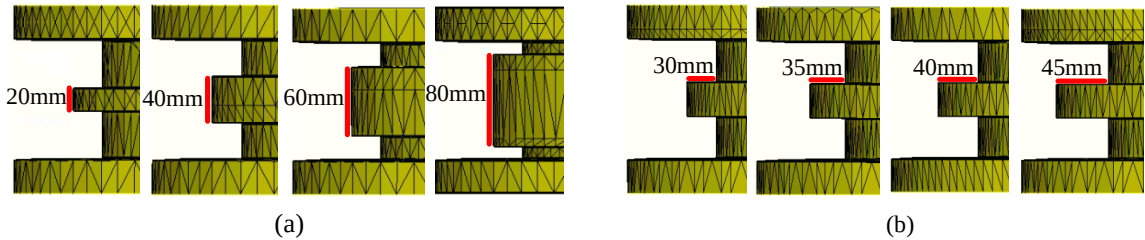


Fig. 2 Dimensions of main roll according to h and d of final shape; (a)main roll shape according to h, (b)main roll shape according to d

3. 결과 및 고찰

메인롤의 여러가지 케이스를 해석한 결과, Fig. 3과 같이 최종 형상의 결함을 발견할 수 있다. h의 경우, 치수가 증가함에 따라 플랜지를 채우지 못하는 unfilling이 발생하며, 80mm는 최종 형상의 단면 폭에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다. d의 경우, 치수가 증가함에 따라 플랜지 표면에 국부적으로 groove가 발생하는 것을 확인할 수 있다. h와 d의 치수 변화를 비교해보면 h의 과도한 치수 증가가 결함에 미치는 영향이 큰 것을 확인하였다.

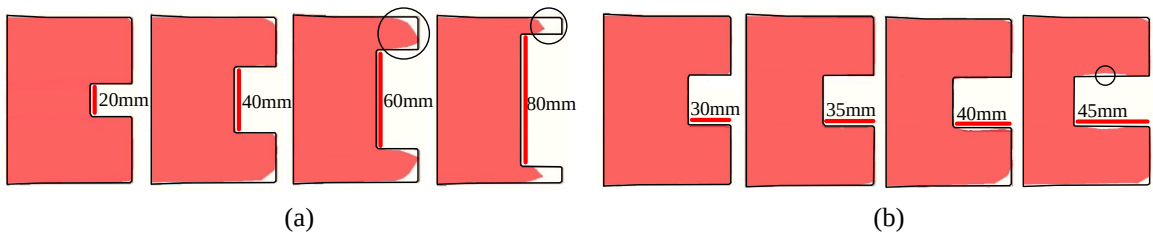


Fig. 3 Final shapes of the blank according to h and d; (a)h, (b)d

4. 결론

본 논문에서는 메인롤의 프로파일 형상에 따라 블랭크의 결함과 성형가능 구간을 분석하였다. 성형성 측면에서 그루브의 깊이는 성형가능 구간이 넓지만 그루브의 높이는 상대적으로 제한적이다. 75mmX100mm의 단면기준으로 높이는 20~40mm가 안정적이며, 깊이는 40mm 이하에서 성형성이 좋지만 공정완료 후 표면가공을 고려한다면 40mm이상의 깊이도 가능하다.

참고문헌

- [1] Z. M. Hu, I. Pillinger, P. Hartley, S. McKenzie, P. J. Spence, 1994, Three-dimensional Finite-element Modelling of Ring Rolling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 45, No. 1~4, pp. 143~148.
- [2] J. B. Hawkyard, W. Johnson, J. Kirkland, E. Appleton, 1973, Analyses for Roll Force and Torque in Ring Rolling, with some Supporting Experiments, Int. J. Mech. Sci., Vol. 15, No. 11, pp. 873~893.
- [3] K. H. Kim, H. G. Suk, M. Y. Huh, 2007, Development of the Profile Ring Rolling Process for Large Slewing Rings of Alloy Steels, J. Mater. Process. Technol., Vol. 187, pp. 730~733.

페탈 형상을 갖는 이중관 액압 성형

한상욱¹ · 문영훈[#]

Double layered tube hydroforming with petal pattern

S. W. Han, Y. H. Moon

Abstract

Double tube heat exchanger, which is a useful device to solve the heat transfer problems between mediums with different temperatures, are widely used for heating, cooling, evaporation and condensation. However, there is a major drawback that the heat transfer efficiency is poor due to the limitation of the contact area between the mediums. This study proposes a double layered tube hydroforming process with petal pattern that can improve heat transfer efficiency compared to conventional double tube heat exchanger. The double layered tube with petal pattern are manufactured by inserting and arranging petal forming bars in the circumferential direction between the outer and inner tubes, and then expanding only the inner tube. The experimental results of 4-petal pattern demonstrate that the proposed double layered tube hydroforming process can be applied sufficiently to the heat exchanger manufacturing field.

Key Words : Double layered tube, Petal pattern, Hydroforming

1. 서론

이중관 열교환기(double tube heat exchanger)는 열교환기의 대표적인 종류 중 하나로써 직경이 큰 외부튜브 내부에 직경이 작은 내부 튜브를 삽입하여, 내부튜브의 공간과 내부튜브와 외부튜브 사이의 환상공간에 상이한 온도를 갖는 유체가 서로 열교환하는 장치이다[1]. 이중관 열교환기는 사용 환경 조건에 따라 소재 변경이 자유로우며 다른 열교환기에 비해 구조가 단순하고 저렴하기 때문에 다양한 산업분야에 널리 적용되고 있다. 하지만, 두 유체간의 접촉 면적 제한으로 인해 내부 유속 및 열전달 효율이 다른 열교환기에 비해 저하되는 문제가 있으며, 열교환 효율을 증대 시키기 위해선 튜브의 길이와 지름을 연장 시켜야 하는 제약이 존재한다[2]. 이에 본 연구에서는 내부튜브의 표면적을 증가시켜 열전달 효율성을 극대화 시킬 수 있는 페탈 형상을 갖는 이중관 액압성형 공정을 제안하였다. 4-페탈 형상 액압 성형 실험을 통해 제안된 공정의 우수성을 본 연구에서 입증하였다.

2. 페탈 형상 이중관 액압 성형 공정

Fig. 1은 페탈 형상을 갖는 이중관 액압 성형 공정에 관한 개략도를 나타내었다. 먼저, 외부튜브와 내부튜브 사이에 원주방향으로 페탈 성형 바를 삽입하여 배열한다. 조립이 완료된 이중관을 금형에 안착시킨 뒤 액압 성형을 수행한 후 페탈 성형 바를 제거하게 되면 다양한 페탈 형상을 갖는 이중관을 제작할 수가 있다. 본 연구에서는 4-페탈 형상을 갖는 이중관 액압 성형에 관한 연구를 수행하였다.

1.부산대학교, 박사과정

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

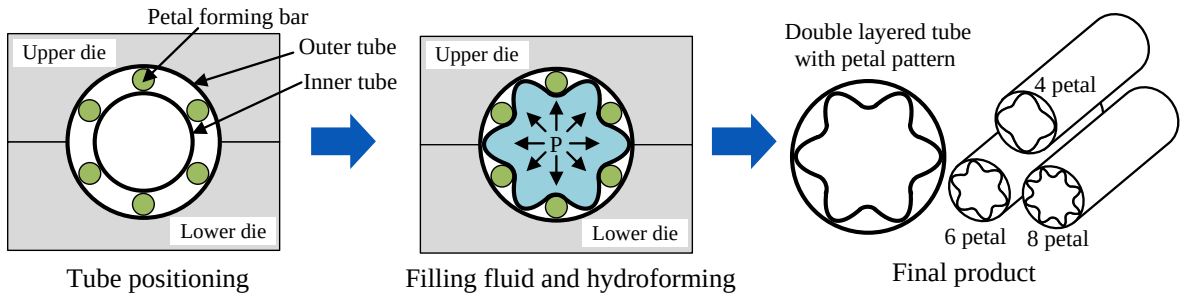


Fig. 1. Schematic illustration of double layered tube hydroforming process with petal pattern

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 액압 성형 이후의 4-페탈 형상을 갖는 이중관의 형상을 보여준다. 이중관의 경우 외부튜브는 금형에 의해 구속되어 있기 때문에 오직 내부튜브만 페탈 성형 바의 표면을 따라 확장된다. 단면특성을 확인하기 위하여 원주방향으로 커팅을 실시하였으며, Fig. 3에 4-페탈 이중관의 단면을 나타내었다. 단면을 통해 알 수 있듯이 4-페탈 형상을 갖는 이중관이 어떠한 결함없이 성공적으로 성형된 것을 확인할 수 있다.



Fig. 2. Final shape after hydroforming



Fig. 3. Cross-sectional profile

4. 결론

기존 이중관 열교환기와는 달리 내부튜브의 표면적을 증가시켜 열전달 효율을 향상시킬 수 있는 페탈 형상을 갖는 이중관 액압성형 공정을 제안하였으며, 4-페탈 형상 이중관의 성공적인 제작을 통해 제안된 공정이 열교환기 산업분야에 충분히 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

후기

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1060010).

참고문헌

- [1] M. Omid, M. Farhadi, M. Jafari, 2017, A comprehensive review on double pipe heat exchangers, Appl. Therm. Eng. Vol. 110, pp. 1075-1090.
- [2] W. Wang, Y. Zhang, K. S. Lee, B. Li, 2019, Optimal design of a double pipe heat exchanger based on the outward helically corrugated tube, Int. J. Heat Mass Transfer Vol. 135, pp. 706-716.

선형 마찰용접 공정의 유한요소해석

김용관¹ · 윤용석¹ · 이경훈[#]

FEM Simulation of the Linear Friction Welding Process

Y. G. Kim, Y. S. Yoon, K. Lee

Abstract

선형 마찰용접(Linear Friction Welding, LFW)은 블록 형태의 두 금속 부품을 접촉시켜 가압하고, 상대적인 선형 움직임을 부과하여 접촉면에 마찰열을 발생시켜 접합하는 기술이다. LFW는 항공기 엔진에서 로터 디스크에 블레이드가 일체화된 Blisk(bladed disk)를 제조하는 데 사용하는 상용기술이며, 주로 Ti-6Al-4V 부품을 조립하거나 예비성형체를 제작 하는데 응용되어 왔다. 최근 LFW의 경제적인 이점 때문에 타 산업분야에서도 관심이 증가하고 있으나, 적용 범위가 좁고 높은 장비 가격으로 인해 LFW 공정을 이해하는 기초적인 연구가 부족한 실정이다. 국내에서도 회전 마찰용접(Rotary Friction Welding)과 마찰 교반 용접(Friction Stir Welding)을 이용한 이종재료 접합 기술에 관한 연구는 활발히 진행중에 있으나 LFW에 대한 연구는 미흡하다.

마찰용접 공정은 접합공정이 빠른 속도로 이루어지고 용접중 재료의 변화를 관찰하기 어렵기 때문에 물리적인 실험만으로 공정에 대한 충분한 정보를 얻기 힘들다. 수치해석은 마찰용접 공정의 급속한 변화 과정에서 무슨 일이 일어나는지 이해할 수 있는 효율적인 방법으로, 소재의 잔류응력, 변형률 속도, 플래쉬(flash) 형상, 온도 분포, 미세조직 변화 등의 분석이 용이하다. LFW에 대한 수치해석 연구는 초기에 하나의 소재만을 고려하여 한쪽면은 고정하고 다른쪽에 선형 진동을 부여하는 방식으로 진행되었으며, 이후 2개의 소재를 고려하여 접합면에서 일어나는 재료의 유동을 예측하거나 미세조직 변화를 예측하려는 시도가 이루어졌다. 또한 LFW를 위한 2차원 모델을 구성하여 공정조건에 따른 영향을 분석하거나 3차원 모델을 구성하여 접합면에서 생성되는 플래쉬(flash)의 유동 특성을 분석하려는 연구가 시도되었다[1~3].

본 연구에서는 일반화된 평면 변형률 조건으로 가정된 2차원 모델과 3차원 모델을 이용하여 사각 블록의 LFW에 대한 수치해석을 수행하였다. 2차원 모델은 공정변수인 진동수, 진폭, 가압력에 따른 용접 특성을 분석하고, 2차원 모델과 3차원 모델의 해석 결과를 비교하여 해석방법에 따른 결과의 차이를 확인하였다. 이러한 연구를 통해 LFW에 대한 수치해석의 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

Key Words : Linear Friction Welding(LFW, 선형 마찰용접), Finite Element Method(FEM, 유한요소법)

1. ㈜ 솔루션랩

교신저자: ㈜ 솔루션랩, E-mail : klee@solution-lab.co.kr

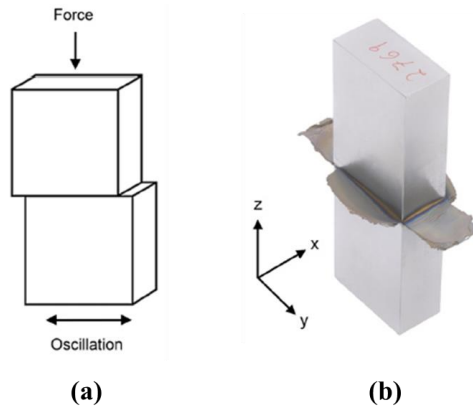


Fig. 1 (a) The linear friction welding process, (b) Ti-6Al-4V weldment showing the expelled interface material (flash) [2]

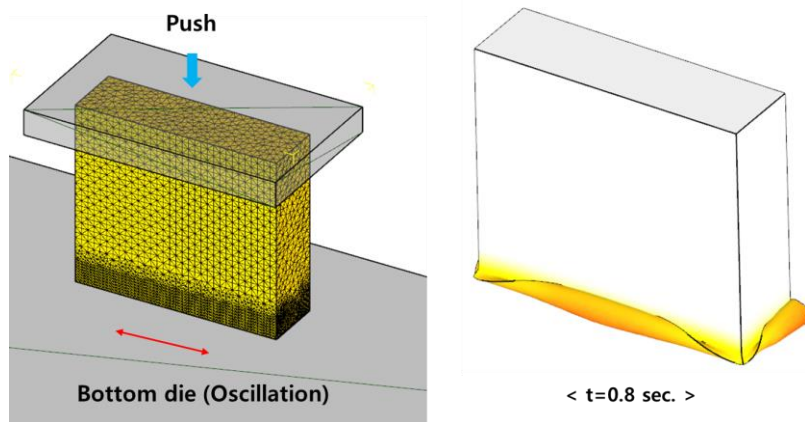


Fig. 2 The FE model of LFW simulation(L) and deformed shape at 0.8 sec.(R)

참고문헌

- [1] W. Li, 2012, Numerical Simulation of Friction Welding Processes Based on ABAQUS Environment, J. of Engineering Science and Technology Review, Vol. 5, No. 3, pp. 10~19
- [2] A. R. McAndrew, 2015, Modelling of the Workpiece Geometry Effects on Ti-6Al-4V Linear Friction Welds, Materials and Design, Vol. 87, 2015, pp. 1087~1099
- [3] G. Buffa, 2015, Experimental and Numerical Analysis of Microstructure Evolution during Linear Friction Welding of Ti6Al4V, Procedia Manufacturing, Vol. 1, 2015, pp. 429~441

5. 일반 논문 발표

(제 1 발표회장)

고엔트로피합금의 냉간 인발 단면감소율이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향 연구

조한솔^{1,3} · 배성준¹ · 나영상¹ · 이광석[#] · 김정한² · 이동근³

A study on the Influence of Reduction Ratio during Cold Drawing Process on the Microstructural Evolution and Subsequent Mechanical Properties of a High Entropy Alloy

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

Abstract

In this study, multi-pass cold-drawing process was performed on $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ high entropy alloy (HEA). Cold-drawn senary HEA wires were fabricated without fracture with a reduction ratio up to 96%. Microstructural evolution and subsequent mechanical properties were analyzed to confirm the effect of reduction ratio induced cold drawing. The distribution of shear strain in the HEA wires deformed through cold-drawing is analyzed using finite element method (FEM) based on 9.75% reduction ratio. From the results of the FEM, it was confirmed that the strain was distributed differently at each position and the validity was verified.

Key Words : High entropy alloy, Cold-drawing, Finite element analysis, Nano-sized grain, Deformation twin

1. 서론

주원소가 5개 이상으로 이뤄진 단상의 고엔트로피합금 (High entropy alloy, HEA)은 특이한 성질을 바탕으로 기존의 합금 대비 우수한 기계적 성능을 가지고있다. 그 중 FCC계 HEA의 경우, 극저온에서 강도와 연성이 모두 우수해지는 특성이 있어 항공, LNG 등에 응용할 수 있을 것으로 기대되고있다. FCC계 HEA 중 대표적인 합금은 CoCrFeMnNi (Cantor alloy)가 있으며 이를 이용한 합금 설계 및 열/변형 유기 미세조직 변화에 대한 연구가 진행중이다. 유한요소해석을 적용한 연구도 있으나 주로 판재 및 빌렛 제조를 위한 압연 및 압축 공정에 대한 연구가 다수이며, 선재 제조를 위한 인발 공정에 대해서는 미

흡한 실정이다.

본 연구에서는 주조시 단상의 FCC 구조를 갖는 $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ HEA를 이용하여 다단 냉간 인발 공정 시 위치별 변형률을 유한요소해석을 통해 예측하였다. 실제로 다양한 직경의 HEA 선재를 제조하여 위치별 변형률이 선재의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 조사하였으며 유한요소해석의 유효성을 검증하였다.

2. 실험방법

2.1 시편 준비

본 연구에서는 주조시 단상의 FCC 구조인 $\text{Co}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_{30}\text{V}_{10}$ HEA를 사용하였다. 균질화처리된 잉고트에서 직경 7 mm의 봉재를 준비하고 직경 4.75 mm까지 공형압연 후, 1200 °C에서 2시간동안 열처리하였다. 열처리가 끝난 봉

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 한밭대학교

3. 순천대학교

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소

E-mail: ksl1784@kims.re.kr

재에 인산염 피막을 도포하고, 단면 감소를 9.75%씩 3 mm/s의 속도로 다단 냉간 인발을 통해 최대 단면 감소율이 96%인 HEA 선재를 제작하였다.

2.2 유한요소해석

상용프로그램인 Forge NxT 3.0을 이용하여 다단 냉간 인발에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 해석 시간 단축을 위해 대칭적 경계 조건을 적용하였고, 자세한 실험 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Test conditions of multi-step cold-drawing

Mesh size	0.2 ~ 0.4 mm
Drawing velocity	3 mm/s
Temperature	Room temperature
Friction coefficient	Coulomb friction 0.05 Constant shear friction 0.1

2.3 특성 평가

단면 감소율에 따른 미세조직 변화를 확인하기 위해 인발 방향에 수직인 면을 전자 후방 산란 회절(Electron backscatter diffraction, EBSD)과 투과 전자 현미경(Transmission electron microscope, TEM)을 이용해 분석하였다.

기계적 특성 조사를 위해 비커스 경도계를 사용하였으며 인발 방향과 수직인 면을 중심부와 표면에 가까운 영역으로 나눠 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1는 유한요소해석 결과로, 각 선재의 위치별 변형률을 표준화한 결과이다. Fig. 1(a)는 유효 변형률을 분포이며 초기 대비 인발 횟수가 증가할수록 유효 변형률이 증가함을 보였으며, 모든 선재가 다이와 직접적으로 맞닿는 표면부에서 더 높은 변형이 발생했다. Fig. 1(b)는 전단 변형률 분포로 초기에는 표면에 상대적으로 높은 전단 변형이 발생했다. 이와 달리 80% 단면 감소율부터는 외부에 압축 전단 변형이 발생하며, 나아가 선재 전반에 걸쳐 압축 전단 변형이 발생했다. 이러한 변형률의 거동에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

Fig. 2는 EBSD IPF(inverse pole figure) map으로 Fig. 3(a)와 같이 초기에는 큰 결정립이 존재했으나 인발에 의해 Fig. 2(b, c)와 같이 나노 결정립

과 변형 쌍정이 유도되며 Fig. 2(d, e)처럼 단면 감소율이 클수록 다수 관찰되었다. 동일한 단면 감소율이어도 Fig. 2(c, e)와 같이 선재 표면부에서 상대적으로 다수 관찰되었다. 또한 Fig. 2(b, d)와 같이 선재 내부에 축대칭 공정으로 인한 $\langle 111 \rangle + \langle 100 \rangle$ 의 이중 방위가 관찰되었다. 이와 달리 외부는 불균일한 변형 및 인발 마찰에 의한 상대적으로 높은 전단 변형률이 무작위한 방위를 형성하는 것으로 판단된다.

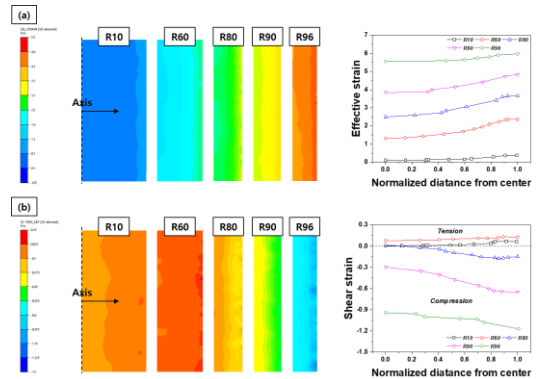


Fig. 1. (a) Effective strain and (b) shear strain distribution obtained by FEM.

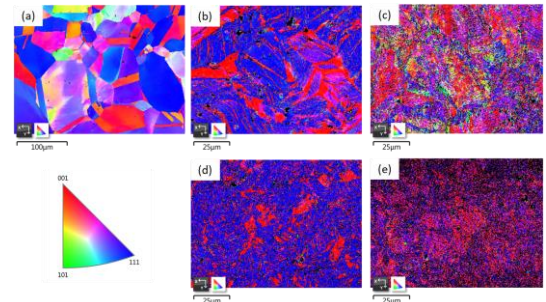


Fig. 2. EBSD results of HEA wires: (a, b, d) center, (c, e) outer, (a) R0, (b, c) R80, (d, e) R96.

Fig. 3는 단면 감소율 80%의 HEA 선재 TEM 분석으로, 나노 결정립과 변형 쌍정이 다수 관찰되었으며 주 변형 쌍정(primary deformation twin) 내부에 미세한 나노 변형 쌍정(secondary deformation twin)들이 관찰되었다. 이러한 변형 쌍정의 회절은 일반적인 SAD(selected area diffraction) 패턴을 띄고있다.

시편의 영역별 비커스 경도 측정 평균값은 Table 2과 같다. 단면 감소율이 증가할수록 평균

경도값은 내부와 외부 모두 증가하였으며, 변형률에 의해 야기된 나노 결정립과 변형 쌍정이 상대적으로 다수 분포하고 있는 표면부의 평균 경도값이 그렇지 않은 내부에 비해 더 높았다. 이로 보아 다단 냉간 인발 공정에 의한 위치별 변형률이 나노 결정립과 변형 쌍정 형성에 기여하고, 나아가 미세조직과 기계적 성질 향상에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 유한요소해석의 유효성을 입증하였다.

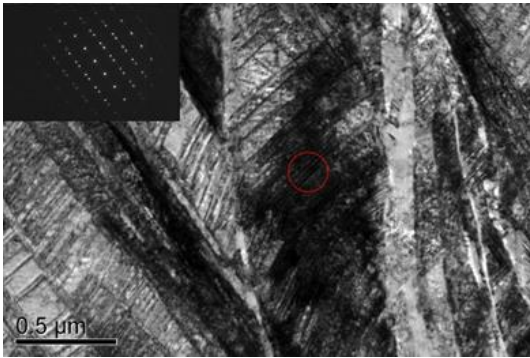


Fig. 3. TEM result of HEA wire subjected to reduction ratio of 80%.

Table 2. Average Vickers hardness values obtained from center part and outer surface of cross-sectioned wire subjected to different reduction ratio.

	0%	60%	80%	90%	96%
Center	223.4	304.3	323.4	335.1	368.8
Outer	254.9	371.5	392.7	416.0	438.2

4. 결 론

다단 냉간 인발을 통해 최대 단면 감소를 96%의 HEA 선재를 제작하고 위치별 변형률이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향에 대해 유한요소해석 및 실제 실험을 통해 알아보았다.

유한요소해석을 통해 냉간 인발을 거칠수록 선재에 전체적인 유효 변형률이 증가하며, 내부보다는 다이와 직접적으로 맞닿는 표면부에 더 크다는 것을 확인하였다. 유효 변형률이 클수록 나노 결정립과 변형 쌍정이 다수 분포하였으며 이를 이용해 HEA 선재의 주된 강화 메커니즘으로 판단되는 나노 결정립과 변형 쌍정의 상대적

인 양을 예측할 수 있을 것으로 기대된다. 전단 변형률은 특정 구간에서 방향이 바뀌는 것을 확인하였다. 이러한 변형 거동이 선재 미세조직에 영향을 미칠 것으로 예상되며 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

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

참고문헌

- [1] D.B. Miracle, O.N. Senkov, 2017, A critical review of high entropy alloy and related concepts, *Acta Mater.*, Vol 122, pp. 448~511.
- [2] G. Laplanche, O. Horst, F. Otto, G. Eggeler, E.P. George, 2015, Microstructural evolution of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy after swaging and annealing, *J. Alloys Compd.*, Vol 647, pp. 548~557.
- [3] H. Park, D.N. Lee, 2002, Effect of shear strain and drawing pass on the texture development in copper wire, *Mater. Sci. Forum*, Vol. 408, pp. 637~642.
- [4] K.R. Narayanan, I. Sridhar, S. Subbiah, 2012, Experimental and numerical investigations of the texture evolution in copper wire drawing, *Appl. Phys. A, Mater. Sci. Process.*, Vol 107, pp. 485~495.

금형 공구강의 고온 물성치가 수명에 끼치는 영향

심문세[#] · 박준표¹ · 김수완²

Influence on Tool Steel high temperature on service life

M. S. SIM, J. P. PARK, S. W. KIM

Abstract

The life time of the mold become decreased due to the stress during the production. . In order to increase lifetime of the mold, Proper design which mold gets less pressure should be made and Resistible raw-materials should be developed. In this study, We plan to develop a mold by investigating an impact from the field. Finally, We found the correlation between material properties and the mold on high temperature and we expect that this research will let the lifetime of the mold improved.

Key Words : Extrusion, Die, Tool Steel, Matrial properties

1. 서론

최근 가장 이슈가 되고 있는 에너지 고효율화, 환경보호 및 자동차 배기가스등을 감축시키고자 자동차 메이커를 중심으로 전기자동차 개발 및 부품 경량화 등을 추진하고 있다. 이에 국내 뿐만 아니라 세계적으로 무게가 가볍고, 고강도, 고강성을 유지 할 수 있는 알루미늄 압출 업계가 각광을 받고 있는 추세 이다. 현재 알루미늄 압출 부품이 많이 들어가는 베타리는 국내 “L”사와”S”사가 세계최고 수준을 점유하고 있으나, 최근 선진 제품 및 일본, 중국 등 제품과의 경쟁에서 품질 및 가격경쟁력을 높여야 하는 상황이다.

이를 위해 ‘압출’공정에서 가장 비용을 많이 차지하고 제품에 영향을 주는 압출 금형에 대한 금형 공구강에 따른 압출효율성 및 내구성 향상, 회수율 향상을 연구하고자 하였다.

2. 실험방법

압출에서의 금형은 외부로부터 상당히 많은 외력을 받는다. 기본 450~490℃의 금형 예열후, 400~420℃의 컨테이너에서의 열 응력, 압출 작업 시 고온에서의 인장 응력, 압축응력, 전단응력 등 고강도, 고강성 소재를 요하고 있다. 그러므로, 고온에서의 공구강 물성치와 현장에서의 압출 생산 후의 금형 공구강 변형량을 측정하여 상관관계를 비교분석 하고자 하였다. 압출 금형으로 자주 쓰이는 공구강 두 개를 Case 1. 과 Case 2.로 비교대상을 정하고, 먼저 고온에서의 물성치를 얻기 위해 각 공구강의 시편을 제조하여 고온에서의(420℃)인장시험을 진행 하여 결과 분석 진행 하였다. 같은 금형설계로 Case 1. 과 Case 2. 의 공구강을 사용 하여 금형을 제작 하고 사내에서 동일한 압출생산량과 동일한 압출조건을 만족시킨 후, 2차원 측정기를 이용하여, 압출 방향으로 서로 다른 지점에 금형 높이를 측정 하였다.

1. 박준표 : 경남금속

2. 김수완 : 경남금속

심문세: 경남금속 , E-mail:msshim@almac.co.kr

3. 결과 및 고찰

구분		시편 NO.	온도	평행부 지름	평행부 단면적	0.2% 항복강도	인장강도	연신율 (G.L.12mm)
			℃	mm	mm^2	Mpa	Mpa	%
금형 공구강	Case 1.	#1	470	6.011	28.378	1005.07	1207.23	23.36
		#2	470	6.007	28.34	1025.59	1228.24	23.37
		평균	470	6.009	28.359	1015.33	1217.73	23.36
	Case 2.	#1	470	6.016	28.425	1057.71	1268.22	20.05
		#2	470	6.02	28.463	1086.56	1299.1	20.54
		평균	470	6.018	28.444	1072.14	1283.66	20.29

Fig. 1 두 공구강의 고온 인장시험 결과

고온(470℃)에서의 시험결과 항복강도와 인장강도는 Case 1. 소재가 7%가량 높게 측정 되었다. 하지만 연신율은 Case 2. 소재가 높은 것으로 나타났다.

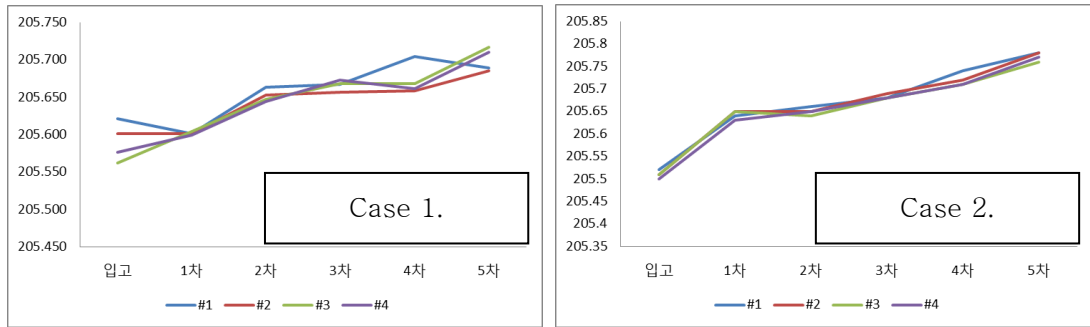


Fig. 2 압출 생산 직후 금형 높이 측정결과

Case 1. 소재와 Case 2. 소재의 압출생산을 총 5차까지 진행하여 금형 변형량을 측정한 결과 항복강도와 인장강도가 낮지만 연신율이 좋은 Case 2.소재가 변형량에 강점을 드러냈다. 하지만, 각 포인트 별 변형 수치가 선형적으로 나타나지가 않다. 즉, 변형량은 낮지만 변형분포가 고르지 않고 뒤틀린 형태로 변형되었다. 두 개의 금형 모두 5번의 압출을 진행 하는 동안 미미한 크랙(인장크랙)만 발생 했을 뿐, 취성크랙이 발생하지 않았기 때문에 투입이 더 가능하다고 판단, 현재 정확한 수명은 판단하기 어렵지만, 실험은 금형이 폐기 될 때까지 진행될 예정이다.

4. 결론

본 연구에서는 각 소재에 따른 고온에서의 소재 물성치와 현장에서의 금형 수명에 끼치는 영향을 비교분석 하였다. 비교분석결과 항복강도와 인장강도는 금형 변형량에 영향을 끼치고, 연신율은 변형 형태에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 금형의 수명은 현재로써는 알 수 없지만, 고온에서의 물성치가 현장에 상당히 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 향후 고온에서의 인장 시험 데이터와 현재 압출조건 등을 기초로 하여, 금형 공구강 개발에 있어 활용할 수 있을 것으로 기대 된다.

참고문헌

6. 특 별 세 셴

타이타늄 응용기술
(제 2 발표회장)

선택적 레이저 용융시 표면 재용융이 티타늄 부품의 표면 거칠기에 미치는 영향

황태우¹ · 문영훈[#]

Effect of remelting on the surface roughness of selective laser melted titanium parts

T. W. Hwang, Y. H. Moon

Abstract

The selective laser melting (SLM) process is a laser manufacturing process for directly fabricating metal parts with full density and geometric degrees of freedom. In this process, the continuous powder layer is completely melted by the laser beam, and this process can produce almost full density parts with properties similar to the mechanical properties of the bulk material. However, insufficient surface quality of produced parts is one of the important limitations of the process. The influence of laser re-melting on the surface quality was studied varying the process parameters such as scan rate, fill-spacing and cross-hatching patterns. The surface roughness of remelted layer improved with an increasing number of remelting times, decreasing fill-spacing and using cross-hatching patterns were rapidly more improved surface qualities.

Key Words : Selective laser melting (SLM), Surface quality, Re-melting, Fill-spacing, Cross-hatching pattern

1. 서론

선택적 레이저 용융(SLM) 공정은 컴퓨터 지원 설계(CAD) 3D 솔리드 모델의 슬라이스 데이터를 이용하여 복잡한 금속 부품, 프로토타입, 기능성 부품에 사용되는 기술 그룹을 나타내는 Additive manufacturing(AM) 공정중 하나이다[1]. SLM 공정은 기존의 가공법보다 많은 장점을 제공하지만 불규칙한 표면 품질은 공정의 주요 단점 중 하나로 나타난다[2]. 표면 품질을 향상시키기 위한 방법으로 SLM 공정 후에 레이저 재용융을 하는 방법이 있다. 본 연구에서는, SLM 공정 후에 재용융이 수행됨에 따라 표면 품질에 영향을 미치는 재용융의 효과를 특성화하기 위해, 다양한 레이저 공정변수인 재 용융 횟수, 스캐닝 속도, 충전 간격 및 해칭 패턴의 방향에 따른 재용융 효과를 분석하였다. 재 용융의 효과를 조사하기 위해 200W의 레이저 출력, 0.06 mm의 분말 도포 두께 및 10~30 bit/s의 주사속도로 실험을 수행하였다.

2. 실험방법

SLM 공정에서, 모재 위에 얇은 분말 층이 도포되고 CAD 슬라이스 데이터에 따라 레이저 빔이 선택적으로 주사된다. 그림 1(a)는 SLM 공정 및 재용융 공정의 모식도를 나타내었다. SLM 공정 수행시 분균일한 층이 형성되지만 재용융 공정을 수행함으로써 표면 거칠기를 개선할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

재용융 공정에 따른 증착된 층의 표면 거칠기를 분석하였다. 그림1.(b)는 SLM 공정을 통한 증착된 층을 나타내었으며, 그림 (c), (d)는 재용융 횟수를 각각 2회, 10회 진행함으로써 재 용융

1. 부산대학교, 박사과정

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

횡수가 증가함에 따라 표면 품질이 향상되었다. 그림 2는 다양한 레이저 주사속도 및 해칭 패턴의 방향에 따른 재 용융 특성을 비교하였다. 모든 경우 증가된 재 용융 횡수, 감소된 주사속도에서 낮은 표면 거칠기가 나타났으며, 크로스 해칭 패턴 방향이 단일 방향의 해칭 패턴 보다 향상된 표면 거칠기가 나타난다.

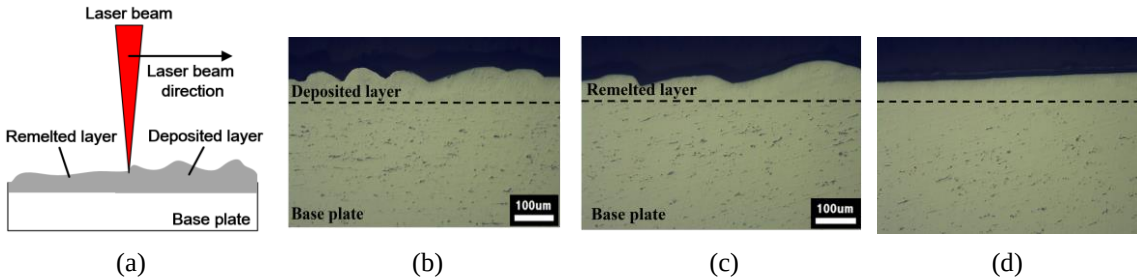


Fig. 1 (a) Schematic drawings of SLM process, and Remelting process; Cross-section of bead shape in SLM and remelting process; (b) SLM surface, (c) after 2 times, (d) after 10 times remelting.

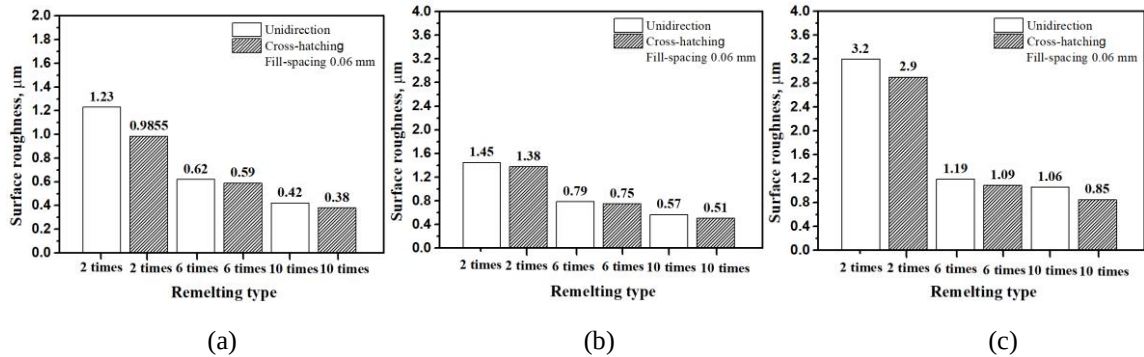


Fig. 3 Compare with unidirection and 90° cross-hatching technique in remelting process; scan rate of (a) 10bit/s, (b) 20bit/s, (c) 30bit/s.

4. 결론

SLM 공정만 수행했을 때 거친 표면이 형성되며 이를 개선하기 위한 방법으로 재용융 공정을 수행함에 따라서 표면 조도를 개선시킬 수 있다. 재용융 공정에서 공정변수인 주사속도, 선간간격 및 주사 패턴에 따라 거칠기의 변화가 다양하게 나타나며, 증가된 재용융 횡수, 감소된 주사속도와 선간간격 및 크로스해칭 패턴을 적용하여 SLM 공정의 문제점 보완 및 우수한 품질의 표면을 얻을 수 있다.

후기

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1060010).

참고문헌

- [1] J.H. Jang, B.D. Joo, C.J. Van Tyne, Y.H. Moon, 2013, Characterization of deposited layer fabricated by direct laser melting process. Met. Mater. Int. Vol. 19, pp. 497-506.
- [2] T.W. Hwang, Y.Y. Woo, S.W. Han, Y.H. Moon, 2018, Functionally graded properties in directed-energy-deposition titanium parts. Opt. Laser Technol. Vol. 105, pp. 80-88.

Electron Beam Melting 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 금속간 화합물의 기계적 특성 향상 방안

김영균¹·윤성준¹·김성웅²·홍재근²·이기안^{1#}

Improvement of mechanical properties of Ti-48Al-2Cr-2Nb intermetallics manufactured by electron beam melting

Y. K. Kim¹, S. J. Youn¹, S. W. Kim², J. Hong², K. A. Lee^{1#}

Abstract

본 연구에서는 electron beam melting (EBM) 공정을 이용하여 Ti-48Al-2Cr-2Nb (Ti4822) 금속간 화합물을 제조하고 이에 대한 고온 압축 및 크립 특성에 대하여 조사하였다. 초기 미세조직 관찰 결과 EBM-built Ti4822는 빠른 냉각 속도로 인해 near gamma (NG) structure를 가지는 것으로 나타났다. 반면 비교재인 conventional Ti4822는 느린 냉각 속도에 의해 fully lamellar (FL) structure를 보였다. 온도 별 압축 시험 결과 모든 온도 조건에서 NG structure를 가지는 EBM-built Ti4822가 conventional Ti4822 보다 열등한 기계적 특성을 보였다. 즉, 뛰어난 기계적 특성을 가지는 일반적인 AM-processed metals와는 반대의 경향성을 나타냈다. 한편 750 °C에서의 고온 크립 시험 결과 EBM-built Ti4822가 고온 압축에서와 동일하게 열등한 고온 크립 저항성을 가지는 것으로 확인되었다. 이러한 원인은 NG structure가 FL structure와 비교하여 강도가 낮기 때문으로 이해해볼 수 있었다. 따라서 2단계 열처리를 이용하여 강도를 향상시킬 수 있는 lamellar structure를 제어함과 동시에 금속간 화합물에서 문제가 되는 연성을 확보하고자 하였다. 2단계 열처리된 EBM-built Ti4822의 미세조직 관찰 결과 lamellar structure와 equiaxed gamma grain이 동시에 존재하는 것으로 확인되었다. 온도 별 기계적 특성은 as-built sample과 비교하여 향상되었으며 상온 연성 역시 준수한 수준으로 나타났다. 이와 함께 고온 크립 저항성이 크게 개선되는 특징을 보였다. 상기 결과들을 기반으로 EBM-built Ti4822의 미세조직, 기계적 특성, 그리고 변형 거동의 상관 관계와 그 개선 방안에 대하여 토의하였다. [This study was supported by the Fundamental Research Program of the Korea Institute of Materials Science (Grant No. PNK5520)]

Key Words : Electron beam melting, Ti-48Al-2Cr-2Nb, microstructure, mechanical properties, creep resistance

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 재료연구소

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

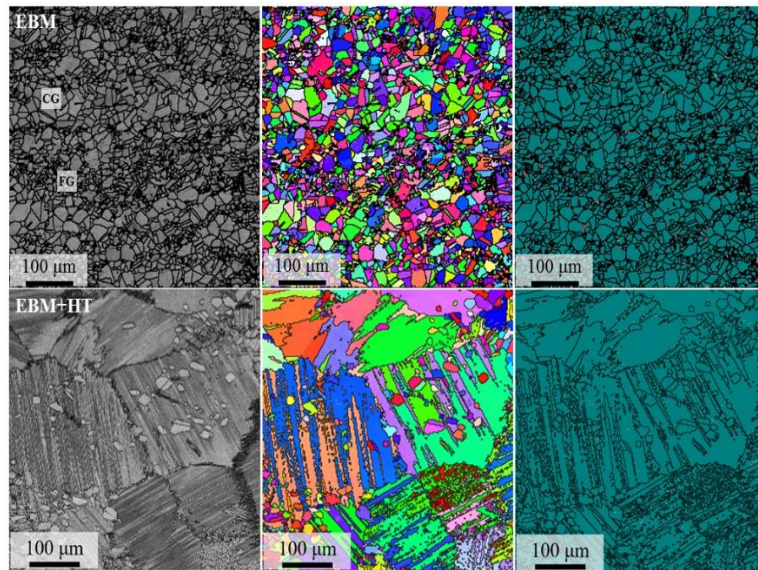


Fig. 1 Initial microstructures; (a) electron beam melted Ti-48Al-2Cr-2Nb and (b) heat-treated Ti-48Al-2Cr-2Nb.

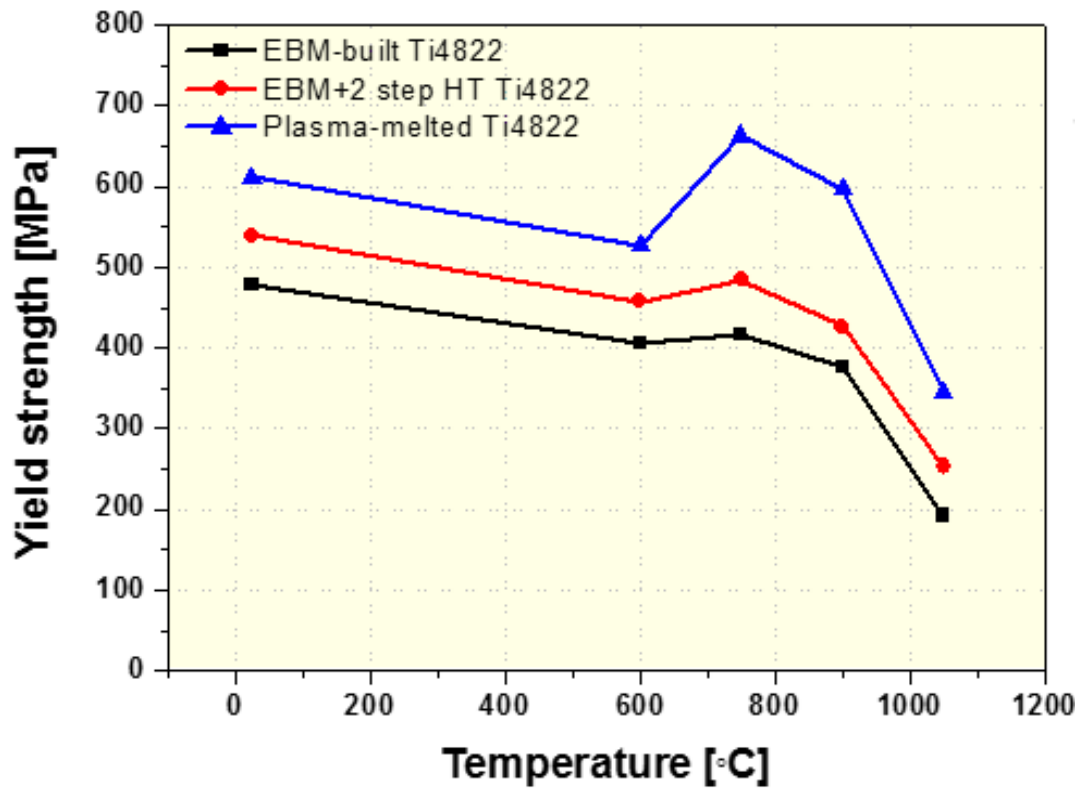


Fig. 2 Yield strengths at various temperatures

Hollow Billet Ingot을 이용한 타이타늄 심리스튜브재의 공정별 미세조직 및 기계적 특성 분석

윤창석¹ · 조평석¹ · 김새봄¹ · 이형욱² · 배성환³ · 이동근[#]

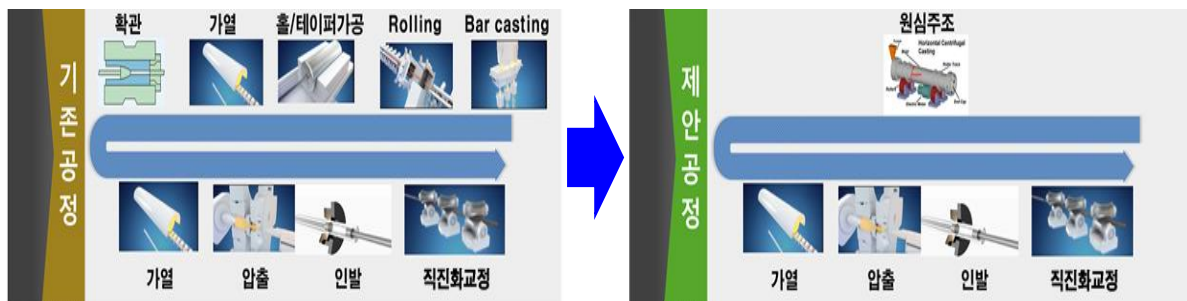
Analysis of microstructure and mechanical properties by process condition of titanium seamless tube using hollow billet ingot

C. S. Youn, P. S. Jo, S. B. Kim, H. W. Lee, S. H. Bae, D-G. Lee

Abstract

타이타늄 및 타이타늄 합금은 내열성 및 내식성이 우수하고 비강도가 월등히 높아 해양 플랜트 및 해수담수설비 등 주력 산업용 소재로 사용되고 있으며, 그 외에도 여러 분야에서 사용되고 있다. 타이타늄 튜브 제조 시에 기존 일련의 공정에서는 드릴링 및 확관을 하면서 소재 손실이 많이 발생하게 된다. 그에 따라 중간 공정을 일부 생략하고 단순화된 복합성형기술을 개발하여 공정비용을 절감하고 재료회수율을 극대화할 수 있는 기술이 부각되고 있다. 본 연구에서는 타이타늄 소재를 사용하여 원심주조를 통해 중공빌렛주조재를 제조하였고, 이를 압출 및 인발하여 타이타늄 심리스튜브를 제조하였다. 각각의 공정에서 미세조직학적 특징과 상온 기계적 특성의 상관관계 분석을 통해 요구되는 성능을 확보할 수 있는 효율적인 무게목관 제조공정을 위한 기초 기술을 습득하고 한다.

Key Words : Titanium hollow ingot, Centrifugal casting, Extrusion, Drawing



1. 순천대학교 신소재공학과

2. ㈜피디텍

3. ㈜선우엔지니어링

교신저자: 순천대학교 신소재공학과, E-mail:leechodg@scnu.ac.kr

다층의 미세 구조 및 기계적 특성 직접 에너지 증착에 의해 생성된 Ti-6Al-4V, 바나듐 및 17- 4PH 스테인리스 강으로 구성된 재료

Nana Kwabena Adomako · 김정한*

Microstructure and mechanical properties of a multi-layered material composed of Ti-6Al-4V, vanadium, and 17-4PH stainless steel produced by direct energy deposition

Nana Kwabena Adomako, Jeoung Han Kim*

Abstract

Additive manufacturing (AM) is the process which computer aided design (CAD) data is used to produce a 3-D near-net shape parts by additively fusing one layer of raw material over the previously fused layers. It has attracted great attention worldwide in the last few years due to its ability to produce complex-shaped, functional grade or customized parts that can be used widely in various industries such as energy, aerospace, medicine and automobile. The manufacturing of products typically involves joining multiple or dissimilar components due to functional needs and technological limitations. A variety of joining techniques including brazing, welding, and soldering have been utilized in the joining of dissimilar metal parts but however, the metallurgical characteristics of these traditional welding processes can result in increased number of precipitates, intermetallic, and distortion of the weld interface that are detrimental to joints properties. AM techniques, which involves using a high energy-density beam such as lasers or an electron beam, can be used to achieve a high quality joints among dissimilar metals due to the several advantages including precision, narrow fusion and heat affected zones. Vanadium is often used as an interlayer in joining titanium and stainless steel due to the inevitability to directly butt weld both metals. It forms a continuous solid solution in all temperature ranges with Ti and shows large regions of continuous solid solutions with Fe at elevated temperatures (above 1219 °C) and a metastable sigma phase (σ -phase), existing in the temperature ranges of 400–1219 °C at a composition of 19-78 wt. %. This makes the direct joining of Fe and V alloys to be restricted sometimes by σ -phase.

The objective of this article is to investigate the mechanical and metallographic properties of the bonded joints produce by additive manufacturing of 17-4PH stainless steel on Ti-6Al-4V using pure vanadium interlayer with special focus on the effect of laser power variation. It also aims to find the effect of post weld heat treatment of the bonded metals on the tensile properties.

The joint, formed by the laser metal deposition of V, followed by 17-4PH stainless steel Ti-6Al-4V has been investigated. The microstructure and mechanical properties of the joint was compared to similar reported Ti-6Al-4V//V//17-4PH stainless steel joint, processed with alternate joining technique such as welding. A defect-free joint interface with an unprecedented high tensile strength of 574 MPa was achieved after the laser metal deposition process. This ultimate tensile strength was greater than that of the pure V interlayer and most similar joints, formed by welding. The narrow fusion zone (FZ), negligible HAZ and the presence of the compositional graded V-Fe with low V concentration in the V//17-4PH FZ, coupled with the smaller grain size influenced the higher bonding strength achieved

1. Nana Kwabena Adomako 한발대

교신지자: 한발대, jh.kim@hanbat.ac.kr

by most additive manufactured Ti-6Al-4V/V/stainless steel joint as compared to welding. In comparing the present joint with similar additive manufactured joint from previous work in which the V interlayer was diffusion bonded to the Ti-6Al-4V, the presence of the functionally graded Ti-V interlayer exhibited a higher strength which formed strong bonds with the 17-4PH stainless steel and contributed to the very high tensile strength.

Key Words : additive manufacturing; bonding strength; interlocks; functional graded interlayer.

Ti6Al4V 판재의 열간성형 및 초소성성형 공정 비교

권용남¹ · 김민건¹ · 김대용¹ · 이진우¹ · 석무영¹

Hot forming and superplastic forming of Ti6Al4V sheet

Y.-N. Kwon, M. K. Kim, D. Y. Kim, J. W. Lee and M. Y. Seok

Abstract

Ti 합금 판재는 상온 성형성이 매우 낮기 때문에 주로 고온성형을 통해 부품을 제작하고 있다. 타이타늄 합금 판재를 이용한 자유 곡면 제작 기술로 고온성형(hot forming)과, 초소성 성형기술(superplastic forming)이 대표적인 판재성형기술이다. 초소성 성형법은 고온성형법에 비해 상대적으로 복잡 형상 제작 용이하나 제작비 높고 부분적 두께 감소율 높은 특징을 가진다. 또한, 성형품 형상이 복잡하고 변형량이 클수록 생산 시간 증가하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 시제품 제작을 통해 고온성형과 초소성 성형법의 성형정밀도를 비롯하여 성형결과를 비교하여 공정의 장단점을 확인하고자 수행하였다.

Key Words: hot forming, superplastic forming, Ti alloy sheet

1. 재료연구소

권용남: 재료연구소, E-mail:kyn1740@kims.re.kr

외경 70 mm 이하급 타이타늄 심리스 튜브 제조를 위한 압출공정 연구

배성환 · 최선묵 · 오상호[#]

A study on extrusion process for manufacturing of titanium seamless tube below 70 mm outer diameter

S. H. Bae, S. M. Choi, S. H. Oh

Abstract

Titanium(Ti) alloys have received much attention to date for their high specific strength, corrosion and erosion resistance globally. However, the tube is not produced domestically and has depended entirely on imports. The aim of this study focuses on the development of an optimal extrusion process technology that can produce seamless tube below 70 mm outer diameter by using a grade 2 titanium alloy. First, a 150 mm diameter and 300 mm high billet manufactured by centrifugal casting technology was applied to the seamless tube extrusion process of the double-acting system developed in the previous study. As a result, the titanium seamless tube without surface defects having a diameter of 80 mm and a thickness of 4 mm was successfully manufactured by double-acting extrusion process. Furthermore, in this study, the significant parameters such as entrance angle of dies, billet temperature and ram velocity during the extrusion process are investigated and considered. The aim of this study is to localize the manufacturing technology of Ti seamless tube and provides a foundation for manufacturing the seamless tube.

Key Words : Titanium alloy, Grade 2, Seamless tube, Double-acting system, Extrusion process

1. ㈜선우엔지니어링, 선임연구원
교신저자: ㈜선우엔지니어링, 소장, sunwooRND@daum.net

7. 일반 논문 발표

(제 2 발표회장)

항력 감소를 위한 계층적 구조를 갖는 초소수성 표면 패턴 최적화 연구

유광재¹ · 문인용¹ · 오영석¹ · 이호원¹ · 김세종¹ · 문영훈² · 강성훈[#]

Optimization of Hierarchical Patterns with Superhydrophobicity for Drag Reduction Effect

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

Abstract

최근 들어 대형 선박, 잠수함, 어뢰 등과 같이 물과 상대 운동이 일어나는 설비 표면에 초소수성 표면을 적용하여 항력 감소를 유도하는 것에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초소수성 표면은 물과의 접촉각이 150° 이상이며 10° 이하의 접촉각 이력을 갖는 표면으로 정의된다. 이러한 초소수성 특성은 고체 표면의 물리적 거칠기, 혹은 재료 고유의 낮은 표면에너지에 의해 발현된다. 마이크로-나노 패턴을 가지는 초소수성 표면이 물 내부에 위치하고 있을 때 물에 의한 젖음 상태가 Cassie-Baxter 상태인 경우, 표면에 얇은 공기층이 형성되게 되며 그 결과 고체-공기-물의 2중 경계면이 형성된다. 이에 따라 물 내부에서 고체 표면의 상대운동으로 인해 물과의 마찰이 발생할 경우, 표면이 물과 직접 접촉하지 않고 기체와 접촉된 상태로 슬립이 발생하게 되며, 이에 따라 일반 표면의 경우에 비해 낮은 항력이 발생된다. 하지만 초소수성 표면에 형성된 공기층은 격렬한 수중환경에서 매우 불안정해지며 파괴되기 쉽다. 이에 따라 초소수성 표면을 항력 감소에 활용하기 위해서는 표면에 형성된 공기층이 안정적으로 유지될 수 있도록 하기 위한 연구가 필수적으로 선행되어야 한다. 본 연구에서는 고온 전사를 통해 다양한 피치와 깊이를 갖는 계층적 구조의 초소수성 PTFE(Polytetrafluoroethylene) 표면을 제작하였으며, 물 유동 채널 및 정수압 장치를 이용하여 다양한 유속과 정수압 상태에서의 공기층 유지 능력을 평가하였다. 그 결과 공기층 유지력 및 마찰 항력 감소를 위한 최적의 초소수성 표면 패턴 형상을 제안할 수 있었다.

Key Words : PTFE, Superhydrophobic surface, Hierarchical pattern, Air layer, Drag reduction

1. 재료연구소

2. 부산대학교

교신저자: 재료연구소, E-mail:kangsh@kims.re.kr

복합소재를 적용한 사이드 실 두께 최적화 해석

김동권^{1#} · 안민수¹ · 서종덕¹ · 이승찬²

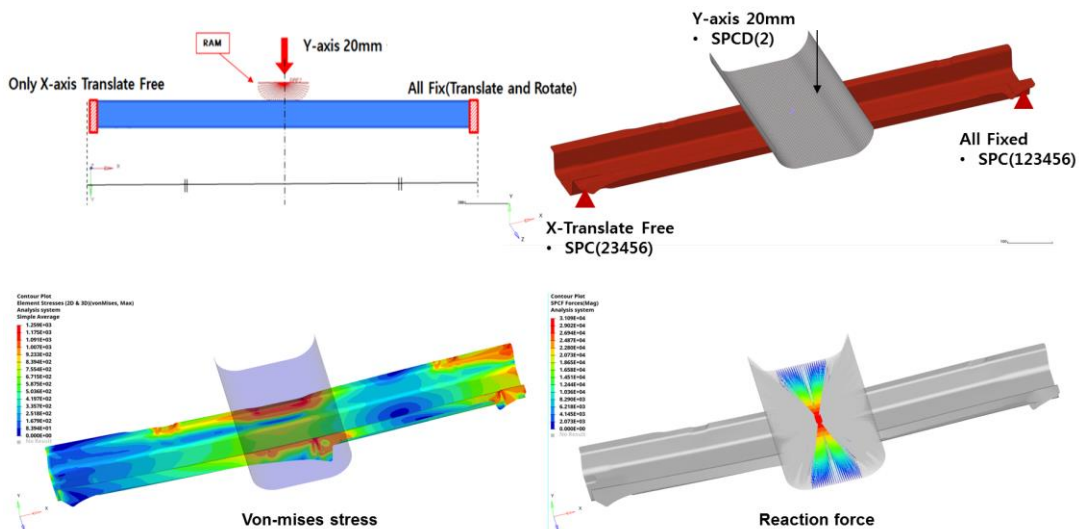
Thickness optimization analysis of side sill with composite materials

D. G. Kim, M. S. Ahn, J. D. Seo, S. C. Lee

Abstract

자동차 시장은 기후 및 환경문제 해결을 위하여 내연기관 자동차에서 하이브리드 자동차, 전기자동차 등의 친환경 자동차로 변화하고 있다. 또한, 연비 향상을 위하여 종래에 사용되어온 스틸 기반의 차체 부품에서 알루미늄, 마그네슘의 경량 비철금속으로 치환하고 있다. 최근에는 항공분야에서 사용되어온 복합소재를 차체 부품 제작에 적용함에 따라 차체 경량화 및 안전성은 더욱 향상되었다. 이에 본 연구에서는 차체 부품인 사이드 실을 대상으로 1,180 MPa급의 스틸소재를 복합소재로 치환하기 위하여 두께 최적화 해석을 진행하였다.

Key Words : Carbon Fiber, Composite Materials, Thickness Optimization, Thermoplastic, Side Sill



후기

이 논문은 산업통상자원부가 지원한 ‘산업핵심기술개발사업’으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명: 수송기기용 복합소재양산 적용을 위한 급성독성등급 3이하 다목적 에폭시 시스템 및 공정개발 / 과제고유번호: 10082579]

1. ㈜신영
2. C2ES Korea
교신저자: ㈜신영, E-mail: dgkim1@shym.co.kr

탄소복합재를 적용한 차체 부품의 두께 최적화에 관한 연구

안민수^{1#} · 김동권¹ · 서종덕¹ · 이승찬²

A study on thickness optimization for Car-body parts applying carbon composite

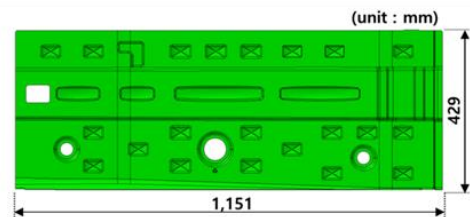
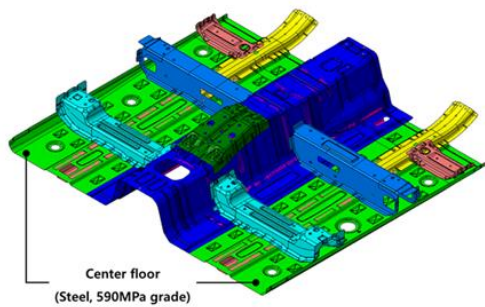
M. S. Ahn, D. G. Kim, J. D. Seo, S.C.Lee

Abstract

최근 자동차 산업에서는 지구 온난화 및 산업 패러다임의 변화에 따른 에너지 절감을 위한 자동차의 초경량, 고강도의 복합재 부품에 대한 사용 요구가 급격히 증가하고 있다. 선진업체에서는 탄소섬유복합재 적용을 통하여 차체를 강철 대비 60%, 알루미늄 대비 40%로 차체 경량화를 시켰다. 이로 인하여 복합재를 차체 부품으로 적용하기 위해 복합소재 및 성형 공법 관련하여 연구가 활발히 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 차체 부품인 센터 플로어(Center Floor)를 스틸(590MPa급) 소재에서 복합재로 대체하기 위한 선행 연구를 진행하였다. 기존 부품 대비 동등 수준의 비틀림 강성(Torsion stiffness) 값을 가지면서 부품 경량화를 할 수 있도록 형상 및 두께 최적화 해석을 통하여 복합재의 최종 두께를 도출하고자 한다.

Key Words : Center floor(센터 플로어), Carbon composite(탄소 복합재), Torsion stiffness(비틀림 강성)



후기

이 논문은 산업통상자원부가 지원한 ‘산업핵심기술개발사업’으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명: 수송기기용 복합소재양산 적용을 위한 급성독성등급 3이하 다목적 에폭시 시스템 및 공정개발 / 과제고유번호: 10082579]

1. (주)신영

2. 씨투이에스코리아

교신저자: ㈜신영, E-mail: msahn@shym.co.kr

8. 일반 논문 발표

(제 2 발표회장)

전자기력을 이용한 관재-판재 고속 체결 기술

박현일^{1,2}, 이진우¹, 이영선¹, 김지훈², 김대용^{1#}

High Speed Joining Technology between Tubular and Sheet Components using Lorentz Force

Hyeonil Park, Jinwoo Lee, Youngseon Lee, Ji Hoon Kim, Daeyong Kim

Abstract

유도 코일(conductive coil)이 연결되어있는 공진 회로(resonance circuit)에 마이크로 초 미만의 짧은 시간 동안 감쇠하는 고밀도의 전류를 인가 시키면, 코일 주변에 형성되는 자속(magnetic flux)과 소재에 유도되는 와전류(Eddy current)의 외적 방향으로 전자기력(Lorentz force)이 발생한다. 본 연구에서는 이를 이용한 관재와 판재 사이의 고속 체결 기술을 제안하였고, 손상 부위를 부분적으로 교체할 수 있는 조립식 와선 형 비터 코일(helical Bitter coil)을 채택하여, 3.0 mm 두께의 알루미늄 합금 7075-T6 판재와 3.0 mm 두께의 알루미늄 합금 6063-O 관재 간 기계적 체결을 수행하였다. 판재 중앙에 판재가 들어갈 수 있는 크기의 구멍을 선 가공하여 판재를 끼워 넣고, 코일을 판재 안쪽에 위치시켜 전류를 인가하면, 전자기력에 의해 판재가 반지름 방향(radial direction)으로 팽창함으로써 기계적 체결이 이루어진다. 실험 중 인가 전류의 밀도는 충전 전압으로 제어되며, 5.7, 7.5, 9.2 및 11.1 kV의 충전 전압 조건들이 사용되었다. 관재와 판재 사이의 체결-분리 실험(pull-out test)을 수행하여, 9.2 와 11.1 kV의 충전 전압 조건 들에서 관재의 항복강도보다 높은 체결 강도를 달성 하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 체결 거동을 보다 자세히 분석하기 위해 전자기-변형이 연계된 다 물리 해석(multi-physics simulation)을 수행하였고, 그 결과 체결의 주요한 구속(constraint) 메커니즘으로 (1) 관재의 팽창에 의한 기하학적 구속, (2) 관재와 판재 사이의 탄성 회복 량 차이로 발생하는 잔류 응력에 의한 구속, 그리고 (3) 고속 충돌 시 강도가 높은 판재가 관재를 파고드는 압입 현상에 의한 구속이 확인 되었다.

Key Words : Lorentz force (전자기력), Tube expansion (확관), Mechanical joining (기계적 체결), Helical Bitter coil (와선 형 비터 코일), Multi-physics simulation (다 물리 해석)

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 부산대학교 기계공학부

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

이중 판재의 가변 롤 성형에서의 형상결함 분석

우영윤¹ · 문영훈[#]

Shape defects during flexible roll forming for double-layered blank

Y. Y. Woo and Y. H. Moon

Abstract

Flexible roll forming is an advanced sheet metal forming process and allows the production of parts with variable cross-sections using rotating forming rolls. Usually, single layer blank was used in the flexible roll forming process, but double-layered blanks can have enhanced properties such as a high corrosion resistivity, high stiffness to weight ratio when combined with suitable materials. However, in the flexible roll forming process of double-layered blanks, additional shape defects and interface delamination can occur owing to their inhomogeneous mechanical properties compared with those of single-layer blanks. To investigate the shape defects of double-layered blank in the flexible roll forming process, double-layered blanks with different stacking order were made of steel and aluminum single blank using a commercial adhesive and the experiment of flexible roll forming for steel/aluminum double-layered blanks was performed by using lab-scale flexible roll forming machine. Experimental results of web-warping, wrinkling were discussed according to stacking order.

Key Words : Double-layered blank, Flexible roll forming, Web warping, Longitudinal bow, Wrinkling, Edge wave

1. 서론

가변 롤 성형(flexible roll forming) 공정은 판재를 이송시켜 회전 및 폭방향 이송이 가능한 연속적인 성형롤에 통과시켜 점진적인 굽힘을 통하여 원하는 가변의 단면 형상을 얻는 판재성형 기술이다. 기존 가변 롤 성형 공정 연구는 고강도강의 단일 판재에 대한 연구가 집중되어 왔다 [1]. 가변 롤 성형 공정에서 서로 다른 금속 및 비금속 소재를 접합시킨 이중 판재(double-layered blank)를 이용하면 제품의 비강도, 내마모, 열전도, 감쇠능(damping capability)과 같은 성능을 판재 조합에 따라 향상시킬 수 있다. 하지만 이중 판재의 경우 재료의 불 연속성으로 인하여 기존의 단일 판재에 비하여 추가적인 형상결함이 발생할 수 있다[2]. 본 연구에서는 탄소강과 알루미늄 블랭크를 이용하여 이중 판재를 제작하고 적층순서에 따라 가변 롤 성형 실험을 수행하여 가변 롤 성형 공정에서의 이중 판재의 형상결함을 분석하였다.

2. 실험방법

이중 판재는 상용 접착제인 CEMEDINE Y-358을 이용하여 각각 0.5 mm 두께의 SPCC 탄소강과 AI5052 알루미늄 판재를 적층 순서에 따라 Fig.1과 같이 제작하였다. SPCC와 AI5052소재 각각의 기계적 물성치는 항복강도 172, 135 MPa, 인장강도 401, 241 MPa, 연신을 32.1, 13.5 % 이다. 실험은 랩-스케일(lab-scale) 가변 롤 성형 장비로 진행되었으며, 30° 굽힘각을 가지는 1단 스탠드가 이용되었다.

1. 부산대학교 기계공학부

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

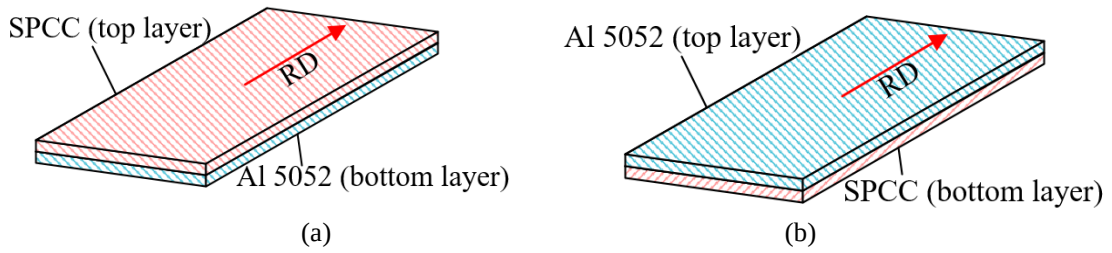


Fig.1 Double-layered blanks with different stacking orders: (a) type A, (b) type B; RD is rolling direction

3. 결과 및 고찰

이중 판재의 적층순서에 따른 길이방향 휨(warping) 및 에지부 주름(wrinkling)의 비교를 위하여 Fig.2에 길이방향 휨 높이와 에지부 주름 높이를 측정하여 나타냈다. Type A 이중 판재의 경우 type B 보다 길이방향 휨 높이는 증가하였고, 주름 높이는 감소하였다. Type B 볼록형 이중 판재의 경우에는 과도한 주름 발생으로 인하여 접합부에 박리(delamination)현상이 관찰되었다.

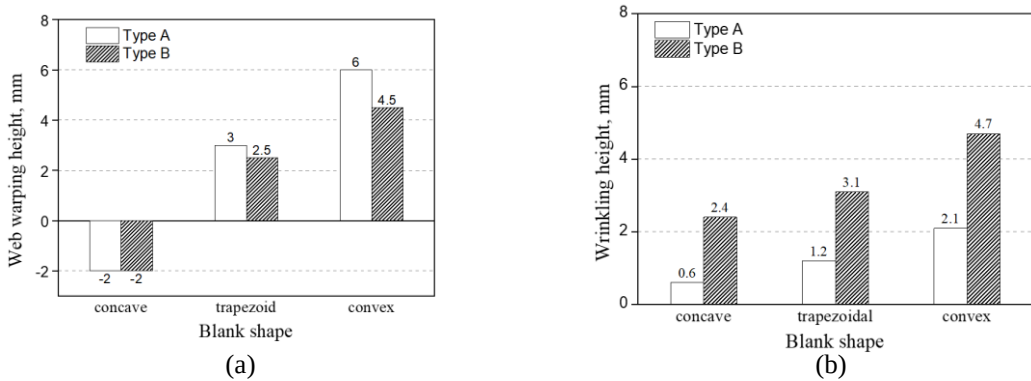


Fig.2 Experimental result with different stacking order; (a) web warping height, (b) wrinkling height

4. 결론

본 연구에서는 적층 순서에 따른 이중 판재의 가변 롤 성형공정에 나타나는 형상 결함을 실험적으로 분석하였다. 길이방향 휨 및 에지부 주름은 적층 순서에 따라 길이방향 휨 및 에지부 주름이 다르게 나타났다. 이중 판재의 상부 레이어가 하부 레이어보다 강도가 높은 경우 길이방향 휨은 증가하고, 강도가 낮은 경우 길이방향 휨은 감소하고, 에지부 주름은 증가하였다.

후기

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A3B03931174)

참고문헌

- [1] Y. Y. Woo, S. W. Han, T. W. Hwang, J. Y. Park, Y. H. Moon, 2018, Characterization of the longitudinal bow during flexible roll forming of steel sheets. J. Mater. Process. Technol., Vol. 252, pp. 782-794.
- [2] G. T. Halmos, 2005, Roll forming handbook. CRC Press, New York

Yoshida-Uemori 모델을 활용한 Al 7075 w-temper 공정의 스프링백 예측

정선호^{1,2} · 김용배¹ · 박지영¹ · 최선용¹ · 정철영³ · 이종섭[#]

Springback prediction in w-temper forming of Al 7075 using Yoshida-Uemori model

SeonHo Jung^{1,2}, Y. B. Kim¹, J. Park¹, S. Choi¹, C. Y. Jung³, J. Lee[#]

Abstract

Recently, Al7xxx alloys are widely used not only automotive industry but also aerospace industry. Al7xxx alloys have excellent specific strength and crashworthiness as well as good performance at corrosion resistance. However, the application of formed Al7xxx alloys are restricted due to the low formability at room temperature, large springback and lack of knowledge for processing aluminum alloy at temperatures. With the purpose of overcome this issue to expand the range of their application, several new forming methods that may be used in place of the cold forming process have been studied. One of them is w-temper forming, with was developed to achieve high formability and small springback in Al7xxx alloys than that attained in cold forming. However, when the Al7xxx alloys in w-temper forming is exposed to room temperature during transport and storage, the mechanical properties of these alloys are affected by aging behavior. In the present research, the effect of mechanical properties on the natural aging(NA) of Al7075-T6 alloy during the w-temper forming process has been investigated. In order to simulate the w-temper forming process, samples were used to tensile test, tensile-compression test and loading-unloading test according to NA time after solution treatment. And based on the test results, coefficients required for Yoshida-Uemori model have been determined. Additionally, U-draw bending experiments were performed under NA time. And the finite element(FE) simulation is used to compare springback values implemented in FE simulation with experimentally recorded values to compare aging behavior. The results indicated that NA time in Al7075-T6 alloy affected tensile property and springback. Also, the results obtained by FE simulation compared with springback of U-draw bending are found in good agreement.

Key Words : Al7075 alloy, W-temper forming, Yoshida-Uemori model, U-draw bending, Springback, Natural aging

1. 한국생산기술 연구원 성형기술그룹

2. 인한대학교 기계공학과

3. (주)대우공업 기술연구소

교신저자: 한국생산기술 연구원 성형기술그룹, E-mail: jongsup@kitech.re.kr

마그네슘 합금 판재의 온간 성형에서 금형 내 소재 유지 시간에 따른 변형 특성 분석

유제형¹ · 윤형원¹ · 이창환[#]

Analysis of Deformation Characteristics According to Material Holding Time in die in Wa rm Forming of Magnesium Al loy Sheet

J. H . Yu , H . W. Yo u n, C . W . Lee

Abstract

In this study, the characteristics of spring back behavior were investigated as the plastic deformation and the holding time of the material in the die were increased by using a magnesium alloy sheet during warm bending. The experiment was conducted at room temperature, 100 ° C, 150 ° C, 200 ° C , and 250 ° C at the forming temperature. Spring back was defined as the difference between the angle measured at the bottom dead center after forming and the angle at the top dead center after the holding time of the material in the die. At room temperature, spring back was measured at 28.11 for a holding time of 0 seconds and 24.99 for 1000 seconds. also, the spring back at 250 was measured as 11.46 when the holding time of the material in the die 0 seconds, 1.12 ° when 1000 seconds. These results indicate that the creep recovery of the magnesium alloy sheet occurs as the holding time of the material in the die increases during warm forming. To analyze the effect of creep recovery rate on spring back during V bending, experiments were performed with different punch radii R (1, 2, 4, 6 mm). In addition, microstructure observation was performed to analyze the results more accurately.

Key Words : Warm Forming , Spring back , Time dependent, Magnesium Alloy sheet(AZ31B)AZ31B), Punch radius

1. 서울과학기술대학교 일반대학원 기계디자인금형공학과
2. 교신저자 : 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, E-mail: cwlee@seoultech.ac.kr

DP590 및 SUS304 판재 시편 내 r-값과 삼축성 결정에 대한 고찰

F. Rickhey¹, 홍석무^{1#}

Investigation into the determination of r-value and triaxiality in DP590 and SUS 304 sheet specimens

F. Rickhey¹, S. Hong^{1#}

Abstract

To exploit the full formability of advanced high-strength steels (AHSS) in deep drawing or other forming processes, accurate acquisition of r -values and failure strains associated with a certain stress triaxiality η is essential. This experimental study aims at revealing the appropriateness of conventional and advanced methods for r -determination and how the determination of η is affected by the underlying yield criterion. To show this, two anisotropic sheet metals common in automotive are selected. The report is to be seen as a first step towards a full investigation, involving other materials, specimen shapes and yield criteria.

Key Words : Anisotropy; Lankford value; Stress triaxiality; Sheet metal; Tensile test; Digital image correlation

1. Introduction

Recent years have seen an increasing use of AHSS sheets in the automobile industry. The limited formability of such sheets poses new challenges to forming, meeting which requires accurate knowledge of forming limits, nowadays often expressed through the triaxiality failure diagram (TFD). Prerequisite for a TFD are, apart from the actual failure strains, the Lankford values (r -values), expressing the sheet's in-plane anisotropy, and the stress triaxiality η . In this study, strain fields are obtained for uniaxial tensile tests of DP590 and SUS304 sheets to investigate the measurement of r for 0° , 45° and 90° -directions by different methods and, based on them, the effect of the yield criterion on the measurement of η .

2. Tensile test and digital image correlation

Uniaxial tensile tests are performed with dog bone-shaped 0° , 45° and 90° -specimens cut out from DP 590 sheets of thickness 1.6 mm. Using digital image correlation (DIC), we record the specimen surface with a high-resolution stereo camera (1 fps). From the recorded images, local strain fields are derived by means of the software GOM Aramis. Lankford value r and stress triaxiality η are then determined from the strain fields. According to ASTM E517 [1], r is defined as the ratio of true width strain to true thickness strain ($r \equiv \varepsilon_W / \varepsilon_T$), where the thickness strain may be derived from width and length strains. η , on the other hand, is defined as the ratio of mean stress to equivalent stress, for which usually the Mises stress is taken. Independent of yield criterion, for uniaxial tension $\eta = 1/3$, which is the reason this specimen shape is taken.

1. 국립공주대학교 기계자동차공학부

교신저자: E-mail: smhong@kongju.ac.kr

3. Results and discussion

Experimental results corroborate that rather than evaluating r at a certain location and time, it is advantageous to plot ε_W over ε_T up to maximum load and evaluate the average slope. Deriving r from strains measured over a gauge length (in our case, 10 mm) as opposed to deriving it from local strains yields similar results; however, when we use local strains, the ε_W - ε_T curve remains linear far beyond the load maximum. Based on the average slope method in conjunction with local strains we get $(r_0, r_{45}, r_{90}) = (0.820, 0.872, 1.004)$ for DP590 and $(0.887, 0.953, 0.940)$ for SUS304.

Triaxiality η remains constant and rises only in the center region short before rupture. η is observed to be very sensitive to small strain inaccuracies so that local determination of η at a certain time is not recommended and an average over area (at loads around $F_{\max}$ or higher) or time should be calculated. We find that using the (isotropic) Mises yield criterion delivers values of 0.367 (DP590) and 0.360 (SUS304) on average and thus overestimates the theoretical value of 1/3. However, applying the Hill48 yield criterion results coincide with theory (0.334 and 0.339, respectively).

4. Conclusion

The study reveals that r -values should be evaluated from the average slope of width strain over thickness strain plots. The strain may here be either derived on a local basis by DIC or via strain gauges. Further, to be in accordance with theory, for anisotropic sheets η should be perceived as the ratio of mean stress to the equivalent stress associated with an anisotropic yield criterion, even for the presumably simplest case of uniaxial loading. The choice of the yield criterion is expected to become – and first experiments with Zirlo sheets corroborate this – more significant for materials with extremer r -values. Currently, this study is being extended to other specimen shapes and materials exhibiting more pronounced anisotropy, more yield criteria are to be investigated.

References

- [1] ASTM International, 2000, ASTM E517-00 Standard Test Method for Plastic Strain Ratio r for Sheet Metal. ASTM International, West Conshohocken, PA.

강화학습과 유한 요소 해석을 이용한 딥드로잉 공정에서의 블랭크 홀딩력 경로 최적화

조성민¹, 송우인², 이진섭², 황원재², 정완진[#]

Optimization of Blank Holding Force Trajectory in Deep Drawing Process using Finite Element Analysis and Reinforcement Learning

S. M. Cho¹, W. I. Song², J. S. Lee², W. J. Hwang², W. J. Chung[#]

Abstract

딥 드로잉 공정에서, 블랭크 홀딩력은 제품의 주름을 방지하고 소재에 인장 응력을 부과하여 소성 변형을 가능하게 한다. 특히, 적절한 가변 블랭크 홀딩력의 적용은 드로잉 공정 중, 제품의 주름을 방지할 뿐만 아니라, 소재의 파단을 억제하여, 한계 드로잉 높이를 증가시킨다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는, 강화 학습 알고리즘과 유한 요소 해석을 결합하여 딥드로잉 공정에서의 최적 블랭크 홀딩력 경로를 탐색하였다. 강화 학습 알고리즘의 수렴성과 수렴 속도에 큰 영향을 미치는 보상함수는 블랭크 홀더의 위치와 손상도 지수를 이용하여 고안되었다. 공정 중 블랭크 홀더의 위치를 검사하여 주름 발생 여부를 판정하였고, 변형률 기반 성형 한계도(FLD) 및 응력 기반 성형 한계도(FLSD)를 기반으로 소재의 파단 여부를 판정하였다. 또한, 블랭크 홀딩력 성형 한계영역도(BHF formability window)를 이용하여 본 연구에서 수행한 딥드로잉 공정에 대해 분석하였다. 결론적으로, 강화 학습 알고리즘과 유한 요소 해석을 이용하여 딥드로잉 공정에서 최적의 가변 블랭크 홀딩력 경로를 효과적으로 탐색할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : 강화 학습, 가변 블랭크 홀딩력, 딥드로잉 공정

1. 서울과학기술대학교 대학원 기계디자인금형공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, E-mail: wjchung@seoultech.ac.kr

판재 이방성 예측을 위한 항복 함수 계수의 결정 최적화

이신영 · 윤성용 · 김진환 · Frederic Barlat[#]

Optimization for determination of yield function coefficients to predict anisotropy of sheet metal

Shin-Yeong Lee, Seong-Yong Yoon, Jin-Hwan Kim, Frederic Barlat[#]

Abstract

Two anisotropic yield functions are calibrated using different methods. One is the Yld2000 2d [1] for plane stress condition and the other is the Yld2004 3d [2] for full stress state. Experimental values for the calibration are used from the reference paper [3]. For the Yld2000 2d, a conventional method based on a Newton Raphson (NR) scheme is applied for the determination of the coefficients. An optimization method is also applied to calculate the coefficients. The optimization approach operates to minimize an objective function which expresses the difference between experimental and predicted values. The optimization method makes use of much more experimental data than the conventional method, which may affect the accuracy of the Yld2000 2d. For the Yld2004 3d, only the optimization method is applied to calculate the coefficients. The normalized stress and r-value are calculated from two models Cup drawing test simulation [3] is carried out using a commercial finite element software. The Yld2000 2d is used with shell elements and the Yld2004 3d with solid elements in the FE simulation. The predicted earing profiles are compared to assess the validity of the models and the optimization method

Key Words : Material characterization, Sheet metal forming, Yield function, Material anisotropy, Cup drawing

Reference

- [1] F. Barlat, J.C. Brem, J.W. Yoon, K. Chung, R.E. Dick, D.J. Lege, F. Pourboghra, S.H. Choi, E. Chu, Plane stress yield function for aluminum alloy sheets part 1: theory, International Journal of Plasticity 19 (2003) 1297 1319.
- [2] F. Barlat, H. Aretz, J.W. Yoon, M.E. Karabin, J.C. Brem, R.E. Dick, Linear transformation based anisotropic yield functions, International Journal of Plasticity 21(5) (2005) 1009 1039.
- [3] J. Yoon, F. Barlat, R. Dick, M. Karabin, Prediction of six or eight ears in a drawn cup based on a new anisotropic yield function, International Journal of Plasticity 22(1) (2006) 174 193.

포항공과대학교 철강대학원

[#] 교신저자 : 포항공과대학교 철강대학원, f.barlat@postech.ac.kr

가상필드법에 의한 가속도 값을 이용한 고속물성 평가 연구

김지민[#] · 김진환 · Frederic Barlat

Identification of High Strain Rate Hardening Properties from Acceleration Fields Using the Virtual Fields Method

J.-M. Kim, J.-H. Kim, F. Barlat

Abstract

Finite element (FE) simulation is very important in the field of aerospace and defense to evaluate crashworthiness of high strength reinforcing parts. Reliable material properties at high strain rates should be used for the FE simulation to acquire accurate simulation results. However, at high strain rates, it is difficult to obtain accurate stress-strain data because reasonable load data is not easily achieved from the experiments due to ringing problem caused by inertia effect. In this study, the Virtual Fields Method (VFM) which is one of the inverse methods suggests another possibility of identifying hardening properties by utilizing acceleration data from the experiments without using load data. The methodology is introduced and the minimum magnitude of acceleration is investigated to retrieve the hardening properties at high strain rate testing using simulated data. In addition, a new type of high strain rate testing equipment, impact frame high speed tester (IFHS) is shown and various aspects to increase the acceleration magnitude in the IFHS is discussed for the application of the proposed methodology to experimental data.

Key Words : dynamic hardening behavior; sheet metal; high strain rates; the Virtual Fields Method (VFM); digital image correlation (DIC)

1. GIFT, Pohang University of Science and Technology,
77 Cheongam-Ro, Nam-Gu, Pohang, Gyeongbuk, KOREA (37673)
E-mail: skycrossing@postech.ac.kr

박판 소재의 진동판 성형을 위한 스탬핑 공정 연구

김용배¹, 배기현¹, 이종섭^{1#}

Development of Stamping Process of Thin Sheet Material for Manufacturing of Diaphragm

Y. B. Kim, G. Bae, J. Lee

Abstract

미세먼지 저감을 위한 방법 중 하나로서 음파의 진동을 이용한 미세먼지 수집 방법이 주목 받고 있다. 본 연구에서는 음파 전달의 시발점으로 사용하는 진동판의 성능 향상을 위하여 기존 펄프 소재에서 고강성 박판소재로 대체하고자 진동판 스탬핑 성형 공정 연구를 진행하였다. 이를 위해서 유한요소해석에 기반하여 금형 형상, 다단 성형 및 패드 사용에 따른 소재 두께 감소율의 공정변수 민감도를 분석하여 최적 공정을 도출하였다. 더하여, 시금형 제작을 통해 박판 소재의 진동판 성형을 수행 두께 감소율을 측정하고 이를 설계치와 비교 분석 확인하였다.

Key Words: Thin Sheet Material, Stamping, Diaphragm

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

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

서보 프레스의 슬라이드 모션과 유압 서보 큐션을 활용한 판재 성형성 향상 방안

박기철[#], 구진모¹, 서영호²

Application of Slide Motion of Servo Press and Hydraulic Servo Cushion for Improving Formability of Sheet Steels

K. C. Park, J. M. Koo, Y. H. Seo

Abstract

In order to investigate the slide motion and servo cushion application methods in the mechanical servo press with servo hydraulic cushion for improving sheet metal formability and the mechanism for the formability improvement, three kinds forming tests (deep drawing, 2-D draw bending and S-Rail) with several strength grade steel sheets were studied. By using proper slide motion and cushion control, drawing formability measured by maximum allowable BHF is increased about 2times, spring back in 2-D draw bending and twisting in S-Rail are reduced 50% and 30% respectively.

Key Words : Mechanical Servo Press, Servo Hydraulic Cushion, Slide Motion, Deep Drawing, Draw Bending, S-Rail, Maximum Formable BHF, Spring Back, Twisting

1. 서론

판재 프레스 가공의 다양한 영역에서 장점이 있는 서보 프레스 적용이 국내 및 해외에서는 점점 확대 되고 있다. 이러한 추세는 서보 프레스를 활용한 생산성 향상 효과와 함께 판재 성형성 향상도 기대 되고 있기 때문이다. 서보 프레스에 의한 생산성 향상은 motion 활용 방안에 따라서 효과가 명백하나 성형성 향상 기구에 대해서는 아직 불명확한 부분도 있는 상황이다. 본 연구에서는 프레스용 소재의 경량화 및 고강도화 추세에 있어서 서보 프레스 활용에 의한 성형성 향상 기구를 고찰하기 위하여 서보 프레스의 slide motion 과 서보 cushion 을 활용할 수 있는 시험 장치를 구성하고 판재 성형성 향상과 그 원인에 대한 연구를 실험적으로 수행하고, 파단 성형한계와 형상동결성에 대한 서보 프레스 활용 효과 및 그 기구를 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 실험에 활용한 서보프레스 및 유압 서보 큐션 장치

서보 프레스는 (주)SIMPAC 에서 제작한 기계식 서보프레스(SV1P250)를 활용하였다. 이 프레스와 동기화되어 작동되는 유압서보 다이 큐션시스템은 장치는 (주)한빛산업과 함께 정확하고 재현성 있게 제어가 되도록 구축하였다.

2.2 딥 드로잉 성형성 실험

얇은 박판 강재 및 고강도강판의 딥드로잉 성형성에 대한 서보 프레스의 활용 효과를 확인하기 위하여 사각형과 원형 블랭크를 원형 tool 로 드로잉 성형을 다양한 sliding motion 조건과 서보

1. POSCO 철강솔루션연구소

2. POSCO 철강솔루션연구소 (현: 생산기술연구원)

교신저자: POSCO 철강솔루션연구소, E-mail: parkkc@posco.com

cushion 조건에서 실시하여 성형성 향상 방안을 연구하였다.

2.3 2-D Draw Bending 실험

2-D 드로 벤딩 가공에서 발생하는 드로잉 크랙 및 드로잉 벽에서의 만곡 발생 관련 특성에 대한 실험 연구를 다양한 sliding motion 과 서보 cushion 조건에서 실시하여 서보 프레스 활용 효과를 박판 및 고강도 강판에 대하여 실험하였다.

2.4 S-Rail 성형 실험

소재 강도가 다른 네 가지 소재를 이용하여 S-Rail 부품을 드로잉하는 경우에 sliding motion 과 서보 cushion 조건에 따른 성형성 향상 효과를 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 딥드로잉 성형성

일반강 및 고강도 강판으로 서보 motion 적용시의 LDR 향상 효과를 시험하였다. 일반적인 crank motion 과 비교하여 LDR 향상 효과는 slide motion 제어 시에도 나타나지 않았기에 성형 가능한 최대 BHF 로 성형성을 평가하였다. 드로잉 성형성은 step motion 을 적용한 경우는 crank motion 에 비하여 감소하였으나, detach-attach motion 을 적용한 경우는 성형 가능한 최대 BHF 를 2배 정도로 증가시킬 수 있는 결과를 얻었다. 소재 강도가 증가할수록 detach-attach motion 의 성형성 향상 효과는 증가하였으나 성형 속도가 증가하는 경우는 그 효과가 감소하였다. 따라서 Detach-attach 구간의 최적화를 통해서 성형성 향상이 가능함을 알 수 있었다.

3.2 2-D Draw bending 성형성

1.2t 에 강도가 다른 4가지 소재로 시험한 결과에서 소재 항복강도가 증가할수록 spring back 은 커지나 적절한 slide motion 을 선정함에 의해서 crack motion 의 50% 이하로 작게 할 수 있었다. 성형 속도에 따른 draw bending 시편의 spring back (각도 및 만곡)은 소재 강도가 증가할수록 성형 속도에 따른 변동이 크게 나타났다. 그리고 Cushion 하중 (BHF)이 증가하면 만곡이 감소하여 spring back 후 부품 각도는 90° 에 가까워 지는데, BHF 의 영향은 강도가 낮은 소재에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 세가지 강도 수준의 DP 소재를 이용한 실험에서 가변BHF, 하사점 정지가 spring back 감소에 효과적임을 알 수 있었다.

3.3 S-Rail 성형성

항복강도가 서로 다른 4가지 1.2t 강판으로 S-Rail 성형 실험을 한 결과 BHF 증가에 따라서 네 가지 모두 같은 경향으로 뒤틀림 (twisting) 이 감소하고 있으나, 뒤틀림의 크기는 항복강도가 클수록 컸다. 단, 마찰이 작은 경우는 항복강도가 작은 경우에도 뒤틀림이 크게 발생하였다. 드로잉 성형하는 마지막 단계에서 BHF 를 증가시키는 경우 twisting 발생은 30% 이상 작아지는데, 처음부터 크게 BHF 를 설정하는 경우는 금형과 소재 사이의 마찰 조건이 매우 악화되어 양산 가공성 문제가 발생할 수 있는데 비하여 이렇게 가변 BHF 제어를 하는 경우는 양산 가공성에 큰 문제 없이 형상 특성이 개선된 가공이 가능하였다.

4. 결론

서보 쿨손을 장착한 기계식 서보프레스를 활용하여 강도가 다른 몇가지 강판으로 딥드로잉, draw bending 그리고 s-rail 에서 성형성 향상 방안을 실험으로 구하였다. 최대BHF 약 2배 증가 및 spring back 과 twisting 은 각각 50%, 30% 이상 감소시킬 수 있는 조건을 찾을 수 있었다.

참고문헌

- [1] T.Nakano, "Press machine trends and servo press forming examples", Steel Research International, Vol.81, No.9 (2010), pp.682-685.
- [2] Y.Tamai, Y.Yamasaki, A.Yoshitake and T.Imura, "Improving Deep Drawability of Steel Sheets by Motion Control of Servo Press", journal of the JSTP, Vol.51, no.592 (2010-5), pp.450-454.

유한요소해석을 이용한 이종소재 SPR접합품질 평가

박근영^{1,2} · 박남수¹ · 노우람¹ · 조종두² · 정철영³ · 송정한^{1,#}

Evaluation of Multi-Material SPR Joint Quality Using FEM

K.Y. Park, N.S. Park, W. Noh, C.Y. Jung, J.H. Song,

Abstract

최근 자동차 산업의 환경규제와 충돌규제가 강화되고 있으며, 여러 규제에 부합하기 위한 방안으로 차량경량화에 대한 많은 연구가 진행되고 있고, 알루미늄이나 복합재 같은 경량소재를 차체에 접합하기 위한 접합방법에 대한 연구가 필수적이다. SPR(Self-Piercing Rivet) 접합방법은 접합공정 시 사전 홀 가공이 필요 없으며 서로 다른 성질을 가진 소재를 접합하는데 용이한 친환경적 기계적 체결방법이다. 접합공정 시 소재의 종류, 리벳의 형상, 다이의 형상 등 다양한 요인으로 인해 체결량(Interlock)이 달라지며 접합품질에 영향을 미친다. 하지만 시험을 통해 여러 변수들을 바꿔가며 이상적인 접합조건을 찾는 것은 많은 시간과 비용이 필요로 한다. 본 연구에서는 SPR공정을 전산모사하여 단면형상을 분석하고, 실제 시험과 비교하여 신뢰성 검증을 진행하였고, 전단인장 모사 해석을 통해 접합강도를 예측하였다. 전산모사해석의 신뢰성을 높이기 위해 실제 접합판재의 기초물성시험을 진행하였고 리벳의 상판을 관통을 예측하기 위해 Shear, uniaxial 파단모드를 유도하는 시편의 시험결과를 이용한 파단기준모델을 도출하였다. 리벳은 중공 원통형으로 가공 후 압축하였으며 역해석 방법을 이용하여 얻은 물성을 해석에 적용하였다. 결과적으로 SPR공정해석을 통하여 시험과 유사한 단면특성결과를 얻었으며, 유한요소해석을 이용한 SPR공정의 단면형상 분석과 접합강도 예측, 여러 공정변수에 따른 영향을 분석, 활용 할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : SPR(Self-piercing Rivet), Multi-Material joint, FEM(Finite Element Method)

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. 인하대학교 기계공학과

3. ㈜대우공업 기술연구소

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

용체화 처리된 Al7075 합금의 시효시간이 파단 변형률에 미치는 영향

박지영^{1,2} · 정선호¹ · 오제훈² · 정철영³ · 이종섭^{1,#}

Effect of natural aging time on the fracture strain of solution-treated Al7075 alloy

J. Park¹, S.H. Jung¹, J. H. Oh², C.Y. Jung³, J. Lee^{1,#}

Abstract

Recently, the application of high specific strength Al7075-T6 alloy is increasing due to the weight reduce in auto body and improvement in passenger safety. However, the alloy has a low formability problem at room temperature. W-temper forming have recently come into the attention as a way to solve these problems. This method advantage of cold forming. However, it is necessary to study the fracture model to design the forming process of the material and to predict the crashworthiness. It is also necessary to analyze the effect of the natural aging time on the formability and to predict the fracture strain in various load paths which vary with the natural aging time. In this study, the changes in the mechanical properties and fracture strain of Al7075-T6 alloy according to the natural aging time were investigated. For the solution treatment conditions, the Al7075-T6 alloy was heat-treated at 475 ° C for 35 minutes and then quenched in cold water (~ 10 ° C). The max natural aging time is 24 hours. The effects of the natural aging time on the mechanical properties of solution treated Al7075 alloy were investigated by the hardness and tensile tests. Fracture tests were performed on four load paths. As a result, Natural aging time can have a big impact on forming quality for products where shear strain is dominant. As time increases, the strain at break tends to decrease.

Key Words: Al7075-T6 alloy, W-temper forming, Fracture strain, natural aging time

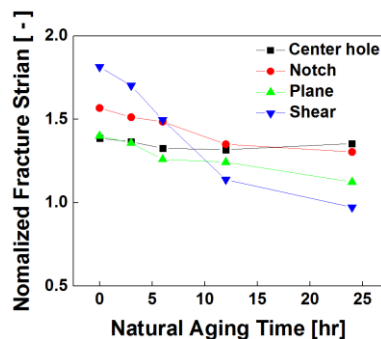


Fig. 1 Normalized fracture strain of Based on T6 status

1. 한국생산기술 연구원 성형기술그룹

2. 한양대학교 기계설계공학과

3. ㈜대우공업 기술연구소

교신저자: 한국생산기술 연구원 성형기술그룹, E-mail: jongsup@kitech.re.kr

초고강도강판의 드로잉 공정에서 금형표면의 접촉 거동 분석 및 금형마모 예측모델개발

방준호^{1,2} · 노우람¹ · 송정한^{1,#} · 김흥기³ · 손현성³

Development of predictive model of tool wear and contact behavior analysis of tool surface in drawing process of advanced high strength steel sheets

J.H. Bang, W. Noh, J.H. Song, H.G. Kim, H.S. Son

Abstract

초고강도강판의 성형공정 시 예상보다 이른 금형 표면 손상은 소재의 높은 성형 반력에 기인하며, 금형의 유지보수 비용 증가에 따른 제품 생산성 감소 및 제품 품질저하와 직결된다. 본 연구에서는 드로잉 공정 시 금형표면에 작용하는 접촉 기구(contact mechanism)를 확인하고 그에 따른 금형 표면부의 마모 거동을 실험 데이터베이스를 통해 정량적으로 분석하였다. 드로잉 공정시 금형표면에 작용하는 접촉압력(contact pressure)과 미끄럼 거리(sliding distance)를 유한요소해석을 통해 확인하였으며, 이러한 접촉 특성 분석을 통해 U드로잉(U-drawing) 금형 마모 시험법을 설계하였다. 다구찌법(Taguchi method)를 이용하여 핀온디스크(pin-on-disk) 실험을 계획하였고 성형 인자에 따른 영향성 및 민감도를 분석하였다. 핀온디스크 실험결과를 기반으로 접촉압력과 미끄럼거리를 인자로 하는 금형마모 예측모델을 개발하였으며, U드로잉 금형마모 실험 결과와의 비교를 통해 금형마모 예측모델의 신뢰성을 검증하였다.

Key Words : Tool wear, Contact pressure, Sliding distance, Pin-on-disk test, Taguchi method, Advanced high strength steel sheet, FE analysis

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. 서울대학교 재료공학부

3. 포스코 철강솔루션마케팅실 성형연구그룹

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

9. 일반 논문 발표

(제 3 발표회장)

유한요소해석을 통한 크랭크샤프트 단조금형 크랙 개선

박정휘¹ · 조재민¹ · 백진호¹ · 김민철² · 전만수[#]

Improved die life in crankshaft hot forging by finite element method

J. H. Park, J. M. Cho, J. H. Baek, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a typical and practical example of improving die fracture life in hot forging of a complicated crankshaft is presented with emphasis on the experimental validity. Rigid-thermoviscoplastic finite element method for material and thermoelastic finite element analysis are applied to reveal the reason of premature die fracture of the conventional process design and to improve the process design to avoid it. About 40% reduction in maximum stress in tension is achieved, which enhances die fracture life to the acceptable value.

Key Words : Hot Forging (열간단조), Crankshaft (크랭크샤프트), Finite Element Method (유한요소해석), Die Fracture Life (금형의 파괴수명)

1. 서론

열간단조의 금형 수명은 마모와 금형의 파괴에 의존적이다. 대부분의 열간단조 공정에서 금형의 수명은 마모에 의존적이다[1]. 열간단조 소재는 고온으로 유동응력을 극단적으로 낮춘 것으로 단조품의 형상이 복잡하지 않고 단조중 소재의 유동에 관한 안내가 불합리하지 않을 경우에는 단조중 금형의 조기 파손 사례는 냉간단조에 비하여 상대적으로 작다.

그러나 크랭크샤프트와 같이, 형상이 복잡하여 소재의 소성유동이 크게 제약을 받기 때문에 건전한 소성유동이 보장되지 않을 경우에는 금형의 조기 파괴가 발생할 수 있다. 물론 대다수의 금형 파괴는 피로파괴에 해당하며, 희망하는 금형 수명에 크게 못미치는 상황에서 금형파괴가 발생한다. 금형의 피로파괴 및 수명에 관한 연구가 다양하게 이루어졌으나, 현장의 여건상 실용적인 결과로 연결되지 못하고 있다.

현실적으로는 열간단조 공정의 유한요소해석 결과를 바탕으로 파괴 원인을 분석하고 그 결과를 꾸준히 축적하는 과정이 금형 수명 연구의 실용화를 위하여 필수적이다. 이 연구에서는 크랭크샤프트 열간단조 중 발생한 예기치 못한 단수명 금형 문제의 원인을 규명하고 그 대책으로 개선된 공정의 금형 구조해석 결과와 그 실제의 적용 실적으로 소개한다.

2. 크랭크샤프트 열간단조 금형의 파단 원인 규명 및 대책

Fig. 1 은 이 연구의 대상인 크랭크샤프트 열간단조의 공정도이다. 이 공정은 3 단의 열간단조와 마지막 트리밍 공정으로 이루어져 있다. Fig. 1(f)는 최종 제품을 나타낸다. 이 공정에서 금형의 수명은 Fig. 1(c)의 제 2 단계에서 발생하는 Fig. 2의 모서리 크랙에 좌우되었다. 이러한 문제의 해결을 위하여 단조 시뮬레이션을 실시하였고, 금형의 피로파괴와 직결된 금형의 구조해석 결과, 즉 유효응력의 분포를 Fig. 3에 나타내었다.

1. 현대위아㈜

2. ㈜엠에프알씨 기술연구소

교신저자: 경상대학교, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

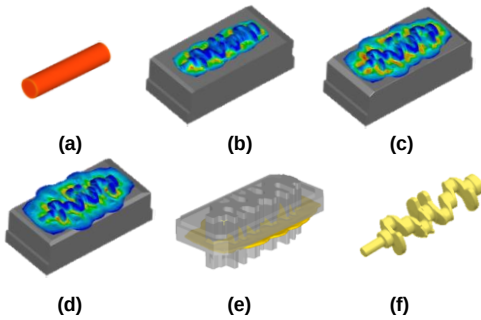


Fig. 1 Process design of a crankshaft hot forging to be studied



Fig. 2 Crack occurring in a die corner

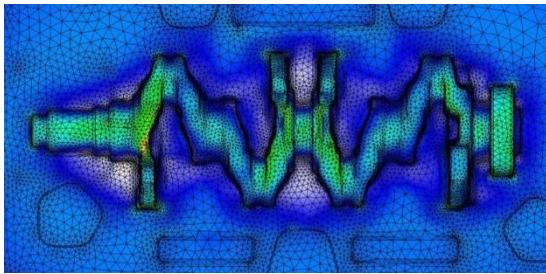


Fig. 3 Max. principle stress of the old process

이 그림에서 좌측으로부터 1/4 지점의 중심 부위에 최대의 유효응력이 예측되었고 이 부위는 크랙이 발생한 부위가 일치한다. 이러한 문제의 개선을 위하여 공정 개선이 이루어졌고, 개선 전후의 공정해석 결과와 개선 이후의 금형구조해석 결과를 각각 Fig. 4 와 Fig. 5 에 나타내었다.

3. 결론

이 연구에서는 단조공정의 유한요소해석 기술을 이용한 금형 수명 개선 사례를 크랭크샤프트 열간단조 공정에 통하여 제시되었다.

유한요소해석 기술을 이용하여 공정 개선을 통하여 약 40%의 최대인장응력의 감소가 이루어졌으며, 그 결과, 실 공정에서 채택 가능한 금형 수명을 달성하였다.

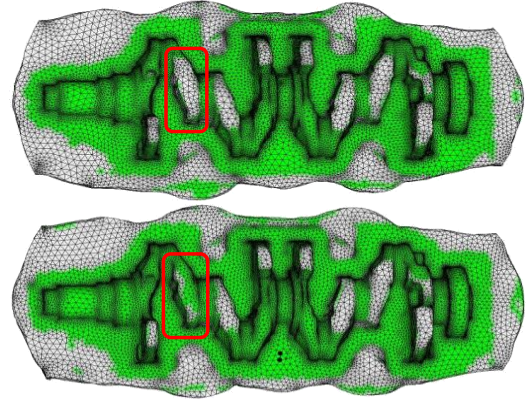


Fig. 4 Comparison of predictions of bad and good process designs

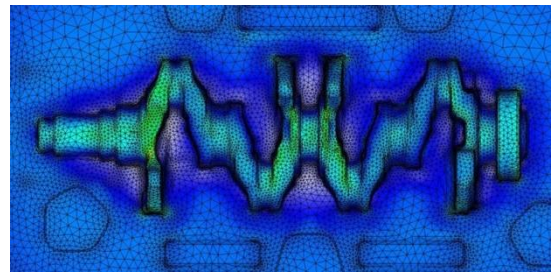


Fig. 5 Max. principle stress of the new process

참고문헌

- [1] R. Sekar, M. S. Joun, 2017, Die life prediction in hot forging, KSTP Autumn conference, pp. 62-63
- [2] J. H. Jeong, H. K. Lee, J. B. Kim, K. Park, 2015, Thread Shape Design Using Joining and Release Analysis of Bolt, J. Korean Soc. Precis. Eng Vol. 32, No. 6, pp. 523-528
- [3] J. W. Kim, Y. S. Park, S. H. Kyung, J. J. Bae, 2016, General Bolt Torque Decision Method for field Work, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, pp. 329-332

자동차 허브 베어링 용 씰 금속부품의 판재성형 및 판단조의 복합 공정에 관한 연구

박기근¹ · 문호근² · 오상균³ · 전만수[#]

A Study on combined sheet metal forming and plate forging of a metal seal part of hub bearing for an automobile

K. G. Park, H. K. Moon, S. K. Oh, M. S. Joun

Abstract

In this study, a combined sheet metal forming and plate forging process is applied to economically fabricate a outer plate of metal seal for hub bearing unit of a passengers' car. An elastoplastic finite element analysis is used to optimize the process and experiments are conducted. An innovative process design is proposed to realize near-net shape manufacturing of the metal seal, which reduces manufacturing cost.

Key Words : Bearing Seal (베어링 씰), Plate Forging (판 단조), Press Stamping(프레스 공정), Progressive(연속), Cold Forging(냉간 단조), Hybrid Mold(하이브리드 금형)

1. 서론

자동차 부품산업의 성장에선 높은 품질 수준과 제조 원가 절감으로 부품 가격 경쟁력을 확보하기 위해 기업에서는 많은 연구가 이루어지고 있다. 자동차 허브베어링(Hub bearing) 조립체는 자동차의 바퀴에 장착되어 축에 걸리는 하중을 지지하면서 자동차의 주요 보안 부품이다.

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 허브 베어링 조립체의 일부인 허브 베어링 씰의 외판(Outer plate) 부품의 역할은 자동차의 구동 시에 외부로부터 이물질의 침입을 막고, 내부의 윤활제의 누설을 방지하여 구동 효율을 극대화하는 것이다.

이 허브 베어링 씰의 외판 부품은 정밀한 형상과 높은 치수 정밀도가 필수적이며, 아울러 저 비용의 제조원가와 생산성의 극대화가 제품의 경쟁력 제고 차원에서 지속적으로 요구되고 있다

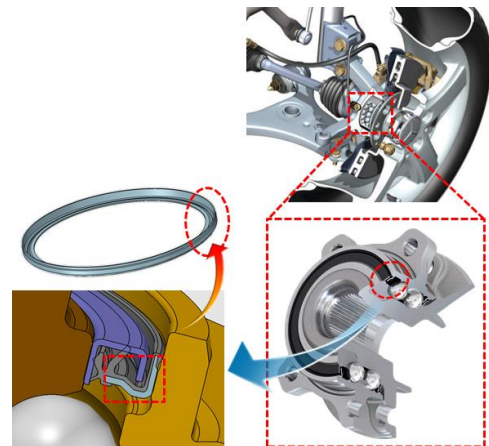


Fig. 1 hub bearing assembly with emphasis on the outer plate

2. 본론

기존 외판 부품의 제조는 SPCC(JIS G3141 SPCC-S) 소재를 복합 성형(Compound die forming)공법을 적용하여 피어싱(Piercing), 벤딩

1. ㈜태진다이텍 기술연구소
2. ㈜엠피알씨 기술연구소
3. (재)대구기계부품연구원 금형기술연구팀
교신저자: 경상대학교, 기계공학부, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

(Bending), 트리밍(Trimming) 등의 단위 공정에 의존하였다. 이 경우 Fig. 1에서 보는 바와 같이 외판 부품의 가장자리 부위, 즉 형상부는 복합 성형 시에 소성가공의 적용이 불가능하므로 별도의 CNC 가공기에 의해 절삭 가공되어 왔다. 이는 생산성 저하 및 원가 상승 직접적 요인으로 작용해 왔다.

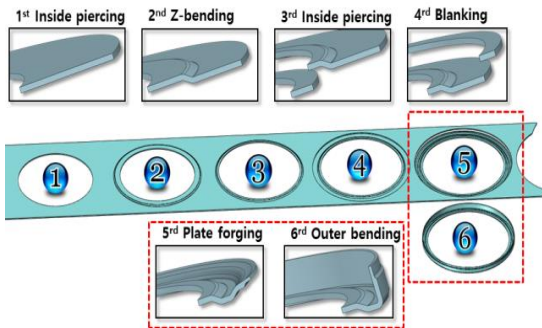


Fig. 2 Presented process for economically fabricating the outer plate

이 연구에서는 전술한 문제의 개선을 위한 제조 공법으로는 프로그레시브(Progressive) 공법과 트랜스퍼(Transfer) 공법을 융합한 Fig. 2의 하이브리드(Hybrid) 공법을 제안한다. 프로그레시브 공법은 1 단의 피어싱, 2 단의 벤딩, 3단의 내측 피어싱(Inside piercing), 4 단의 외측 블랭킹(Outside blanking), 5 단의 판 단조(Plate forging), 6 단의 외측 벤딩(Outside bending) 등의 공정으로 개선하게 되었다.

이 공정에서 5 단의 판단조와 6단의 외측 벤딩이 핵심이다. 일반적인 벤딩 프레스 성형 기술은 벤딩 금형으로 소재에 하중을 주어 성형하는 것이지만, 판단조가 적용된 성형은 벤딩 금형 부에서 미접촉부가 발생하여 미성형의 불량을 발생시킨다[1-2].

이러한 미성형은 형상 및 제품 치수 불량의 원인이다. 이러한 문제를 기존의 시행착오적 방식으로 개선하는 것을 판단조와 벤딩 공정과 같은 복합 공정의 경우 특히 어렵다. 이 연구에서는 단조 시뮬레이션을 사용한 과학적인 접근 방법이 적용되었다. Fig. 3은 해석 기술에 의존하여 개선된 공정의 해석 결과를 나타내고 있다.

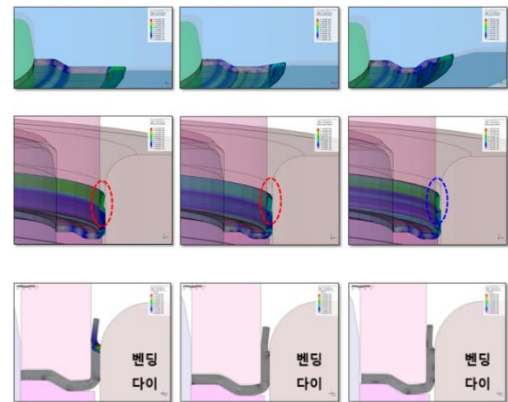


Fig. 3 Finite element predictions of an improved process

3. 결론

이 연구에서는 유한요소해석 기술을 활용한 판단조 공정의 개선을 위한 실용적 연구결과를 제시하였다.

개선된 공정으로 공정을 단순화시킴으로써 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있었으며, 절삭 가공에 대한 품질 문제를 해결함으로써 품질 향상과 생산성 향상이라는 효과를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 재원으로 구매 조건부신제품개발사업 (과제명: 자동차 허브 베어링용 쉘 금속부품의 하이브리드 성형기술 개발)으로 수행되었으면 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] T. Maeno, K. Mori, A. Hori, 2014, Application of load pulsation using servo press to plate forging of stainless steel parts, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 214, pp. 1379~1387.
- [2] D. C. Ko, B. M. Kim, H. J. Shin, H. S. Choi, 2014, Manufacturing method of R/F connector shell in mobile phone using sheet forging and burring process, Patent 10-1365493.

복합재료 판재의 탄소성 유한요소해석

정석환¹ · 홍석무² · 정완진³ · 이민철¹ · 전만수[#]

Elasto-plastic finite element analysis of composite sheet

S. H. Chung, S. M. Hong, W. J. Chung, M. C. Lee, M. S. Joun

Abstract

In this paper, elastoplastic finite element analysis of composite sheet metal forming process is introduced focusing on the multi-body simulation of bonded layer composites.

Key Words : Composite sheet metal forming (복합재료 판재성형), Elastoplastic finite element analysis (탄소성 유한요소 해석), Multi-body metal forming(다물체 금속 성형), Delamination(층간박리)

1. 서론

경량화 및 원가절감을 위해 복합재료의 적용이 늘어가는 추세이다. 통상적으로 요구특성에 맞게 판재 형태의 복합소재를 접합한 후 박판 성형을 통해서 원하는 형상을 얻게 되는데, 유한요소 해석적인 측면에서는 적층된 소재에 대한 다물체 처리기법[1]과 한계조건을 벗어났을 때 소재간의 박리 현상에 대한 처리기법이 필요하다.

2. 요소밀도 및 유한요소해석

Fig. 1은 3층의 이종 소재가 적층되어 있는 판재에 대한 3점 벤딩 공정을 해석한 것으로 2차원 평면 변형 조건 및 3차원 해석 결과를 비교하였다. 이종 소재간 경계에 위치한 절점들에 대해서는 벌칙기법을 활용한 완전 밀착(sticking) 조건을 부가하였다. 층간 박리 조건은 단순화된 Tsai&Wu criterion을 적용하였으며, 인장 및 전단한계 응력에 따른 현상에 대해서 고찰하였다.

3. 결론

이 연구에서는 이종 판재소재가 접합되어 있

는 복합 재료에 대한 성형 해석 기법을 연구하였으며, 다물체 인접 절점간의 속도 일치 조건 부여 및 층간 박리 현상에 대해서 고찰하였다.

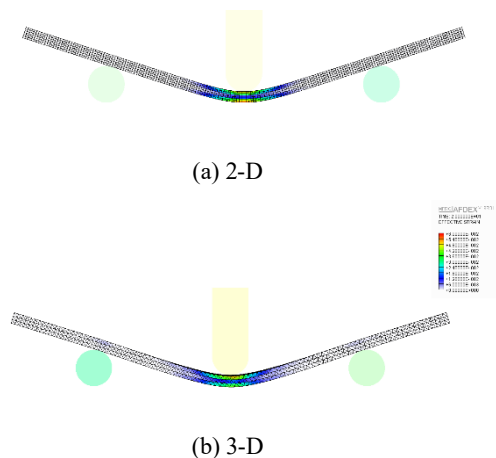


Fig. 1 Composite sheet bending (3 layer)

참고문헌

- [1] S. H Chung, S. W. Jeong, W. J. Chung, M. S. Joun, 2018, Finite element analysis of three-dimensional multi-body forming processes, KSTP Spring Conference, pp. 42~43.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. 공주대학교 기계자동차공학부

3. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

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

튜브형태의 부품과 중실 축류 부품의 소성변형 조립과정중 변형의 유한요소해석

엄재근¹ · 이현준² · 이민철¹ · 전만수[#]

Finite Element Analysis of Plastic Deformation in Assembling a Process of Hollow Part and Solid Shaft-like Part by Force

J. G. Eom, H. J. Lee, M. C. Lee, M. S. Joun

Abstract

In this paper, elastoplastic finite element analysis of joining process of a solid part and a hollow cylindrical part is conducted and the predictions are given with emphasis on mesh density along the material-material interface.

Key Words : Three-dimensional elastoplastic finite element method(3차원 탄소성 유한요소법), Multi-body metal forming(다물체 금속 성형), Joining(조이닝)

1. 서론

다물체의 조립 공정 중에서 중실 축류와 튜브 형태의 부품의 조립 공정은 일반 단조공정 응용 조립공정[1]과 해석 기술 차원에서 차이가 많다. 접촉면 간의 상대적 미끄러짐 운동이 크기 때문이다. 이러한 공정의 해석에서 요소망 밀도는 매우 중요하며, 이 논문에서 전형적인 공정의 요소망 밀도를 강조한 연구 결과를 소개한다.

2. 요소밀도 및 유한요소해석

Fig. 1에 적용 대상 예제의 개념도와 초기 상태와 최종 상태의 요소망을 나타내고 있다. 중실 축과 튜브의 소재는 다르며, 접촉면에서의 마찰계수를 0.1로 간주하였다.

3. 결론

이 연구에서는 접촉면에서 요소망 밀도를 강조한 다물체 해석 기술이 제시되었다. 이 기술은 다물체 성형 또는 조립 공정에서 접촉면에서 상대운동이 큰 공정에 효과적이다.

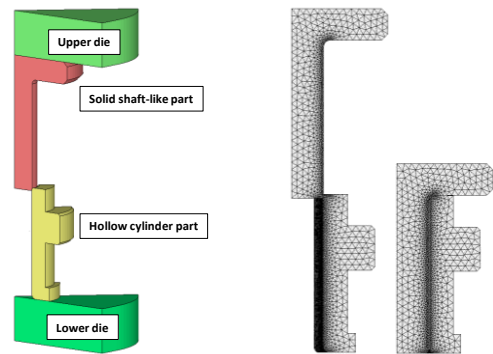


Fig. 1 Initial condition and the predictions of the joining process with emphasis on FE mesh

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업 (과제번호: 10081334) 및 산업혁신소재기술개발 프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 20003950) 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] S. H. Chung, S. W. Jeong, W. J. Chung, M. S. Joun, 2018, Finite element analysis of three-dimensional multi-body forming processes, KSTP Spring Conference, pp. 42~43.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소
2. 경상대학교 기계항공공학부 대학원
교신저자: 경상대학교 기계공학부, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

다물체 공정해석 기능을 이용한 스프링 부착 금형을 가진 단조공정의 정밀해석

정승원¹ · 이민철¹ · 변종복² · 전만수[#]

Precision forging simulation of a forging process with spring-attached die using multi-body simulation technique

S. W. Jeong, M. C. Lee, J. B. Byun, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a fully coupled analysis of material and die with a spring attached to form a complicated and difficult-to-form shape in ball-stud cold forging is conducted using an elastoplastic finite element method with multi-body treatment scheme. The spring force is applied by a kind of floating die which exert the calculated force on the spring-attached die. A example of forming a precision hexagonal shape by backward extrusion in ball-stud cold forging is given.

Key Words : Backward Extrusion (후방압출), Elastoplastic Finite Element Method (탄소성 유한요소해석), Spring Attached Die (스프링 부착 금형), Multi-body Treatment Scheme (다물체 처리 기법)

1. 서론

단조에서 스프링이 부착된 금형은 성형하중을 줄이거나 모서리 부분을 비롯한 난충진 문제를 해결하는데 효과적이다.

해석의 관점에서 스프링 부착 금형의 속도가 미지수이며, 이론적으로 단순하지만 수치적으로 간단한 문제가 아니다[1]. 특히 요소망재구성이 필수적인 체적소성가공 공정의 유한요소해석에서 이 문제는 더욱 난해하다. 이러한 문제의 해결을 위한 다양한 시도가 이루어졌지만, 상용 프로그램의 노하우에 해당하므로 그 접근 방법의 상세한 내용은 잘 알려져 있지 않다.

금형이 단순히 하중만을 전달하고, 접촉영역에서 소성변형을 직접적으로 야기시키지 않는 문제 등을 위해서 비교적 단순한 특수기능을 사용할 수가 있지만[2], 복잡한 형상의 성형에 직접 역할을 하면서 동시에 하중을 부과하는 기능을 수행한다면, 해당 금형의 속도를 미지수로 직접 처리하는 것이 큰

본적으로 해결책이 될 수 있다. 그러나 체적소성가공 공정의 내연적 유한요소해석에서 기존의 기능과 조화를 이루면서 다양한 종류의 조건에 부합하는 기능을 확보하기가 쉽지 않다.

이 연구에서는 스프링 부착 금형에서 스프링을 변위에 따라 변하는 하중을 부과하는 금형으로 간주하고, 금형을 하나의 소재로 간주함으로써 사실상 공정해석 문제를 실제 문제와 가장 가깝게 해석하는 기법을 제안한다.

2. 볼스타드 선단부의 육각 홈 생성 공정의 유한요소해석

볼스타드 냉간단조는 매우 고전적이면서도 소재 및 금형 재료의 발전과 각종 신기술의 접목이 용이한 장점으로 인하여 지속적으로 연구 및 신기술의 접목 대상이 되고 있다. 이 연구의 대상인 Fig. 1은 고강도 재료인 SUS 304의 접목을 위한 볼스타드 제조 공정 중에서 마지막 성형 공정으로 내부의 육각 구멍의 생성이 용이하지 않는 공정이다.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. 경상대학교 기계공학부

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

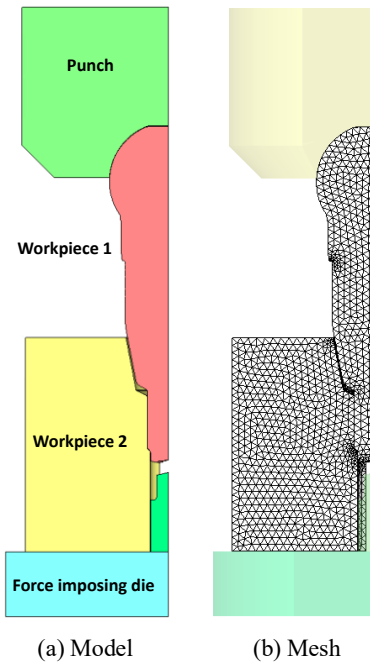


Fig. 1 Analysis model and finite element mesh system

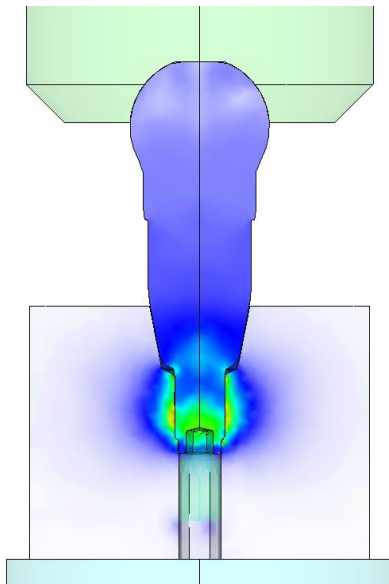


Fig. 2 Effective stress at the final stroke

이 공정을 기존의 속도를 결정하기 위한 축차적 방법으로 해석을 실시할 경우 잦은 요소망재구성 등으로 역학적 환경의 변화로

인하여 스프링 부착 금형에 작용하는 하중의 진동이 크게 발생할 수 있다. 이러한 문제의 근본적 해결과 금형의 탄성변형 등의 영향을 고려하는 방법으로 스프링 부착 금형을 소재와 함께 하나의 성형 대상 물체로 간주하였다. 그 대신 스프링 부착 금형은 탄성체로 간주하였다. 소재와 스프링 부착 금형의 접촉 조건은 수직 방향으로 벌치기법을 사용하였고, 접선방향으로는 Coulomb 마찰법칙을 적용하였다. 이 연구에서 마찰계수는 0.025로 간주하였다.

Fig. 2 는 단조 종료 순간의 유효응력을 나타낸다. 스프링 부착금형의 하중은 0.1 ton 으로 유지되다가 최대압축길이에 도달하면 최대 6.0 ton 의 하중이 예측되었다.

3. 결론

이 연구에서는 스프링 부착 금형을 해석상으로 하나의 독립적인 소재로 간주하는 다물체 해석 기법을 사용하여 정밀 단조 시뮬레이션의 가능성을 보였다.

선행연구에서 개발된 다물체 접촉 처리 기법을 금형에 적용한 것으로 이 기능의 활용으로 보다 정교한 금형 탄성 변형 고려 시뮬레이션이 가능해졌다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 광역협력권산업육성사업(과제 번호: P0006106)과 산업통상자원부의 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업(과제 번호: 10091334)의 지원을 수행되었으면 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M. S. Joun, S. W. Lee and J. H. Jung, 1998, Finite element analysis of a multi-stage axisymmetric forging process having a spring-attached die for controlling metal flow lines, Int. J. mach. Tools Manu., pp. 846-854.
- [2] 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, pp. 237-243.

음향방출센서를 이용한 ESW90 소재의 압축실험에서의 표면 균열 발생 검출

이정음¹ · 이진명¹ · 주호선² · 서영호³ · 김지훈⁴ · 김상우^{1, #}

Surface crack detection in compression of ESW90 using acoustic emission sensor

J. E. Lee¹, J. M. Lee¹, H. S. Joo², Y. H. Seo³, J. H. Kim⁴, S. W. Kim^{1, #}

Abstract

금속 소재의 소성가공과정중 발생하는 균열 생성을 예측하기 위한 다양한 형태의 연성파괴이론이 도입되어 활용되고 있으나, 정확한 균열발생시점 판단을 위한 정량적 측정방법이 부족한 실정이다. 일례로 가공성이 용이한 연성 금속재료의 경우, 표면 균열 생성에 의한 하중 변화가 미미하고, 미세 균열의 발생시점에 대한 시각적 판별이 모호하므로 정확한 균열발생시점을 특정하기 어렵다. 본 연구에서는 구조물의 건전성 검사, 저장탱크의 누수 검사 등 설비 진단에 주로 활용되고 있는 음향방출센서를 활용하여, 소성가공과정중 발생하는 금속 소재의 균열 발생 검출에 대한 적용 가능성을 분석하였다. 가공성이 우수한 ESW90소재의 초기 균열 발생을 유도하기 위해 유한요소해석을 활용하여 시편의 노치 형상을 설계하였으며, 여러 형태의 노치 시편을 제작하여 압축 실험을 수행하였다. 하중 변화 및 음향방출신호를 측정함과 동시에 광학카메라를 이용해 노치 부위의 균열 거동을 측정하였고, 각 방법에 따른 균열발생시점을 상호 비교하였다. 그 결과, 음향방출센서를 이용한 균열 검출 가능성을 확인하였다.

Key Words: Acoustic Emission (AE), Surface crack, ESW90, Compression test, Finite Elemental Method (FEM), Ductile fracture, Metal forming

1. 재료연구소 재료공정혁신연구본부 변형제어연구실
2. 포스코 철강솔루션마케팅실 성능연구그룹
3. 한국생산기술연구원 제조혁신추진단 서남지역본부 스마트가공공정그룹
4. 부산대학교 기계공학부
교신저자: E-mail: kimsu@kims.re.kr

한 쌍의 볼트와 너트를 이용한 두 판재의 조립 공정의 탄소성 유한요소해석

이현준¹ · 유재동¹ · 전만수[#]

Elastoplastic finite element analysis of two plates with a set of bolt and nut

H. J. Lee, J. D. Yoo, M. S. Joun

Abstract

In this paper, elastoplastic finite element analysis of a joining process of two plates with a set of bolt and nut is conducted. Multi-body simulation technique is applied. It has been shown that the joining torque increases linearly with angle of rotation before a part of the teeth starts to plastically deform and that the increase rate of the joining torque with the rotation of the tool decreases until the joining torque reaches its maximum point when the teeth starts to fully plastically deform, which is one of important understanding for determining optimized joining condition.

Key Words : Joining Process (체결공정), Bolt and Nut (볼트와 너트), Elastoplastic Finite Element Method (탄소성 유한요소해석), Multi-Body Problem (다물체 문제)

1. 서론

해석기술의 발전과 더불어 3 차원 다물체 구조해석 및 소성가공 기술에 관한 관심이 고조되고 있다. 3 차원 다물체 역학해석 문제는 역학적 및 수치적 어려움으로 연구활동에 비하여 적용이 제한적이었다. 그러나 최근의 고강도 고신뢰성 구조물 및 자동차부품 등의 수요 증가에 힘입어 특히 소성체결의 필요성이 증대하고 있다 [1].

다물체의 소성체결은 조립 공정에서 핵심적 기술에 속한다.

Jeong 등[2]은 유한요소해석을 통해 조임 및 풀림 해석을 이용한 나사산 형상 설계를 연구하였다. 볼트의 조립 및 분해 공정에 관한 해석 기술을 이용하여 볼트의 형상 설계를 실시하였다. Kim 등[3]은 현장 적용을 위한 일반

볼트의 체결토크 결정 방법에 대해 연구하였다.

이 연구에서는 볼트와 너트로 두 판재를 체결하는 전통적인 체결 공정에 관한 탄소성 유한요소해석을 실시함으로써 체결공정의 과학화의 가능성을 점검한다.

2. 볼트와 너트를 이용한 체결공정의 탄소성 유한요소해석

Fig. 1 은 이 연구에서 대상으로 삼은 가상의 체결공정의 공정도이다. 볼트 및 너트의 구체적인 치수는 규격을 따라서 결정되었다. 너트가 소재에 닿기 전에는 너트와 볼트의 상대운동에 의한 국부적 변형(소성변형 포함)이 발생하도록 치수를 결정하였다. 즉, 볼트와 너트 사이의 간격이 충분히 작도록 하였다.

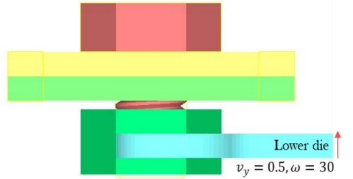
볼트와 너트 사이의 마찰계수를 0.1 로 가정하였다. Fig. 2 는 해석결과를 요약하고 있다.

1. 경상대학교 기계항공공학부

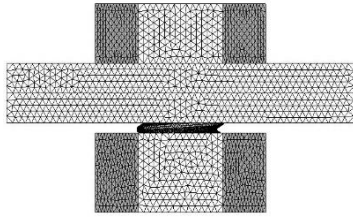
교신저자: 경상대학교 기계항공공학부 E-mail:

msjoun@gnu.ac.kr

Fig. 2(a)는 최종 상태에서 유효변형률의 분포를 나타내며, 체결 중에 국부적으로 소성변형이 발생하였음을 말해 준다.



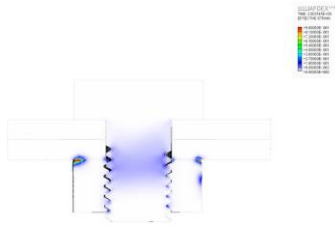
(a) Bolt and nut joining problem



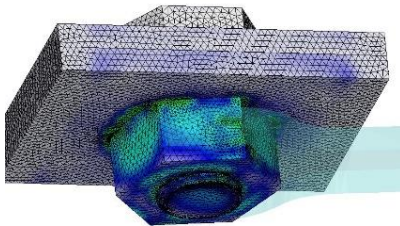
(b) Analysis model

Fig. 1 Conceptual drawing of a bolt and nut system and its finite element analysis model

이것은 Fig. 2(c)에서 체결 토크에서 확인할 수 있다. Fig. 2(b)는 마지막 순간의 유효응력을 나타낸다.

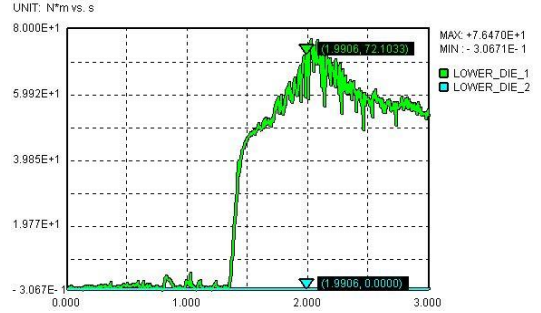


(a) Effective strain after joining



(b) Effective stress at the final stroke

TORQUE vs. TIME



(c) Time-torque curve during joining process

Fig. 2 Finite element predictions

3. 결론

이 연구에서는 볼트와 너트의 조립공정을 3차원 탄소성 유한요소법을 이용하여 연구되었다. 체결 과정에서 탄성 한계에 다다르면 체결력의 증분이 감소하다가 임계점에 이르면, 즉 나사의 산에 가시적인 소성변형이 발생하면서 체결력이 급격하게 감소함이 예측되었다.

후기

이 연구는 산업통상자원부의 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 10081334) 및 산업혁신소재기술개발 프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 20003950) 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] J. D. Yoo, S. H. Chung, M. S. Joun, 2019, "Elastoplastic finite element analysis of a hub bearing assembling process", KSTP Spring Meeting 2019, pp. 103-104.
- [2] Jin Hwan Jeong, Hyun-Kyu Lee, Jong-Bong Kim, and Keun Park, "Thread Shape Design Using Joining and Release Analysis of Bolts", J. Korean Soc. Precis. Eng (2015) Vol. 32, No. 6, pp. 523-528.
- [3] Ji-Won Kim, Young-Soon Park, Seung-Hui Kyung, and Jung-Ju Bae, "General Bolt Torque Decision Method for field Work", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection (2016) pp. 329-332.

SUS 304 소재 볼스타드 단조공정의 비등온 유한요소해석

변종복¹ · 박종복² · 서일동² · 전만수[#]

Non-isothermal analysis of a SUS 304 ball-stud forging process

J. B. Byun, J. B. Park, I. D. Seo, M. S. Joun

Abstract

In this paper, non-isothermal analysis of a SUS 304 ball-stud forging process is conducted using a new material model which is a closed form function of strain, temperature and strain rate covering low and warm temperatures. Assembled die structural analysis scheme is employed for revealing the detailed die stress distributions, which is of great importance for process and die design for metal forming of the materials with high strengths.

Key Words: Non-Isothermal Analysis (비등온해석), Ball-Stud (볼 스타드), SUS 304 (SUS 304), Low and Warm Temperature (저온 및 중온), Assembled Die (조립금형)

1. 서론

고강도 소재의 응용[1]과 경량소재 및 저용 용온도 소재[2]의 사용이 증가하는 추세이다. 이러한 소재의 특징은 성형성이 불량하거나 고 성형하중으로 인한 금형의 파손을 초래하는 것이다.

흔히 냉간단조 공정의 해석은 등온의 조건하에서 이루어지고 있다. Yoo 등[2]은 알루미늄의 냉간단조에서 온도의 영향을 고려할 경우, 성형하중이 최대 40% 정도 감소하는 것을 밝혔다. 이 결과는 알루미늄과 같이 비교적 변형경화가 적은 소재의 소성가공 중 국부적 불안정성을 야기시키게 된다. 이러한 현상은 고강도 소재일 경우에도 변형경화가 작을 때 목격되고 있다[1].

이 연구와 연결된 연구[3]에서 SUS 304의 상온 및 중온(100-400°C) 소성변형 특성에 관한 연구를 실시하였다. 이 연구에서 유동응력의 온도 의존성을 밝혔으며, SUS 304의 경우, 100°C에서 400°C의 온도 상승에 따라 유동응

력의 감소가 약 40% 정도까지 발생하였다.

이 연구에서는 연결된 연구[3]의 결과를 이용하여 SUS 304 볼스타드(Ball-stud)의 냉간단조 공정을 온도의 영향을 강조하여 해석하였다. 고강도 재료의 설계에서 요구되는 해석 결과의 실용성과 정확도를 고려하여 조립금형의 구조 해석을 동시에 실시하였다.

2. 볼스타드 냉간단조 공정의 해석

Fig. 1은 테스트 중의 볼스타드 제조 공정을 개념적으로 나타낸 공정도이다. 총 6개의 공정으로 이루어져 있고, 맨 마지막 공정에서 성형을 향상을 위하여 하부 금형에 스프링이 부착된 금형이 사용된다. 소재의 유동응력은 다음의 수식으로 표현되었다.

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

여기서 Y_0 , b , $\frac{b}{n}$, β_1 , β_2 , γ_1 , γ_2 는 실험데이터를 바탕으로 최적화의 기법으로 획득되었으며, 각각 269 MPa, 0.2504, 0.3687, 0.005, 0.51, 4.6557, 0.0252이다.

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. ㈜대동

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

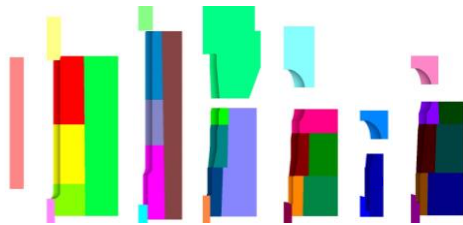
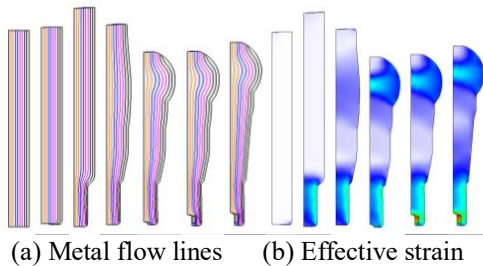


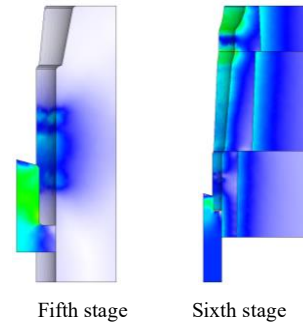
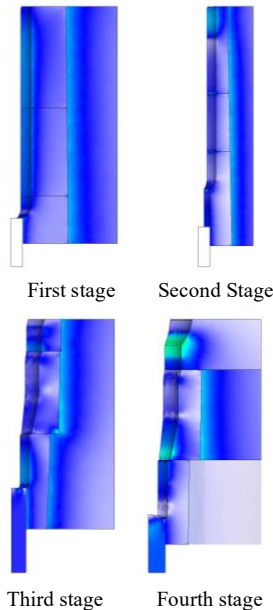
Fig. 1 Process design of the ball-stud cold forging process

마찰계수를 0.05 로 가정하였으며, 분당 생산량은 100 개로 간주하였다. 해석에 사용된 열적 경계조건은 참고문헌 [2]로 대신한다.

Fig. 2는 온도 및 속도의 영향을 고려한 상태에서 획득된 해석결과이다.



(a) Metal flow lines (b) Effective strain



(c) Die stresses

Fig. 2 Predictions of the forging process without considering temperature effect

3. 결론

이 연구에서는 SUS 304 소재의 유동응력의 변형률, 온도, 변형률속도 등의 의존성을 고려한 정밀단조 시뮬레이션이 실시되었다.

이 정밀단조 시뮬레이션 결과는 등온 조건으로 구한 해석결과와 매우 큰 차이를 보였다. 특히 하중 측면에서 등온해석 결과는 비등온해석 결과에 비하여 약 15% 높게 나타났으며, 이것은 고강도 재료의 자동다단냉간단조에서 온도 영향의 고려의 중요성을 강조하고 있다.

후 기

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

참고문헌

- [1] J. G. Eom, Y. H. Son, S. W. Jeong, S. T. Ahn, S. M. Jang, D. J. Yoon, M. S. Joun, 2014, Effect of strain hardening capability on plastic deformation behaviors of material during metal forming, Mater. Des., Vol. 54, pp. 1010-1018.
- [2] K. M. Kim, J. D. Yoo, M. S. Joun, 2019, FE prediction of temperature variation of material and dies with number of strokes in aluminum yoke cold forging, KSTP Spring Meeting 2019, pp. 105-106.
- [3] M. K. Razali, J. B. Park, M. S. Joun, 2019, Plastic deformation behaviors of SUS 304 at low and warm temperature and a mathematical model, KSTP Fall Meeting 2019.

셀프피어싱 리벳팅 공정의 정밀 시뮬레이션

정승원¹ · 전만수[#]

Precision simulation of self-piercing riveting process

S. W. Jeong, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a new policy of remeshing the materials are presented. A moving material point in the rivet is used to define the mesh density of which peak is located at the point. The mesh density linearly decreases up to the input radius of the mesh density limit. The rivet can be optionally excluded in remeshing because its material has relatively quite high strength. An example is given with emphasis on mesh density.

Key Words : Self-Piercing Riveting (셀프피어싱 리벳팅), Remeshing Policy (요소망생성 기법), Multi-body Forming Process (다물체 공정)

1. 서론

셀프피어싱 리벳팅 (Self-piercing riveting, SPR)은 두 개의 판재를 연결하는 목적으로 널리 사용되고 있으며, 이종 소재 간의 체결 수요가 증가함에 따라 관심이 집중하고 있다. 이 공정은 다물체 공정 중에서도 하나의 소재, 즉 리벳이 유동응력 측면에서 다른 소재, 즉 체결 대상의 판재에 비하여 매우 큰 것을 특징으로 한다.

이러한 특징으로 공정 및 해석 측면에 몇 가지 특징이 있다. 첫째, 리벳의 선단부의 모양이 실공정뿐만 아니라 해석결과에 큰 영향을 미친다. 둘째, 리벳의 강한 선단부에 의하여 체결 대상 소재가 분할되는 특징이 있다. 셋째 접촉면의 마찰 특성이 크게 변할 수밖에 없으나 실험적으로 검증하는 것이 용이하지 않다.

이 연구에서는 SPR 공정의 해석에 특화된 요소망재구성 기법 및 전략을 제안하며, 참고문헌 [1]에서 발굴한 가상의 공정에 적용하고 그 결과를 기존 연구결과[2]와 비교함으로써 적용 기법의 특징을 파악하고 가시화한다.

2. SPR 공정 시뮬레이션을 위한 요소망 재구성 전략

SPR 공정은 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 리벳, 체결용 판재, 상부의 하중부와 도구(이하 상부 지지금형으로 칭함) 및 하부의 성형도구(이하 하형 또는 하부 금형으로 칭함)로 구성된다.

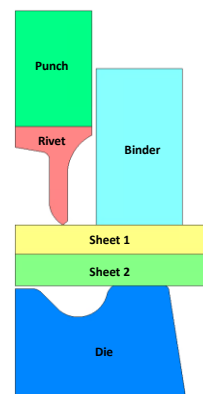


Fig. 1 Schematic diagram of an SPR process

리벳의 강도는 소재에 비하여 상대적으로 매우 큰 특징이 있으며, 리벳의 선단은 SPR 공정을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 그

1. ㈜엘에프알씨 기술연구소

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

런데 대다수의 SPR 공정의 해석 결과[1,2,3]에서 리벳의 선단의 모양이 크게 변화했음을 확인할 수 있다.

선단 모양의 변화는 역학적 원인에도 기인하지만, 사용된 요소망재구성 기법이 적절하지 않을 경우, 요소망재구성에 기인할 가능성이 크다. SPR 공정의 해석에서 요소망재구성의 회수는 매우 클 수밖에 없다. 극단적으로 리벳이 상부의 체결용 판재를 뚫고 들어가서 하부의 판재에 처박히기 때문이다. 따라서 요소망재구성에 관한 고찰 및 최적화는 SPR 공정의 해석에 앞서 이루어져야 한다.

요소망재구성은 필연적으로 경계의 변화를 야기하며, 특히 다물체의 경우, 접촉을 고려할 경우, 인위적 변화가 접촉 상태와 인접 요소들의 상태에 따라 발생할 수 있다. 리벳과 체결용 판재 간에는 유동응력이 크게 차이 나기 때문에 리벳 선단부의 전술한 형상변화는 최소화되는 것이 바람직하다. 따라서 리벳은 자코비안(Jacobian)이 음수가 아닌 경우에는 요소망재구성을 실시하지 않는 방법을 제안한다. 그리고 리벳 선단 주위에서 소성변형 구간이 집중되므로 적절한 요소망재구성을 위한 요소밀도의 부과를 위하여 리벳 선단부의 특정 절점(이 점은 요소망재구성이 발생할 경우, 추적됨)을 중심으로 부과하였다.

Fig. 2는 해석결과를 나타내며, Fig. 3은 리벳의 선단부를 강조해서 나타낸 것이다.

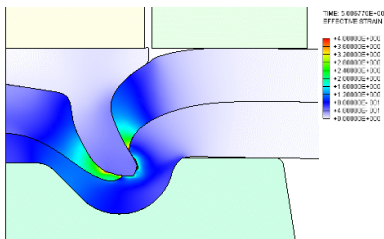


Fig. 2 Predictions of an SPR process

3. 결론

이 연구에서는 SPR 공정에서 요소망재구성 기법의 중요성을 강조하였으며, 리벳의 형상을 보존하는데 초점을 맞추고 리벳 선단부를 중심으로 하는 요소밀도를 부과하는 SPR 공정만을 위한 특화된 전략을 제안하였다.

적용 예제를 통하여 제안된 요소망재구성

전략의 특징을 확인하였다. 제안된 기법은 대부분의 기존 연구가 안고 있는 한계, 즉 실험과 해석 결과의 비교적 큰 차이를 줄이는 연구 목적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

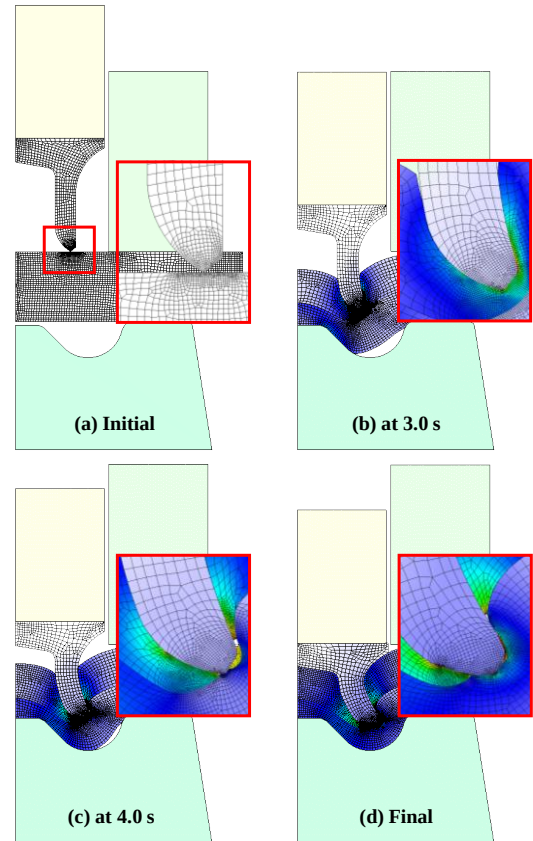


Fig. 3 Detailed view around the rivet tip of the SPR process

참고문헌

- [1] Y. Abe, T. Kato, K. Mori, 2006, Joinability of aluminum alloy and mild steel sheets by self-piercing rivet, J. Mat. Proc. Tech., pp. 417-421.
- [2] S. W. Jeong, J. G. Eom, S. H. Chung, M. S. Joun, 2018, Elastoplastic finite element analysis of a self-piercing riveting process, KSTP Spring, pp. 31-32.
- [3] R. Porcara, A. G. Hanssen, M. Langseth, A. Aalberg, 2006, Self-piercing riveting process: An experimental and numerical investigation, J. Mat. Proc. Tech., pp. 10-20.

소성가공을 위한 금속 사전가열용 고효율 초전도인덕션히터 개발

최종호¹, 조상호²

Development of the high efficient superconducting induction heater to preheat metals for plasticity

J. Choi, S. Cho

Abstract

국내 유도가열 설비산업은 경쟁력 있는 공정기술을 토대로 국내 산업발전과 경제발전에 밑거름이 되어 왔다. 하지만, 현재, 국내유도가열 설비산업은 대용량 저효율 시스템, 국내외 경기침체에 따른 기업의 설비투자 위축 등 금속 가열설비산업의 기술력이 장기 고착화 되어왔고 난항을 겪고 있다. 이에 기업간 과도한 가격경쟁 탈피, 우수 인력수급을 도모하고 내부적으로는 자체적 기술 개발 및 연구가 필수적으로 요구된다.

유도가열이란 전자기 유도현상을 이용하여 금속체를 가열하는 것을 의미한다. 금속체에 직접 에너지를 전달하여 보다 높은 효율로 단시간 가열할 수 있는 장점이 있다. 또한, 유도가열은 에너지절약뿐만 아니라 친환경적으로 공정 자동화에 유리하며 생산성 향상, 품질 고급화를 지양하고 있다. 산업용 가열로는 사용하는 가열방식에 따라 크게 분위기로, 아크로, 유도가열로(교류로, 직류로)로 크게 3 가지로 나뉜다. 분위기로는 발열체를 직접 가열하여 아르곤, 이산화탄소, 질소 등의 가스로 채워진 가열로 내부 전체의 온도를 높인다. 가열하고자 하는 금속 뿐 아니라 주변온도도 높은 온도를 유지해야 하므로 시스템 효율이 20~30%로 아주 낮다. 유도가열로는 전원공급 방식에 따라 교류 유도가열 방식과 직류 유도가열 방식, 두 가지로 구분할 수 있다. 교류 유도가열 방식은 현재 산업체에서 제품에 적용되어 상용화 된 기술로, 상용 주파수 50 ~ 60 Hz 전원을 사용하는 대용량 전기로나 1 kHz 이상의 전원을 사용하는 고주파 유도가열장치에 주로 사용된다. 그러나, 이는 시변자장을 발생시키는 구리코일에 인가된 전원전류에 의한 저항손실의 발생 때문에 시스템 전체 에너지 효율이 50~60% 밖에 되지 않는다.

이에, 본 연구팀은 소성가공(압출, 단조) 제품 생산을 위해 사전가열로로 기존 유도가열에서 잔존하는 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 시스템 효율 80% 이상인 고효율 초전도유도가열시스템을 개발하였고, 소개하고자 한다. 제안된 인덕션히팅 방식은 교류 유도가열방식에서 가장 큰 에너지 손실을 차지하는 구리코일의 저항손을 전기저항이 '0' 인 초전도 코일로 대체하여 코일의 열 손실 없이, 유도가열장치의 전체 시스템 효율을 최대 90%이상까지 향상시킬 수 있는 획기적인 장점을 가지고 있다. 게다가, 가열하고자 하는 금속에 전달되는 에너지는 코일에서 발생되는 자기장의 제곱에 비례하여 전달되고 이는 제품 가열시간을 획기적으로 단축시켜 제품의 생산성을 더욱 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이에 초전도 자석을 설계하고, 제작하여 그 성능테스트를 통한 개발가능성을 검증하였다.

본 연구를 통해 산업용 초전도인덕션히터 개발 및 적용하여 1차 금속 산업의 에너지 효율 및 원가절감, 기업경쟁력 향상에 크게 기여하고자 한다.

Key Words : 초전도 자석, 압출, 단조, 소성가공, 사전가열, 고효율

1. 슈퍼코일 주식회사 # E-mail: supercoil@supercoil.co.kr

냉간단조 공정을 위한 비조질강 열처리 설계

김기한¹ · 배성준¹ · 송용현¹ · 배종은¹ · 윤은유¹ · 이상용² · 이영선[#]

Heat Treatment Design of Non_normalized Steel for Cold Forging processing

K. H. Kim, S. J. Bae, Y. H. Song, J. E. Bae, E. Y. Yoon, S. Y. Lee, Y. S. Lee

Abstract

냉간단조 공정은 성형 후 치수 정밀도가 우수하기 때문에 기어나 볼트 부분의 성형 후 절삭가공을 생략할 수 있어서 공정비용을 최소화 할 수 있다. 하지만 냉간단조 성형 후 높은 잔류응력을 해소하기 위한 후 열처리 공정을 피할 수 없다. 따라서 성형 후 열처리를 생략할 수 있는 비조질강으로 냉간단조로 성형하기 위한 연구가 활발하다. 하지만 성형 시 변형량이 많은 부품의 경우, 비조질강을 이용한 부품 성형도 높은 성형하중이 필요하기 때문에 단조용 소재 적용이 어렵다. 따라서 비조질강의 소재 가공 시 제어냉각 공정을 적용해 다상의 미세조직을 제어하여 항복강도를 낮추기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 냉간단조 공정을 적용하기 위한 비조질강의 열처리를 설계하였다. 실제 비조질강의 원소재를 분석하여 상변태 전산해석을 통한 상태를 분석하고 유한요소해석에 이용하였다. 제어냉각의 1, 2차 열처리의 온도, 시간 변수와 냉각속도에 따른 미세조직 차이를 유한요소해석으로 예측하였다. 또한 실제 열처리를 실시하고 소재의 미세조직과 기계적 특성을 분석하였다.

Key Words : cold forging, non_normalized steel, control cooling, phase transformation, austempering

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 국립 안동대학교

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: lys1668@kims.re.kr

10. 일반 논문 발표

(제 3 발표회장)

냉간가공량 변화에 따른 INCONEL 718합금의 열처리 특성 변화

권용남¹ · 석무영¹ · 김민건¹ · 박태오¹

Mechanical properties of heat treated INCONEL 718 alloy with the variation of cold strain

Y.-N. Kwon, M. Y. Seok, M. K. Kim and T. O Park

Abstract

인코넬 합금은 내열 특성이 우수한 고강도 합금으로 우수한 내식성을 가지는 Ni 합금이다. 인장 강도, 피로 강도 및 크립 특성이 우수하여 -250℃에서 700℃ 범위의 온도에서 사용된다. 주로 구조, 용접 등의 제작 공정을 통해 로켓 엔진, 터빈 엔진 등의 고온 구조 부품에 사용되고 있다. 인코넬 합금은 시효 처리를 통해 강도를 확보하는 합금으로 제조 공정 시 가해진 소성 가공량의 변화에 따라 기계적 특성이 차이를 나타낸다.

본 연구에서는 인코넬 718 합금의 가공 경화량의 변화에 따라 인장특성이 변화를 조사하였다. 인코넬 718 합금의 소성 가공량을 0%에서 수십 %까지 변화시키면서 물성의 변화가 상온 인장특성에 미치는 영향을 조사하였다. 상온 인장 특성에 미치는 영향은 가공 경화량이 시효특성에 미치는 미세조직적 측면에서 분석하였다.

Key Words: Ni alloy, strain hardening, tensile property

1. 재료연구소

권용남: 재료연구소, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

정밀 가공에서 미세 패턴의 형상에 따른 변형에 대한 정성적 분석

송기형¹ · 최영재¹ · 이용신[#]

Qualitative Analysis of Deformations According to the Shape of the Micro-patterns on Precision Machining

K. H. Song, Y. J. Choi, Y. S. Lee

Abstract

미세 패턴의 형상 정밀도는 광학 응용 제품에서 특히 중요한 문제이다. 본 논문에서는 정밀절삭가공을 통하여 미세패턴을 생성하는 경우에 발생하는 형상오차에 대하여 다루었다. 단면의 형상이 삼각형, 사각형, 사다리꼴인 세 가지 미세패턴을 가공하기 위한 가공 조건을 고려하여 에너지법의 적용을 통해 변형발생에 대하여 정성적으로 살펴보았으며, 실제 가공 실험 결과와 비교하였다. 정성적인 분석결과 세 가지 미세패턴들의 변형의 발생 크기는 삼각형 단면을 가지는 미세패턴의 변형이 가장 크게, 사다리꼴 단면을 가지는 미세패턴이 가장 작게 발생하는 것으로 나타났다. 정밀절삭가공을 통해 생성한 세 가지 미세패턴의 형상 측정 결과는 변형의 크기가 에너지법을 이용한 정성적 분석 결과와 동일한 경향을 보여주었다.

Key Words : Precision Machining, Micro Pattern, Deformation

1. 서론

부품의 표면에 생성되는 미세패턴은 그 형태와 크기에 따라 서로 다른 기능을 가지게 된다. 미세패턴의 형상 오차는 기능품질의 저하를 유발하는데, 광학 응용 제품에서는 특히 중요한 문제로 여겨진다. 미세 패턴의 정밀 절삭가공 공정에서 발생하는 이러한 형상 오차의 원인을 명확히 이해하고 해결하기 위한 연구들은 꾸준히 이루어지고 있다.[1, 2] 본 논문에서는 절삭가공을 이용하여 미세패턴을 생성하는 경우에 형상 오차의 발생에 대하여 정성적으로 분석하여 보았다.

2. 실험방법

초정밀 가공기를 이용하여 단면의 형상이 삼각형, 사각형, 사다리꼴인 세 가지 형상의 미세패턴을 가공하였다. 가공간에 전체 가공깊이를 수 차례에 나누어 가공하는 형태로 공정을 수행하였다. 미세 패턴 시편에 대하여 FIB 밀링 공정으로 패턴 단면을 형성 후 SEM으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1 (a)는 가공 깊이를 여러 차수에 걸쳐 가공하는 공정의 마지막 가공 차수에서의 미세패턴이 생성되는 것에 그림으로 표현한 것이고, (b)는 이 때에 공구가 진행하면서 생성되는 미세패턴의 길이방향으로의 단위체적을 설명하는 그림이다.

1. 한국생산기술연구원 IT융합공정그룹, 연구원

2. 한국생산기술연구원 IT융합공정그룹, 수석연구원

교신저자: 국민대학교 기계공학부, 교수, E-mail:yslee@kookmin.ac.kr

소재의 소성변형의 근사해법들 중 가장 단순한 방법인 에너지법에서 소재에 가해지는 소성일을 변형률의 관점에서 정리하고, 소성 가공력이 작용하는 체적을 Fig. 1 (b)에서 나타낸 단위체적으로 적용하면, 세 가지의 미세패턴에서의 변형률을 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{\epsilon_1} : \overline{\epsilon_2} : \overline{\epsilon_3} = \frac{\eta p d}{5 Y} : \frac{\eta p d}{6.495 Y} : \frac{\eta p d}{2.165 Y} = 6.495 : 5 : 15 \quad (1)$$

식 (1)로부터 나타나는 세 가지 미세패턴의 변형률의 정성적인 크기의 관계는 실제 실험결과에서 관찰된 형상오차와 동일한 경향을 보여주었다.[2]

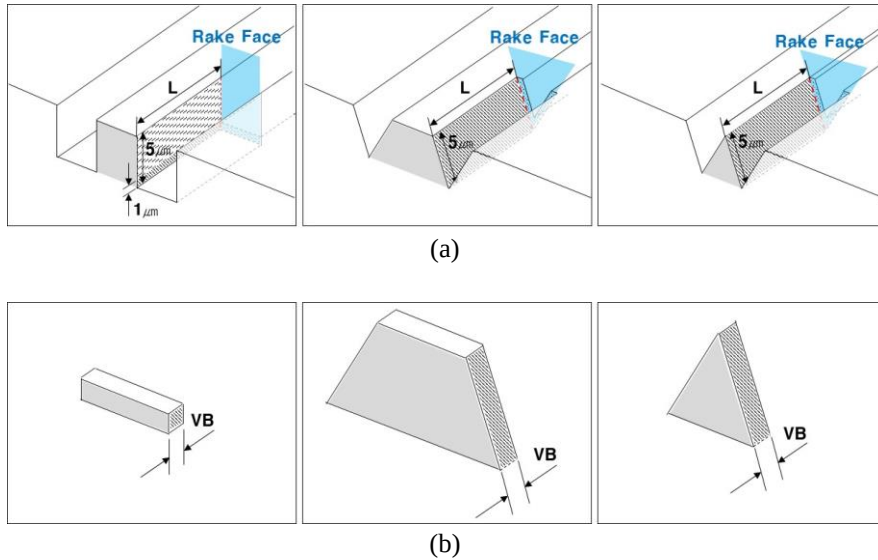


Fig. 1 Schematic of the Machining Process and Unit Volume of Micro-pattern : (a) Schematic of the Machining Process, (b) Unit Volume of Micro-pattern of the last order of machining depth per cycle by feed rate

4. 결론

수 마이크로론 크기의 미세패턴을 정밀가공을 통하여 가공하는 경우에 발생하는 형상오차를 에너지법을 이용하여 정성적인 분석을 수행하였으며, 실험결과와 비교하여 보았다. 미세패턴의 변형률의 크기는 소성 가공력 대비 작용하는 체적의 상대적인 크기에 비례하였으며, 실험결과도 동일한 경향을 보였다.

후기

본 연구는 기계산업핵심기술개발사업인 “장비제어공정 통합 가상공작기계 기술 및 이에 기반한 공작기계 지능화 원천기술 개발”의 지원을 받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] R. Kobayashi, S. Xu, K. Shimada, M. Mizutani, T. Kuriyagawa, 2017, Defining the Effects of Cutting Parameters on Burr Formation and Minimization in Ultra-precision Grooving of a Amorphous Alloy, Prec. Eng. Vol. 49, pp. 115-121.
- [2] K. Song, Y. Choi, Y. Lee, 2019, A Study on the Deformation Behavior of a Microstructure Depending on Its Shape and the Cutting Section in the Precision Cutting of a Functional Part, Appl. Sci. Vol. 9, pp. 2940.

수소화-탈수소화법을 통해 제조된 Nb-Mo-Si-Cr 복합분말의 소결 거동 연구

이성용^{1,2}, 이선규¹, 박성민¹, 박형기², 민석홍¹, 하태권[#]

Nb-Mo-Si based in situ composite powder prepared by hydrogenation-dehydrogenization reaction and its sintering behavior

S. Y. Lee, S. K. Lee, S. M. Park, H. K. Park, S. H. Min, T. K. Ha

Abstract

에너지 효율 증대와 극한 고온 환경에서 사용하기 위한 Ni기 초내열합금 이상의 극한 고온 환경에서 사용이 가능한 차세대 초내열합금에 대한 연구 및 개발이 필요하다. Nb 기반 합금은 Ni 합금보다 상대적으로 낮은 밀도를 가지고 있으며 높은 고온 강도를 가지고 있다. 이러한 장점은 기존 Ni 합금을 대체할 경우 부품의 경량화와 효율을 증대시킬 수 있으며 보다 고온환경에서 사용이 가능하다. 다만 Nb의 높은 녹는점으로 주조기술 적용이 어려우며 실리사이드의 낮은 가공성과 취성으로 가공과 절삭을 통해 부품을 제조하기 어렵다. 이러한 단점을 해결하기 위해 최근 각광받는 3d 프린팅 기술과 분말야금기술을 이용해 부품을 제작하는 연구가 되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 Nb기 내열합금의 부품화를 위한 연구로 분말 제조 및 소결 기술에 대한 연구를 진행하였다. 고온강도가 우수한 Nb-Mo-Si-Cr 합금을, 분말화 시키기 위해 Nb의 수소화 반응을 통해 취성을 유발하여 수소화-탈수소화반응을 통해 분말을 제조하였다. 제조된 수소화-탈수소화 분말의 일반적인 소결 열처리와 방전 플라즈마 소결의 2가지 공정 조건을 통해 소결 거동확인 하였으며 XRD 분석을 통해 소결온도와 조건에 따른 상변화를 확인 하였다.

Key Words : Nb-Mo-Si based in situ composite, Nb alloy; powder, spark plasma sintering, sintering behavior

1. 강릉원주대학교 신소재금속과

2. 한국생산기술연구원

강릉원주대학교 신소재금속과, tkha@gwnu.ac.kr

고지르코늄 함유 생체적합형 저탄성계수 타이타늄 합금 개발

권용재^{1,2} · 조영찬^{1,2} · 최신영¹ · 하태권[#] · 민석홍¹ · 김양후²

Development of biocompatible low elastic modulus Titanium alloy with high Zirconium

Y. J. Kwon, S. Y. Choi, T. K. Ha, S. H. Min, Y. H. Kim

Abstract

본 연구에서는 지르코늄이 과량 첨가된 의료 목적의 저탄성계수를 갖는 타이타늄 합금의 개발과 그 기계적 특성에 대해 조사되었다. 생체적합성이 우수한 원소로 이루어진 4원계 Ti-35Zr-12Nb-(0~4)Sn (at.%) 합금을 제작하여 각 조성과 냉간 가공에 따른 기계적 물성 변화를 조사하였다. Sn의 첨가량이 0~2.5 (at.%) 범위에서 증가함에 따라 탄성계수의 감소와 인장, 항복강도의 증가를 확인하였고 Sn=2.5 (at.%)의 조성에서 ~50GPa, 강도 ~900MPa의 우수한 특성을 확인하였다. 또한 해당 합금에서 변태변형량 2~3%의 초탄성 거동을 확인하였다. 본 연구를 통해 고지르코늄 함유 타이타늄 합금의 추후 의료산업 적용의 가능성을 판단할 수 있었다.

Key Words : Titanium alloy, Biocompatible, High Zirconium, mechanical properties

1. 강릉원주대학교

2. 한국생산기술연구원

강릉원주대학교 : tkha@gwnu.ac.kr

ALE 기법을 이용한 마찰교반용접 공정의 유한요소해석

문희범¹ · 윤용석¹ · 이경훈[#]

FEM Simulation of the Friction Stir Welding Process using ALE

H. B. Moon, Y. S. Yoon, K. Lee

Abstract

마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW)은 친환경적, 에너지 절약형 용접 공정으로 자동차나 항공기, 조선 외에도 건축, 토목, IT 산업 분야에서도 각광받고 있다. 마찰교반용접의 원리는 회전하는 용접 톨이 용접하고자 하는 두 재료의 사이에 삽입되어 그 사이를 진행하며 마찰열을 발생시킴으로써 톨 근처에 존재하는 재료의 온도 상승과 국부적인 소성변형을 유발하여 재료를 혼합하는 것이다.

마찰교반용접의 연구 방향은 재료, 두께, 배치, 장비 성능 등을 경험에 기반하여 실험적 방식으로 연구하는 기계적/금속학적 측면에서의 분석과 실험적 방식의 단점인 실행 오차 수와 고속 변형으로 인한 유동 양상 분석의 어려움을 보완하고 분석하기 위한 수치해석을 도입한 연구가 이루어졌다.

기존에는 마찰교반용접의 수치해석을 솔리드 형태의 모델로 라그랑지안(Lagrangian) 해석법을 사용하거나[3]이나 유동해석을 기반[4]으로 하는 형태로 진행하였으나, 라그랑지안 해석법의 경우 초기 요소망의 찌그러짐으로 인한 해의 부적합이나 과도한 해석 소요시간의 한계가 있었고, 유동해석 기반의 방식은 공정 중 재료에 발생하는 변형열과 마찰열을 계산이 아닌 가정을 통해 연구자가 직접 부여해야 하는 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 마찰교반용접의 수치해석에 적합한 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian)해석기법을 개발하고 이를 적용하여 이중 마찰교반용접 공정의 수치해석을 수행, 용접 후 각 재료의 온도와 소성 변형률, 용접 톨 주변에서의 재료의 체적분율을 분석하였다.

Key Words : Friction Stir Welding(마찰교반용접), Finite Element Method(FEM, 유한요소법)

1. (주) 솔루션랩

교신저자: (주) 솔루션랩, E-mail : klee@solution-lab.co.kr

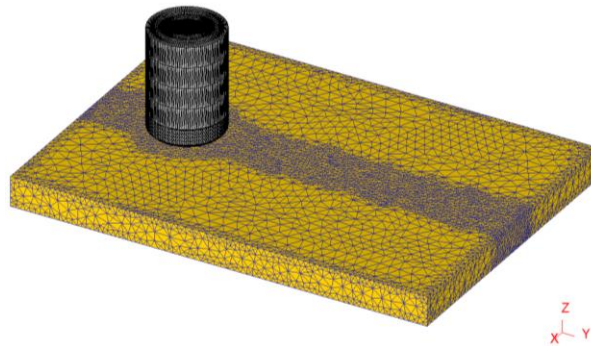


Fig. 1 The FE model of FSW simulation

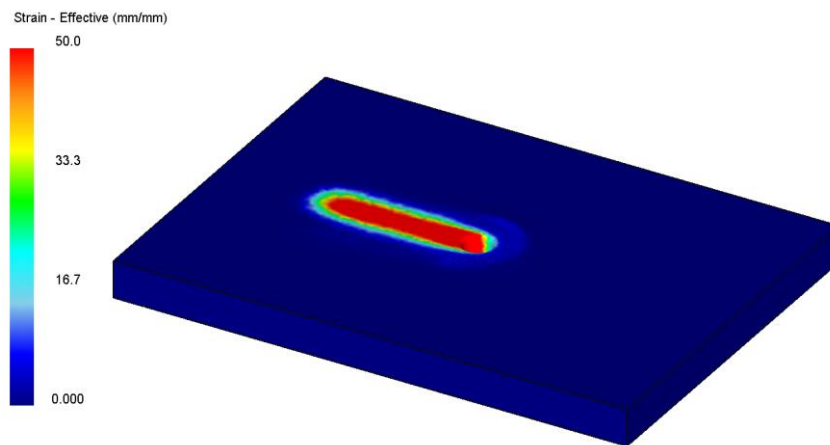


Fig. 2 Temperature contour of simulation model

참고문헌

- [1] 이대열, 2015, 알루미늄 합금재의 마찰교반용접 유한요소해석에 관한 연구, 한국기계가공학 회지, Vol. 14, No. 5, pp.81-87
- [2] 임재용, 2019, coupled Eulerian-Lagrangian기법을 이용한 이중 마찰교반용접 해석모델 개발, 한 국산학기술학회 논문지, Vol. 20, No. 2, pp. 7~13
- [3] S.Tutunchilar, 2012, Simulation of material flow in friction stir processing of a cast Al-Si ally, Materials and Design, Vol. 40, 2012, pp. 415~426
- [4] 김무선, 2017, 유동 해석을 통한 마그네슘 합금의 마찰교반용접 분석 연구, 한국산학기술학 회 논문지, Vol. 18, No. 12, pp. 679~684

SLM공정에 의해 제조된 격자구조체의 압축 거동 평가

이진명¹ · 이정음¹ · 김지훈² · 김상우^{1, #}

Evaluation of compressive behavior of lattice structures fabricated by SLM process

J. M. Lee¹, J. E. Lee¹, J. H. Kim², S. W. Kim^{1, #}

Abstract

특정단위셀의 형상이 규칙적, 반복적으로 배열되어 있는 격자구조체는 높은 비강도와 비강성 및 에너지 흡수성을 가지는 다기능 초경량 구조체로써 자동차, 우주항공, 의료 등 다양한 산업분야에 적용 가능하나, 복잡한 3차원 형상으로 인해 금속 소재를 활용하기 위한 기존 제조공정의 적용에 한계가 있었다. 최근, 금속 분말 소재를 이용한 적층 제조 공정기술의 발전과 함께 다양하고 복잡한 형상의 제품 제조가 가능해짐에 따라 격자구조체에 대한 관심이 급증하고 있다. 본 연구에서는 금속 적층제조방법중 정밀제품제조가 가능한 SLM(Selective Laser Melting) 장비 및 316L 스테인레스 스틸 분말 소재를 이용하여, 격자구조체를 제작하고 압축 거동을 분석하였다. 피라미드 및 테트라헤드럴 단위셀로 구성된 두 종류의 격자구조체에 대해 설계 변수에 따른 다양한 시편을 제작하여 압축 실험을 수행하고, 압축 변형 형상 및 등가물성을 측정함으로써 격자구조체의 압축 특성을 분석하고, 단위셀의 형태에 따른 특성을 비교하였다.

Key Words: Finite Element Method(FEM), Selective Laser Melting(SLM), Lattice structures, Additive manufacturing, 3D printing, Tetrahedral truss, Pyramidal truss, Stainless steel 316L

1. 재료연구소 재료공정혁신연구본부 변형제어연구실
2. 부산대학교 기계공학부
교신저자: kimsw@kims.re.kr:

전기 저항 점 용접한 자동차용 강판의 파손 거동 분석

노우람^{1#} · 이명규² · 송정환¹ · 조규섭¹ · 이도훈¹ · 김경일¹

Failure Behavior of Resistance Spot Welded Steel Sheets

W. Noh, M.G. Lee, J.H. Song, G. Cho, D. Lee, K.I. Kim

Abstract

Failure analyses of resistance spot welded advanced high strength steel sheets were made under dynamic loading conditions. Based on hardness distribution and optical microscopic observation on the cross-section of the spot welded joint, two constituent zones; i.e., weld nugget zone and the base material zone, were identified. Mechanical properties of the base materials were characterized based on tensile tests ranging from quasi-static to dynamic strain rates. As for the weld nugget, a newly developed miniature specimen was used to obtain tensile load-displacement data with good repeatability covering various strain rates. Inverse finite element analysis was carried out to characterize fracture criteria and hardening curves of weld nuggets as well as base materials. The finite element modeling along with the identified mechanical properties of the spot welded joint could provide good prediction accuracy for the failure mode and failure strength of the lap-shear and coach-peel tests with single spot welded coupons.

Key Words : Resistance Spot Weld, Tensile-Shear Test, Cross-Tension Test, Failure Mode, Load-Carrying Capacity, Finite Element Analysis

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. 서울대학교 재료공학부

교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, wnoh@kitech.re.kr

침탄 열처리된 기어의 피로 파단 기구 분석을 위한 물성 평가

장인제^{1,2} · 노우람¹ · 방준호^{1,3} · 송정환^{1,#}

Evaluation of Elasto-Plastic Properties for Fatigue Failure Mechanism Analysis of Carburized Steel Gear

I. J. Jang, W. Noh, J. H. Bang, J. H. Song

Abstract

차량의 품질을 결정하는 NVH (Noise, Vibration, Harshness) 성능 향상 및 구동손실 감소를 위해서는 구동계의 주요 부품인 기어의 내구성을 향상이 필요하다. 이를 위해서는 기어의 내구성을 정량적으로 평가하고 품질을 예측하는 연구가 필요하며 제조 공정 조건에 따른 물성변화와 기계적 피로 성능의 관계를 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 침탄 열처리된 기어의 피로파단 분석을 위해 표면으로부터 깊이 방향으로 상이한 침탄층의 물성 평가를 진행하였다. 우선적으로 비커스 경도 실험을 통해 유효 침탄층의 두께 및 경도를 측정하였다. 이를 바탕으로 매크로 및 마이크로 계장화 압입시험(Instrumented indentation Technique)을 수행하여 탄성물성을 정량적 값으로 도출하였으며, 소성 물성 분석을 위한 유한요소해석 모델을 개발하고 하중인가-제거 곡선을 역분석(Inverse analysis)하여 침탄부 깊이에 따른 유동응력 선도를 도출하였다.

Key Words : Fatigue, Carburized steel Gear, Instrumented indentation Technique, Inverse analysis

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. 한양대학교 융합기계공학과

3. 서울대학교 재료공학부

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

나노인덴테이션을 이용한 텅스텐의 연성 - 취성 천이 온도 분석

오연주¹ · 고원석² · 광노준¹ · 타카히토 오무라³ · 한흥남^{1,#}

Development of ductile-to-brittle transition temperature measurement of tungsten using nano-indentation

Y. Oh, W. Ko, N. Kwak, T. Ohmura, H. N. Han

Abstract

Ductile-to-brittle transition temperature (DBTT) is conventionally measured by a charpy impact test and comprehensively interpreted based on a Yoffee diagram. The specimens for impact tests are typically designed to have a notch to induce the crack propagation during the measurement. However, tungsten possesses a critical drawback of brittleness, which makes it challenging to machining the impact testing specimens at room temperature. Nano-indentation has become a powerful tool of nondestructive testing to investigate the fundamental characteristics of materials on a small scale. In this presentation, we suggest a new approach to predict the DBTT of tungsten with constructing a Yoffee diagram by systematically utilizing experimental and theoretical analyses: high temperature vacuum nano-indentations provide a statistical distribution of the maximum shear stress corresponding to the onset of plastic yielding at various temperature conditions; atomistic simulations provide information of fracture strength at various grain boundaries (GBs). Such mechanical properties are evaluated at elevated temperatures for 4 kinds of tungsten specimens with different dislocation densities, then we could describe Yoffee diagrams with three temperature sections : brittle, semi-brittle and ductile region. The DBTT of each tungsten specimen can be finally determined at the semi-brittle range, where the maximum shear stress statistically rises above the GB fracture stress. With such an unconventional method, we predict the DBTT and discuss in detail a microstructure dependence on DBTT of tungsten.

Key Words : Tungsten, DBTT, Nano-indentation, Yoffee diagram, Dislocation

1. 재료공학부, 서울대학교

2. 재료공학부, 울산대학교

3. 재료연구소(National institute for materials science), 일본,

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

11. 일반 논문 발표

(제 3 발표회장)

패스 스케줄 개선을 통한 H형강 Flange 중심부 Scale 결함 개선

이종빈[#]

Technology to reduce scale defects on Flange center of H shaped beam by improving rolling pass schedule

J. B. Lee

Abstract

Scale defects are one of critical problems at hot steel rolling process. Scale is formed during heating and cooling of rolling process. Generally, conditions of reheating furnace and cooling rate at rolling process are controlled to reduce scale defects. In this study, rolling pass schedule is changed to improve scale defects which are detected mainly on the center of flange surface as band or line shape.

Key Words : Scale, H shaped beam, Pass schedule, Rolling process, Fin defect

1. 서론

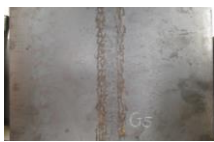
열간 압연의 가열 및 냉각 과정에서 Scale은 피할 수 없이 항상 발생하며 이러한 Scale에 의한 결함은 열간 압연에서 해결해야할 중요한 문제 중 하나이다. Scale이 발생하면 일반적인 해결책으로 가열 공정 조건들을 제어한다. 본 연구에서는 H형강 Flange 중심부에 Band 형상 또는 Line 형상으로 발생하는 Scale 결함을 대상으로 압연 Pass schedule을 수정하여 Scale을 개선하였다.

2. Scale 결함 및 개선 방법

H형강을 제조하기 위해 다양한 방식을 사용하고 있으나 보통 대형 형강은 Reversing 압연을 채택하는 경우가 많고 중소형 형강은 Tandem 압연기를 채택하는 경우가 많다. Reversing type의 경우 조압연(Lead pass 압연)은 Reversing의 공형 압연을 사용하고 사상압연은 Edger 압연을 포함한 3~4대의 Universal 압연기를 사용¹⁾한다. 본 연구는 Reversing type을 대상으로 실시되었다. 그림1은 H형강 제품의 Flange에 발생한 Scale 결함을 보여 준다.



[결함 위치]



[결함 형상]

그림1. Scale 결함 위치 및 형상

[#] 포스코기술연구원 기계설비연구그룹, E-mail:misterbean@posco.com

결함 원인을 파악하기 위해서 그림1과 같은 Scale 결함이 발생한 사이즈의 Lead pass에 주목하였고 상기 결함이 발생하는 Lead pass에서는 그림2와 같은 Fin이 Flange의 중심부에 발생하고 있는 것을 확인하였다.

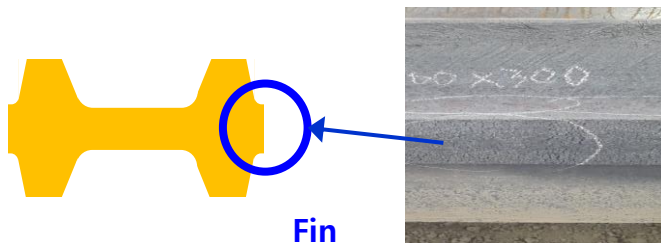
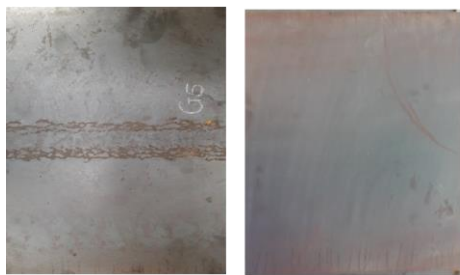


그림2. Lead pass에 발생한 Fin

Lead pass Flange부의 Fin을 개선하기 위해서 BDM 공형의 코너 R을 증가시키고 Box 공형의 압하율을 증가시켜 Fin을 제거하였다.

3. 결과 및 고찰

그림3은 Lead pass Flange부 Fin 개선 전후의 제품의 Flange 표면 사진이다. 육안으로도 개선결과를 뚜렷이 확인할 수 있다. 그림4는 개선 전후의 Flange부 Scale 깊이 및 분포 면적을 측정 한 결과이다. 분포 면적은 30% 이상, Scale 깊이는 50%이상 개선된 것을 확인할 수 있다. BDM에서 상대적으로 압연량이 적은 Lead pass의 Fin은 거친 표면을 가지고 있어 2차 Scale의 발생이 쉽고 사상압연에서 수직롤에 의한 Flange 두께 압연시 압착되어 Scale 결함으로 발전한 것으로 예측하고 있다.



[개선 전]

[개선 후]

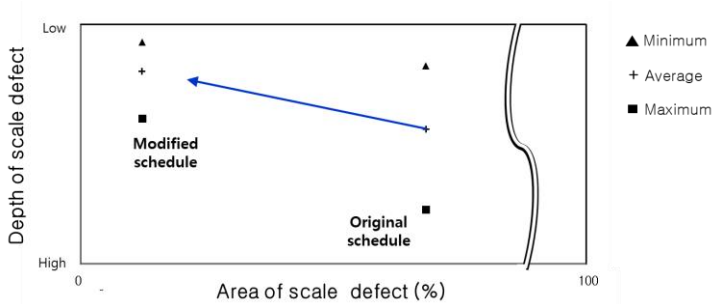


그림3. Fin 개선 전후 제품 Flange 표면

그림4. Fin 개선 전후 Scale 깊이 및 분포 면적

4. 결론

H형강 Flange 중심부에 Band 형상 또는 Line 형상으로 발생하는 Scale 결함을 개선하기 위해서 공형 형상 및 압연 Pass schedule을 수정하였다. 수정된 Pass schedule을 적용하였고 Scale 결함 개선에 탁월한 결과를 보였다.

참고문헌

- 1) 형강압연 기술교육 실무, 한국철강협회, PP.145

알루미늄 합금 판재의 소성변형비

이철우¹ · 이동녕² · 김인수^{1, #}

Plastic strain ratios of Al alloy sheets

Abstract

알루미늄 합금은 비중이 낮아 경량소재로 사용되고 있다.
따라서 알루미늄 합금 판재는 자동차 경량화를 위한 강판의 대체 재료로 관심이 높은 재료이다.
그러나 알루미늄 합금은 완전 어닐링한 후에 판재 성형성이 매우 낮는데 그 이유는 성형성이 낮은 집합조직인 입방(Cube) 집합조직이 발달되기 때문이다.
자동차 경량화를 위하여 이 문제를 해결해야 한다.
그동안 본 연구실에서는 알루미늄 합금에서 이 문제를 해결하기 위하여 입방(Cube) 집합조직을 감소시키는 연구를 상온 비대칭 압연, 비대칭 압연을 통하여 많은 연구를 하였다.
연구 결과 여러가지 알루미늄 합금에서 상온 비대칭 압연과 열처리 및 열간 비대칭 압연을 통하여 성형성에 영향을 주는 -fiber강도를 향상시 좋은 결과를 얻었다.
따라서 본 연구에서는 그동안의 연구 결과를 종합하였다.
종합한 결과 냉간 비대칭 압연 후 열처리한 시편이나, 열간 비대칭 압연 시편에서 어떤 조건에서 성형성을 향상시키는 -fiber강도가 증가하여 소성변형비가 증가하는 결과를 얻었다.

Key Words : Asymmetric rolling, Pole figure, -fiber, plastic strain ratio

참고문헌

1. J.-H. Lee, G.-H. Kim, S. K. Nam, I. Kim and D. N. Lee, Calculation of Plastic Strain Ratio of AA1050 Al Alloy Sheet processed by Heavy Asymmetric Rolling-Annealing Followed by Light Rolling-Annealing, Computational Materials Science, 2015, 100, p 45-51
2. S. K. Nam, I. Kim and D. N. Lee, Improvement in Plastic Strain Ratio of AA1050 Al Alloy Sheet by Enhancing The <111>//ND Texture Component, Applied Mechanics and Materials, 2016, 835, p 203-209
3. G.-H. Kim, S. K. Nam, D. N. Lee and I. Kim, A process for increasing plastic strain ratio of AA1050 Al alloy sheet, International Journal of Materials and Product Technology, 2017, 54(1/2/3), p 202-211
4. D. N. Lee and I. Kim, Asymmetric rolling of aluminum and its advantages, Light Metal Age, 2016, 74(1), p 54-59 and 94

1. 금오공과대학교 신소재공학부
2. 서울대학교 재료공학부

12. 경량금속 심포지엄

(제 4 발표회장)

박판주조 및 압연 공정을 이용한 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금 판재제조

김형욱¹, 이윤수¹, 김민석¹, 김원경¹, 어광준¹

Fabrication of high strength Al-Zn-Mg-Cu alloy sheets by twin roll casting and rolling process

H. W. Kim, Y. S. Lee, M.S.Kim, W.K Kim, K.J.Euh

Abstract

Two Al-Zn-Mg-Cu alloy sheets with the thickness of below 1 mm were successfully fabricated by twin roll casting and rolling process. The annealed 7075 sheets showed tensile strength of 370MPa and elongation of over 20%. After aging at 180°C for 30 minutes, tensile strength and yield strength of the sheets increased up to 480MPa and 350MPa, respectively. Meanwhile, the annealed 7068 sheets showed higher tensile strength and large elongation of over 20% due to larger content of Zn alloying elements. However, the elongation of annealed 7068 sheets decreased remarkably by natural aging at ambient temperature. Pre-aging(120°C x 10min) after solution heat treatment prevent the decrease of tensile elongation during natural aging and increase yield strength up to 563MPa after bake hardening

Key Words : Al-Zn-Mg-Cu, strip, sheets, twin roll casting, rolling, strength

1. 서론

알루미늄 합금이 기존 철강 차체를 대체하면 약 30~ 50%정도까지의 경량화가 가능하며 비강도 증가를 통한 경량화 효율 향상을 위한 연구가 진행중이다. 최근에는 항공기 구조용 소재로 주로 쓰이는 7075합금을 자동차 차체프레임에 적용하여 강도 및 강성을 증가시키는 연구가 수행 중이나 기존 철강판재 대비 높은 소재가격으로 실제 적용에는 제한이 많다. 본 연구에서는 Al-Zn-Mg-Cu계 판재를 저비용 공정인 박판주조공정을 제조하고 이를 압연 및 열처리하여 차체에 적용가능한 고성형성 고강도 판재를 개발하고자 하였다. 제조된 판재의 미세조직, 상온 및 고온 성형성을 평가하여 고강도 차체 프레임의 적용 가능성에 대하여 고찰하였다.

2. 실험방법

Al-Zn-Mg-Cu 합금 판재 중 강도가 높은 7075(Al-5.2wt%Zn-2.3wt%Mg-1.5 wt%Cu) 및 7068(Al-7.9wt%Zn-2.7wt% Mg -2.1wt%Cu) 합금판재를 Twin Roll Casting (TRC)으로 제조하였다. 먼저 목표조성에 상당하는 용탕을 전기로 이용하여 용해한 후 교반 및 탈가스하고 용탕을 세라믹 노즐을 사용하여 두개의 냉각롤 사이에 주입하여 두께 5mm 판재로 주조하였다. 주조된 판재는 400도에서 1시간 열처리한 후 250도에서 두께 2mm까지 열간압연하였고, 다시 400도에서 1시간 열처리 한 후 두께 1mm까지 냉간 압연하였다. 냉간 압연된 판재는 470도에서 500도 사이에서 30분내지 1시간 용체화 처리하였다. 각 판재의 기계적 특성 평가는 ASTM E8M기준 서브사이즈 인장시편을 가공하여 인장시험 하였다. 판재에 대한 소부경화처리 후 특성 평가를 위해 용체화처리 후 1주일간의 자연시효를 거친 후 오일베스를 이용하여 180도에서 30분 시효처리하였으며 인장특성을 평가하였다. 각 조건의 시편에 대한 미세조직을 광학현미경과 전자현미경

1. 재료연구소 금속재료연구본부

교신저자: 재료연구소 김형욱 E-mail: hwkim@kims.re.kr

으로 조사하고 용체화 처리에 따른 결정립 및 시효석출 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

제조한 알루미늄 스트립은 박판주조시 빠른 냉각속도로 인하여 주조립의 크기가 $30\mu\text{m}$ 이하이고 $10\mu\text{m}$ 이하의 이차수지상정간격을 나타내어 미세한 주조조직을 나타내었다. 이러한 미세한 주조조직으로 인하여 균질화처리없이 두께 2mm 까지 온간압연이 가능하였으며 두께 1mm 인 냉간압연한 판재를 얻을 수 있었다. 7075판재는 500도에서 1시간 7068합금판재는 470도에서 30분 열처리하였을 경우 미세 균일한 재결정립 조직을 나타내었으며 가장 우수한 인장특성을 나타내었다. 각 시험조건에서 제조한 시편의 인장특성과 미세조직을 그림 1과 2에 나타내었다.

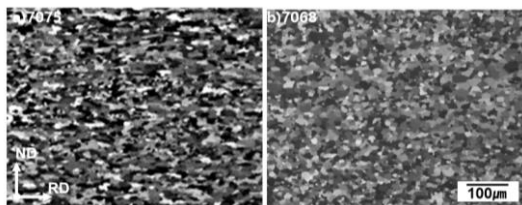


그림 1 제조 7075 및 7068합금의 미세조직

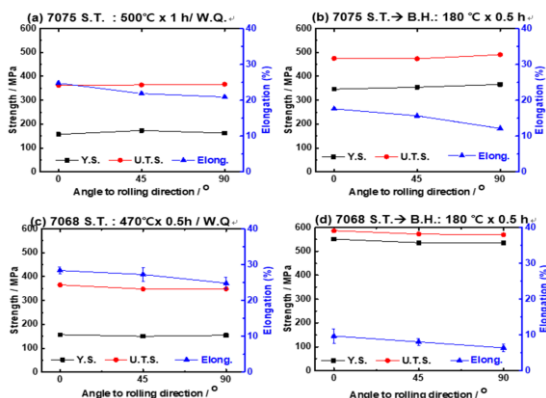


그림 2 제조 7075 및 7068합금의 인장특성

7075합금의 경우 용체화처리 직후 인장강도 370MPa , 항복강도 150MPa , 연신율은 20%이상의 특성을 얻었으며 소부경화처리 후 인장강도는 480MPa , 항복강도는 350MPa 정도까지 증가하였다. 7068합금은 용

체화처리 후 비슷한 인장 및 항복강도를 나타내었으며 25%이상의 높은 연신율을 나타내었다. 또한 7075합금보다 Zn함량이 높아 시효처리 후 항복강도는 550MPa 까지 크게 증가하였다. 7075합금을 용체화처리 후 상온 방치 시 자연시효로 인한 물성 변화로 소부경화 후 항복강도가 300MPa 정도로 강도증가 효과가 낮으며 7068합금의 경우에는 자연시효 시 연신율이 25%에서 10%정도까지 크게 감소한다. 이러한 자연시효로 인한 기계적 특성 변화를 억제하고 소부경화처리 후 높은 항복강도를 얻기 위하여 용체화처리 직후 예비시효처리를 실시하였다. 다양한 예비시효처리를 실시하여 연신율이 우수하고 소부경화처리 후 높은 강도를 얻을 수 있는 최적 조건을 도출하였다. 7075합금판재에 대하여 용체화처리직후 120도에서 30분 예비시효처리 하였을 경우 연신율은 18%정도로 유지되었으며 소부경화처리 후 항복강도는 430MPa 이상으로 크게 증가하였다. 이는 예비시효로 인한 다량의 미세 석출상의 생성에 의한 효과로 판단된다. 7068합금의 경우 120도에서 10분 예비시효처리 시 석출 전단계의 미세한 상들이 알루미늄 기지내에 다량 존재하여 자연시효로 인한 불균일한 석출을 억제하여 연신율은 18%를 유지하였으며 소부경화처리 후 항복강도도 567MPa 로 크게 증가하였다.

4. 결론

박판주조공정을 사용하여 7075 및 7068 고강도 알루미늄 합금판재를 제조할 수 있었으며 압연 및 열처리하여 강도와 연성이 우수한 두께 1mm 인 차체용 판재 제조가 가능하였다. 또한 예비시효처리를 도입하여 자연시효로 인한 물성변화를 억제하고 소부경화처리 시 높은 항복강도를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 재료연구소 주요사업(PNK5990)으로 수행한 연구결과임.

참고문헌

- [1] H.W.Kim, Y.S.Lee, M.S.Kim, C.Y.Lim, Light Metals 2015 (2015) 1235–1240
- [2] Y.S.Lee, D.H.Koh, H.W.Kim, Y.S.Ahn, Scripta Materialia 147 (2018) 45–49

Al 합금 주조 조직 변화에 미치는 소성가공의 영향

권용남¹ · 석무영¹

Effect of deformation on the cast microstructure of Al alloy

Y.-N. Kwon and M. Y. Seok

Abstract

본 연구에서는 점진응고법으로 제조한 Al-Mg-Si 합금 잉곳의 열간단조량에 따른 인장 특성 변화를 조사하였다. 주조 잉곳은 한 번의 단조를 통해 부위별로 변형량은 10, 15, 20, 30%로 변화 시킬 수 있는 금형을 이용하여 열간 단조를 실시하였다. 열간 단조 T6 열처리를 실시하였으며 인장 및 피로시험을 실시하여 소성가공 영향을 평가 하였다.

열간단조 변형량이 증가할수록 인장강도가 향상되었고 합금에 따라 연신율이 증가하는 경향을 보이는 경우가 있었다. Al-Mg-Si 합금의 열간단조 후에 T6 열처리를 거치기 때문에 열간단조시 발생한 미세조직적 차이는 크지 않을 것으로 생각되었으나 EBSD 관찰결과 변형량 증가에 따른 전위밀도의 차이 등 소성가공이 주조조직의 변화에 영향을 미치는 것을 확인하였다..

Key Words: Al-Mg-Si alloy, strain hardening, dislocation density

1. 재료연구소

권용남: 재료연구소, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

Twin-Roll strip casting 공정으로 제조된 고강도 Al 7075 합금의 미세조직 및 상온 마모 거동

김경욱¹, 백민석¹, 어광준², 이기안^{1*}

Microstructure and Room Temperature Wear Behavior of High Strength Al 7075 Alloy Manufactured by Twin-Roll Strip Casting Process.

Kyoung-Wook Kim¹, Min-Seok Baek¹, Kwang-Jun Euh², Kee-Ahn Lee^{1*}

Abstract

본 연구에서는 twin-roll strip casting (TRC) 공정을 이용하여 용탕에서 바로 Al 7075 판재를 제조하였다. 비교 소재로는 direct chill (DC) casting 공정으로 제조된 Al 7075 합금을 사용하였으며, 두 공정으로 제조된 Al 7075 합금의 미세조직 및 마모 거동을 비교/분석하였다. 여기서 TRC 합금은 석출 경화 효과를 위해 T6 열처리를 수행하였으며, DC 합금은 T651 열처리하였다. 미세조직 관찰 결과, 비교 소재인 DC 합금의 결정립은 약 94.3 μm 크기를 가지며 rolling direction (RD) 방향으로 연신된 형태로 나타났다. 반면 TRC 합금의 결정립은 약 67.5 μm 로 상대적으로 미세하며, 균일한 등축정(equiaxed) 형태로 관찰되었다. 이와 함께 두 합금 모두 결정립계 및 내부에 η (MgZn_2) 상들이 형성되어 있었다. DC 합금의 η (MgZn_2) 상들은 106 nm 수준으로 결정립계에 집중되어 관찰되었다. 반면, TRC 합금의 경우 η (MgZn_2) 상들이 20 nm 수준으로 미세하며 고루 분산되어 있는 것으로 나타났다. 상온 마모 시험 결과, TRC 합금은 DC 합금에 비해 weight loss와 wear rate 값이 낮아 우수한 마모 특성을 보였다. 두 합금의 마모면에서 응착 및 연삭 마모가 관찰되었다. 하지만 DC 합금은 TRC 합금에 비해 모든 하중에서 응착 마모 비중이 높게 나타났다. DC 합금의 경우 grain boundary에 변형(strain)이 집중되어 나타나는 반면, TRC 합금은 변형이 균일하게 분포하였다. 상기 결과들을 기반으로 마모 면의 단면을 관찰하여 마모 거동에 대해서도 고찰하였다.

Key Words : Al 7075 alloy, Twin-roll strip casting, Direct chill casting, Wear property

1. 서론

Al 7075 합금은 우수한 비강도와 피로 특성으로 항공, 선박, 자동차 산업에서 철강의 대체소재로 많이 사용되고 있다. 산업에 사용되는 Al 7075 합금의 부품들은 부품과 부품사이 접촉면에서 지속적으로 마찰이 발생하고 손상 및 파괴가 일어난다. 이에 따라 Al 7075 합금의 마모 특성은 중요한 의미를 가진다. 현재까지, Al 7075 합금 판재를 제조하기 위해 direct chill (DC) casting 공정이 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 주조 결함(가스 기공 및 수축 기공) 형성을 유도한다고 보고된 바 있다. 이로 인해 DC 공정은 결함을 제거하기 위하여 압연 및 압출과 같은 추가적인 공정을 필요하며, 시간과 비용이 상승하는 단점을 지니고 있다. 따라서 최근 추가공정 없이 바로 판재로 제조 가능한 twin-roll strip casting (TRC) 공정에 대한 관심이 높아지고 있다. 그

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS)

Corresponding Author, Professor: Department of Materials Science & Engineering, Inha University, E-mail: keeahn@inha.ac.kr

러나 TRC 공정으로 제조된 Al 7075 합금의 마모 특성 및 거동 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 두 합금의 마모 후 단면을 관찰하여 마모 거동을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

미세조직을 관찰 및 분석하기 위해 XRD, FE-SEM 그리고 FE-TEM을 수행하였다. 또한 기계적 특성 평가를 위해 비커스 경도 및 인장 시험을 진행하였다. 인장 시험은 ASTM E8 규격에 따라 INSTRON 8501 장비를 사용하였다. 마모 시험은 pin on disc 통해 하중: 2, 4, 6 kgf, speed: 80 rpm, 시간: 1 h 조건으로 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

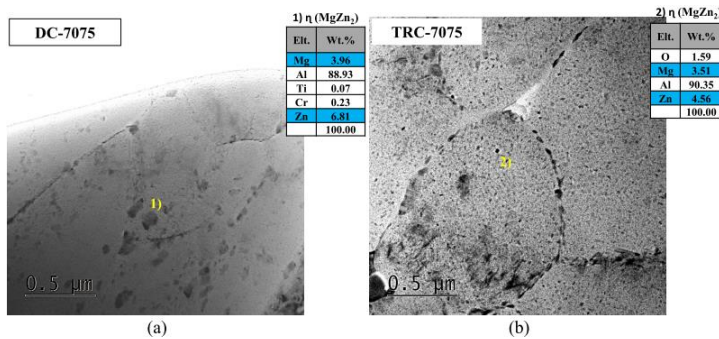


그림 1. TEM으로 관찰한 초기 미세조직 결과; (a) DC 7075 합금 (b) TRC 7075 합금.

DC 합금에서는 η (MgZn₂) 상이 106nm 수준으로 결정립계에 집중되어 관찰되었다. 반면, TRC 7075 합금에서는 η (MgZn₂) 상이 고르게 분포하였으며, 약 20nm 크기로 나타났다.

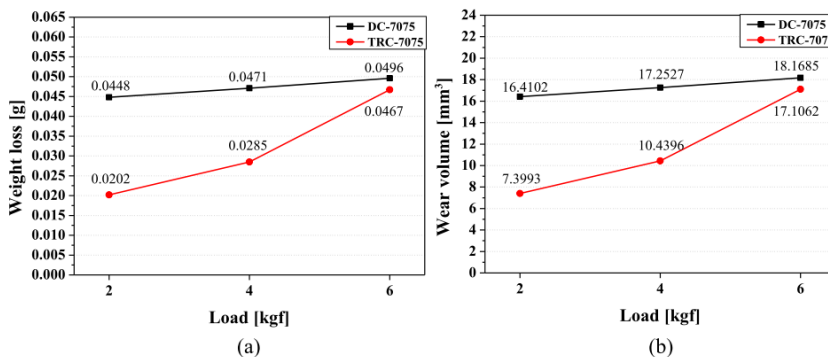


그림 2. DC 7075 합금과 TRC 7075 합금의 (a) 마모 중량 감소 그리고 (b) 마모 부피 결과.

그림 2에서는 DC, TRC 합금 모두 하중이 높아질수록 weight loss [g] 및 wear volume [mm³]가 함께 증가하는 결과를 보였다. 또한 TRC 합금이 DC 합금보다 weight loss [g] 및 wear volume [mm³] 모든 면에서 낮게 나타났다. 이는 TRC 공정을 통해 Al 7075 합금의 마모 특성이 우수해지는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] R. Ranganatha, V. A. Kumar, V. S. Nandi, R. R. Bhat, B. K. Muralidhara, Trans. Nonferrous Met. Soc. Vol. 23, pp. 1570-1575

High Mg 알루미늄 합금의 비틀림 집합조직 변화

조창희¹· 손현우¹· 김상욱¹· 이재철¹· 김용재¹· 정택균¹· 윤영옥²· 김세광²· 이지운²· 박현순¹·
현승균^{1#}

Torsion texture evolution of Al-Mg alloys with high content of Mg

C. H. Cho, H. Y. Son, S. W. Kim, J. C. Lee, Y. J. Kim, T. K. Jung, Y. O. Yun, S. K. Kim, J. W. Lee, S. K. Hyun

Abstract

Al-Mg 합금은 대표적인 고용강화 합금으로 비열처리 알루미늄 합금 계열 중 강도가 높은 합금 종류이다. 이로 인해 자동차 판재 등 구조용 재료로 연구가 진행되고 있다. 알루미늄 판재와 관련한 연구에서 소성 이방성과 관련한 연구는 필수적이다. 금속 판재의 소성 이방성은 결정립의 방위 분포에 의해 이루어진다. 소성 변형 및 열처리에 의해 판재 내 결정학적 우선 방위가 형성되어 집합조직이 발달하게 된다. 비틀림 집합조직은 순수 전단 변형을 통해 얻어지는 정보로써 비교적 넓은 변형률 영역에서의 특성을 평가하기에 적합하다. 또한 압연 집합조직에 대한 모사 등 적용 및 응용 범위도 넓다. 본 연구에서는 Al-6, 8, 9 wt%Mg 합금에 대한 비틀림 집합조직에 대해 상론한다. 각 알루미늄 합금에 대하여 상온 및 200°C에서 0.1, 1, 10 s⁻¹의 변형 속도로 변형하였다. 변형률 상온에서는 0.35, 0.5, 200°C에서는 0.35로 변형된 각 시편을 EBSD를 이용하여 관찰하고 Pole figure로 구성하여 집합조직의 형성 및 변화의 차이를 고찰한다. Mg 함량이 증가함에 따라 stacking fault energy는 감소하고 이로 인하여 우선 방위에 변화가 생기면서 Pole figure 상에 나타나는 방위 및 강도가 변화하였다. 특히 변형률 0.35에서 Al-9wt%Mg 합금이 (111)[112] 방위로 집합조직이 강하게 형성됨을 확인하였다. Mg 함량 변화에 따라 변형 시 발생된 집합조직의 형태도 변화함을 실험 결과를 통해 확인하였다. 같은 Mg 함량의 알루미늄 합금에서 변형 속도에 따라 집합조직에 변화가 발생함을 확인하였다.

Key Words : Al-Mg alloys, Torsion texture, pole figure, stacking fault energy, strain rate

1. 서론

Al-Mg 합금은 일반적으로 높은 적층결합에너지를 갖는 FCC(face centered cubic) 금속으로 알려져 있다. 이로 인해, Cu-type의 집합조직이 형성되고 낮은 성형성을 갖는 원인이 된다. 그렇지만 Mg 함량이 증가함에 따라 적층결합에너지는 감소하면서 이에 따라 가공 중 집합조직의 변화가 발생하게 된다. 따라서 Mg 함량에 따른 집합조직 변화를 이해할 필요가 있다.

비틀림 시험은 영구적인 방위가 존재하지 않으며, 따라서 Bishop-Hill model의 직접적인 적용은 불가능하다. Full constraint model의 변형인 strain rate sensitivity crystal model을 적용하면 보다

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 한국생산기술연구원

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

적절한 결과를 얻을 수 있다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 이 모델을 적용하여 비틀림 집합조직에 대하여 상론하였다.

2. 실험방법

상온 및 중온(200°C)에서 비틀림 시험을 진행하였다. 상온에서는 0.1~10/s의 변형속도로 변형을 0.35로 변형하였으며, 중온에서는 0.1/s의 변형속도로 진행하였다. Electron backscattered diffraction 방법을 이용하여 Pole figure와 Orientation distribution function을 도출하였으며, 이를 이용해 각각의 집합조직을 관찰 및 상론하였다.

3. 결과 및 고찰

상온에서 Mg 함량이 증가함에 따라 B 방위의 형성이 뚜렷하여졌다. 변형속도가 증가함에 따라 B 방위의 형성이 강하여졌다. 온도가 증가함에 따라 전반적인 방위는 무작위 해졌으며, A fiber의 강도는 감소하였다. Tóth의 이론에서 제안된 orientation persistence의 개념이 잘 적용됨을 변형속도 변화를 통해 알 수 있었다. 그렇지만 Mg 함량에 의한 집합조직 차이는 orientation persistence에서 말하는 변형속도민감도로 직접적인 비교는 불가능하였지만, 본 개념에서 언급한 lattice rotation rate가 Mg 함량이 증가함에 따라 감소하여 이와 같은 집합조직을 형성하게 된다고 할 수 있다.

4. 결론

Mg 함량이 증가할수록, 온도가 낮을수록, 변형속도가 빠를수록 방위 회전 안정도는 증가하며 우선방위가 바뀌는 결과로 이어지게 됨을 확인하였다. 비틀림 시험에서 Tóth의 이론이 잘 들어맞는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] L. S. Tóth, K. W. Neale, and J. J. Jonas, Acta metal. 37 (1989) 8, pp. 2197-2210
- [2] L. S. Tóth, P. Gilormini, and J. J. Jonas, Acta metal. 36 (1988) 12, pp. 3077-3091

MADF 공정에서 면단조 및 복귀단조 후 관찰되는 AA1100의 변형띠 형성 기구에 관한 연구

김민성¹, 이성음¹, 김정균¹, 권상철², 김순태², 이성³, 정효태², 이지현⁴, 김환욱⁴, 최시훈¹

Abstract

다축대각단조(multi-axial diagonal forging, MADF)는 정육면체 소재의 면과 수직하는 방향의 면단조(plane forging), 대각선 방향의 대각 단조(diagonal forging) 그리고 각각의 복귀 단조(return plane/diagonal forging)로 구성되어 있다. 총 4가지 단조 공정을 단계적으로 1 cycle (12 pass) 수행하여 공정 전 후 시편의 형상 변화 없이 재료에 변형 및 결정립 미세화를 부여할 수 있는 강가공법이다.

본 연구에서는 단조공정 시 AA1100의 변형 미세조직 및 집합조직 발달 거동에 미치는 변형이력의 영향을 실험적 이론적 측면으로 고찰하였다. 주조 후 면단조 및 복귀단조로 제조된 AA1100을 이용하여 중심부 영역에 발달하는 변형 미세조직의 변화를 이해하고자 하였다. EBSD(electron backscatter diffraction) 기법을 활용하여 변형 조건에 따른 미시집합조직을 측정하였으며, KAM(kernel average misorientation) 분석법을 통하여 AA1100의 변형 미세조직 및 집합조직 발달 거동을 실험적으로 고찰하였다. 보다 정밀한 변형 집합조직 측정을 위하여 FIB(focused ion beam) 및 TKD(transmission kikuchi diffraction)기법을 활용하였으며, 결정립 내 전위 구조를 관찰하기 위하여 STEM(scanning transmission electron microscopy) 분석을 수행하였다. 실제 결정학적 방위와 초기 미세조직을 고려한 결정소성 유한요소해석(crystal plasticity finite element method, CPFEM)을 활용하여 변형이력에 따른 미세조직의 변화를 이론적으로 이해하고자 하였다. 본 연구를 통하여 단조공정 시 변형이력에 따른 AA1100의 미세조직의 미소역학적 발달거동을 실험적으로 관찰할 수 있었으며, CPFEM 결과를 이용하여 변형 미세조직의 발달 미케니즘을 이해할 수 있었다.

Key Words : Multi-axial diagonal forging(MADF), AA1100, Recrystallization, Texture, Microstructure

1. 국립 순천대학교
2. 국립 강릉원주대학교
3. 국방과학연구소
4. 한국기초과학지원연구원

Al/Fe 이종금속 마찰교반접합부에서의 미세조직과 기계적/부식 거동의 상관관계 연구

Sam Yaw Anaman¹, 조훈휘¹, Hrishikesh Das², 백성일³, 홍성태², 이종숙⁴

A study on the correlation between microstructure and mechanical/galvanic corrosion behaviors of friction stir butt welded joint of steel and aluminum alloys

S. Y. Anaman, H. H Cho, H. Das, S. I. Baik, S. T. Hong, J. S. Lee

Abstract

The microstructural, mechanical and galvanic corrosion behaviors of a friction stir welded (FSWed) butt joint of dissimilar 5052-H32 aluminum and DP 1200 steel sheet alloys are investigated. At an offset of 0.5 mm towards the DP steel base metal (BM), on the advancing side (AS) of the welding direction (WD), the microstructural characterization reveals a distinct but complex stir zone (SZ) made up of 3 layers. There is (i) the top layer made up an aluminum matrix with randomly scattered steel fragments which act as reinforcements but reduce the corrosion resistance of the region, (ii) a middle layer having a mixed lamellar structure of Fe-Al solid solutions and intermetallic compounds (IMCs). They increase the hardness of the SZ but are brittle enough to reduce the weld joint strength due to their thickness, and (iii) the bottom region which is made of deformed steel. When compared with the DP steel BM, the deformed steel has decreased grain sizes accompanied by higher martensite content and dislocation densities caused by the FSW process. These microstructural features cause an increase in hardness of the weld joint, however, decrease the corrosion resistance of the bottom layer. Additionally, IMCs are observed in the weld joint interface and the interface between the top and bottom layers at the retreating side (RS) of the WD. During the galvanic corrosion investigations, it was revealed that variations in microstructure, geometry, and chemical compositions can affect the extent of galvanic corrosion across the FSWed joint. The regions between the DP steel BM and the FSWed joint have larger average potential differences and higher corrosion rates than the regions between the aluminum BM and the FSWed joint due to the increase in martensite content, low-angle grain boundaries (LAGBs) and the presence of the steel fragments.

Key Words: Friction stir welding; Dissimilar joint; Microstructure; Galvanic corrosion

Reference

- [1] Sam Yaw Anaman *et al.*, *Material Characterization* 154 (2019) 67-69
- [2] Hoon-Hwe Cho *et al.*, *Acta Materialia* 61 (2013) 2649-2661
- [3] Long Wan *et al.*, *Metals* 7 (2017) 542

1. 한밭대학교 신소재공학과
2. 울산대학교 기계공학부
3. Northwestern University
4. 전남대학교 신소재공학부, Email: hhcho@hanbat.ac.kr

드로잉 및 아이어닝 공정을 이용한 각형 캔 성형성 평가

김진수¹ · 이충명¹ · 윤석준² · 윤정환^{1, 3#}

Study on Formability of Rectangular Can Using Drawing and Ironing (D&I) Process

J. Kim, C. M. Lee, S. J. Yoon, J. W. Yoon

Abstract

드로잉 및 아이어닝 (D&I) 공정이란 디프드로잉 및 아이어닝을 통합한 공정으로써, 한번의 프레스 행정으로 디프드로잉과 아이어닝을 동시에 수행하는 공정이다. 이에 따라 같은 형상의 캔을 성형할 시 다단 디프드로잉 공정에 비해 더 적은 행정 수, 성형 속도 증가 등의 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 D&I 공정을 이용한 각형 캔 성형을 시뮬레이션 하고 각형 캔 성형에서의 D&I 공정 적용 가능성을 평가하였다. 대상 소재는 알루미늄으로써, 압연방향에 따른 인장시험 및 벌지시험을 수행하고 Barlat Yld2004-18p 항복함수를 이용하여 판재 이방성을 모델링하였다. D&I 공정을 위해 블랭크, 펀치, 다이를 설계하였으며, 한번의 프레스 행정으로 각각 3회의 드로잉 및 아이어닝을 수행할 수 있도록 D&I 공정을 설계한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행 후 각 개별공정에서 소요된 프레스 하중을 계산하였으며, D&I 공정의 적용 가능성을 평가하기 위해 응력 기반 성형한계도 (Stress-based Forming Limit Diagram, Stress based FLD) 및 파단 성형한계도 (Fracture Forming Limit Diagram, FFLD)를 이용하였다. 평가 결과, 각형 캔 성형에서의 D&I 공정이 적용 가능함을 확인하였다.

Key Words : 드로잉 및 아이어닝 공정 (D&I Process), 각형 캔 (Rectangular Can), 판재 성형 해석 (Sheet Forming Analysis), 응력 기반 성형한계도 (Stress-based Forming Limit Diagram)

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. 삼성 SDI

3. School of Engineering, Deakin University

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

경량소재 가상공학 플랫폼 개발

이호원[#] · 김세종¹ · 오영석¹ · 강성훈¹

Digital Manufacturing Platforms for sheet metal by Integrated Computational Materials Engineering

H. W. Lee, S. J. Kim, Y. S. Oh, S. H. Kang

Abstract

본 논문에서는 ICME (Integrated Computational Materials Engineering)을 기반으로 자동차용 경량 금속의 관재 모델링에 사용할 수 있는 가상공학플랫폼 (DigiMaP)을 소개한다. 가상공학플랫폼은 주조, 압연, 열처리, 재료 시험 및 판재 성형과 같이 재료 및 부품의 제조 중에 발생하는 재료 특성 및 미세 구조의 변화를 예측하기 위한 소프트웨어 플랫폼으로 ICME 기반 모델링의 산업 적용을 촉진하기 위해 일련의 UI 기반 소프트웨어를 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 가상공학플랫폼의 3 대 플랫폼인 가상 주조, 가상 압연, 가상 재료시험 플랫폼과 진행중인 연구에 대해 소개한다.

Key Words : Integrated Computational Materials Engineering, Virtual Manufacturing, Casting, Rolling, Material Testing

1. 재료연구소

교신저자: 재료연구소, E-mail: h.lee@kims.re.kr

결정소성 유한요소법을 위한 유한차분기반 응력적분법의 개발 및 응용

노동환¹, 윤정환^{1, 2#}

Development of Stress Integration Algorithm Based on Finite Difference Method for CPFEM and Its Application

D. Noh, J. W. Yoon

Abstract

본 연구에서는 결정소성 유한요소법 (Crystal Plasticity Finite Element Method, CPFEM)을 위한 유한차분법 (Finite Difference Method, FDM) 기반의 응력적분법을 제안하였다. Euler backward method를 기반으로 한 응력적분법에서는 비선형 방정식을 풀어야 하며, 미분값을 요구하는 Newton-Raphson method가 사용된다. 이를 위한 분해 전단 응력의 미분값의 계산은 텐서 지수함수가 포함된 결정소성 구성방정식에서 매우 복잡하다. 본 연구에서 제안된 수치적 방법을 통해 분해 전단 응력의 미분값을 성공적으로 근사하였고, 수치적 검증을 위한 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 유한차분법 기반의 응력적분법과 이론적인 미분 기반의 응력적분법을 정확성과 시간 효율성에 대하여 비교하였다. 또한 판재 성형에 적용되는 재료에는 무수히 많은 결정들이 존재하며, 모든 결정에 대한 정보를 결정소성 유한요소법에 사용하는 것은 높은 계산 비용을 요구한다. 따라서 결정의 개수를 줄이는 방법으로 축소 결정소성모델 (reduced texture polycrystalline model)을 제안된 모델과 함께 적용하였으며, 이를 위해서 특정한 재료상수들의 최적화를 수행하였다. 마지막으로 단일 요소를 이용한 단축 인장 유한요소해석과 실험값을 통해 응력-변형률 선도와 r-value를 비교하여 정확성을 확인하였다.

Key Words : Crystal plasticity finite element method, Stress integration algorithm, Finite difference method, Reduced texture polycrystalline model, Anisotropic behavior

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. School of Engineering, Deakin University

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

알루미늄 6xxx의 W-temper 공정에서 퀀칭 후 시간에 따른 물성의 변화 측정

최유미¹, 진홍교², 이명규^{1, #}

Changes in mechanical properties over time after quenching in W-temper process of aluminum 6xxx

Y. M. Choi¹, H. K. Jin², M. G. Lee^{1,*}

Abstract

As light-weighting of vehicles has drawn attention to improve fuel efficiency, high strength aluminum alloys have been used as alternative materials to conventional steels. Among different aluminum alloys, 6XXX series alloys are widely used for this purpose due to several advantages such as medium to high strength, corrosion resistance, and possibility of strengthening by artificial aging through the paint baking process. In this study, as a process involving prior heat treatment, the W-temper forming is investigated. The forming technology is composed of the solution heat treatment (SHT), water quenching and forming. Since the strength after quenching changes over time due to the microstructure evolution involving nucleation of precipitations and their changes in distribution, the optimized holding time between quenching and forming is very important. Therefore, the main aim of the present study is to study the evolution of mechanical properties including ultimate tensile strength and ductility of 6xxx aluminum alloy sheet after quenching but before forming.

Key Words : aluminum 6xxx, w-tempered forming, holding time, mechanical properties

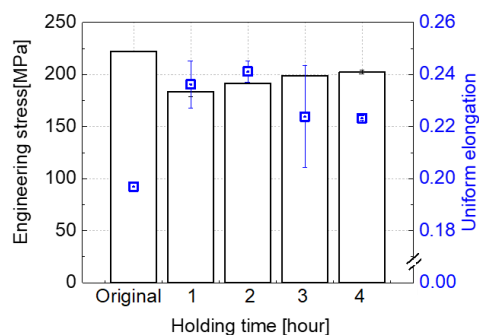


Figure: Changes in strength and elongation of W-tempered 6xxx aluminum alloy sheet with respect to holding time

본 연구는 한국산업기술진흥원(KIAT) 자동차 부품 기업 위기 극복 지원 사업 (과제번호 P0005878)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

1. 서울대학교

2. MS-AUTOTECH

E-mail: myounglee@snu.ac.kr

Influence of prior deformation history on anelasticity in an extruded magnesium alloy

Huai Wang¹, Soo Yeol Lee¹, Huamiao Wang², Wanchuck Woo³, Ke An⁴

Abstract

The unloading anelastic behavior of an extruded Mg-9wt.%Al alloy (with two annealed textures) was investigated using in-situ neutron diffraction measurement and crystal plasticity modelling. Annealing-modified textures allow for the versatile cooperations of various deformation mechanisms under different loading conditions. The alloy exhibited distinctive yielding and hardening behaviors during compressive and tensile loading-unloading cycles, which were interpreted by the alternative operations of different slip/twinning modes. Inside the bulk material, differently-oriented grains responded distinctively to external loading because of the difference in active plastic deformation modes and surrounding neighborhoods. Based on the crystal plasticity modelling results, the magnitude of anelasticity was found to be controlled by the plastic contribution of hard mode (prismatic slip) and its impeding effects on easier modes (basal slip and extension twinning).

Key Words: Magnesium alloy, Plastic anisotropy, Anelastic behavior, Deformation mechanism, Crystal plasticity

1. 서론

During unloading (after being deformed into fully plastic regime), an anelastic behavior arises as a result of the partial reversal of existing dislocations and twins in magnesium alloys [1]. It is known that a defect-free material will exhibit no anelastic behavior during purely-elastic unloading. Intuitively, the magnitude of anelasticity is related to the amount of defects (typically, i.e. dislocations and twins) inside the material generated by prior deformation history. Different deformation histories will definitely yield different anelastic levels. However, no previous studies have linked the anelastic behavior to the deformation mechanisms prior to unloading (i.e. the activities of dislocation slip and deformation twinning) in Mg alloys.

2. 실험방법

In this study, we investigated anisotropic plastic deformation, unloading anelastic behavior and the relationship between them in an extruded Mg-9wt.% alloy. In-situ neutron diffraction [2] was applied to obtain the grain-level deformation dynamics in different loading-unloading tests, and elastic-viscoplastic self-consistent (EVPSC) modelling [3] was conducted to predict the activities of slip and twinning modes in the entire process of each test. Instead of using as-cast (no texture) and as-wrought (strong texture) alloys, we prepared the alloy having a single phase with two starting textures (i.e. T1 and T2, see Fig. 1a) by pre-deformation and annealing treatment, which permit the versatile cooperations of various deformation mechanisms under tension and compression. For each texture, two cylindrical dog-bone-shaped specimens were prepared and used in uniaxial tensile and compressive tests (see Fig. 1b). In each case, the sample was unloaded at two strain levels. The first unloading point was controlled to reach the same strain of 0.017 (± 0.0005) for all cases and the second unloading point was different among the cases.

1. Chungnam National University, Korea

2. Shanghai Jiao Tong University, China

3. Korea Atomic Energy Research Institute, Korea

4. Oak Ridge National Laboratory, USA

교신저자: Soo Yeol Lee, E-mail: sylee2012@cnu.ac.kr

3. 결과 및 고찰

At each unloading point (see Fig. 1c), the apparent elastic modulus (E^{ap}) and anelastic strain (ϵ^{an}) were determined directly from the experimental stress-strain curves. The initial elastic modulus was determined by a linear fit in the elastic regime of the stress-strain curve. The percentage reduction of elastic modulus, defined as $\Delta E/E = (E - E^{ap})/E$, together with the anelastic strain, was adopted to evaluate the effect of prior deformation history on the magnitude of anelasticity.

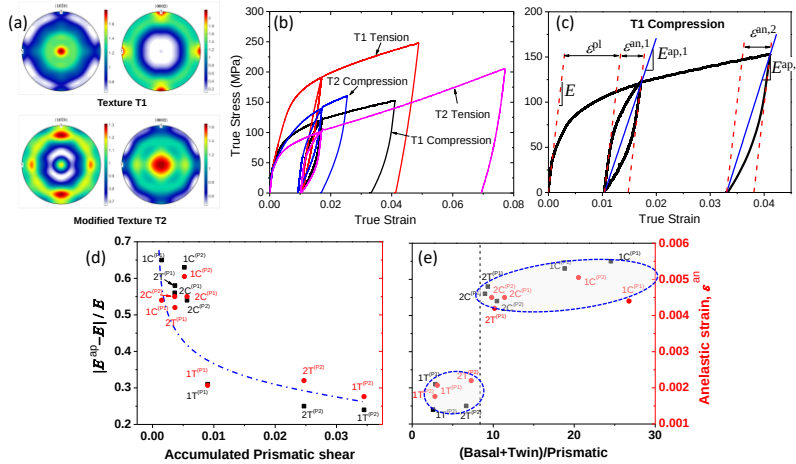


Fig. 1. Initial textures, stress-strain curves and relationship between anelasticity and deformation history

In Fig. 1d, the anelastic behavior was firstly attempted to correlate with each single deformation mode. Its magnitude gradually decreases as the accumulated shear of prismatic slip increases. Considering that the anelastic behavior was attributed to the activities of basal slip and extension twinning, the ratio of the accumulated plastic shear in these two modes to that in prismatic slip was thought to be crucial in determining the magnitude of anelasticity. It was found that the contribution of prismatic slip to plastic deformation played an important role in determining the magnitude of anelasticity. As can be seen in Fig. 1e, the magnitude is low when prismatic slip is the dominant mode, and it is high when other two modes are dominant. This phenomenon is believed to be related to the complex dislocation-dislocation and dislocation-twin interactions (or reactions) in magnesium alloys, which needs to be further studied using both experimental and simulation methods.

4. 결론

In summary, the unloading anelasticity of an extruded Mg-9wt.%Al alloy with two different textures after annealing was examined using *in-situ* neutron diffraction experiment and EVPSC modelling. The influence of prior deformation history on anelasticity was revealed and its magnitude was found to be controlled by the plastic contribution of hard mode (prismatic slip) and its impeding effects on easier modes (basal slip and extension twinning).

참고문헌

- [1] C.H. Cáceres, T. Sumitomo, M. Veidt, Acta Mater. 51 (2003) 6211–6218.
- [2] S.Y. Lee, H. Wang, M.A. Gharghouri, G. Nayyeri, W. Woo, E. Shin, P.D. Wu, W.J. Poole, W. Wu, K. An, Acta Mater. 73 (2014) 139–148.
- [3] H. Wang, P.D. Wu, C.N. Tomás, Y. Huang, J. Mech. Phys. Solids 58 (2010) 594–612.

선압축과 어닐링을 통한 마그네슘 압연재의 굽힘 성형성 향상

이종언¹ · 김상훈¹ · 김예진¹, 박성혁^{1,#}

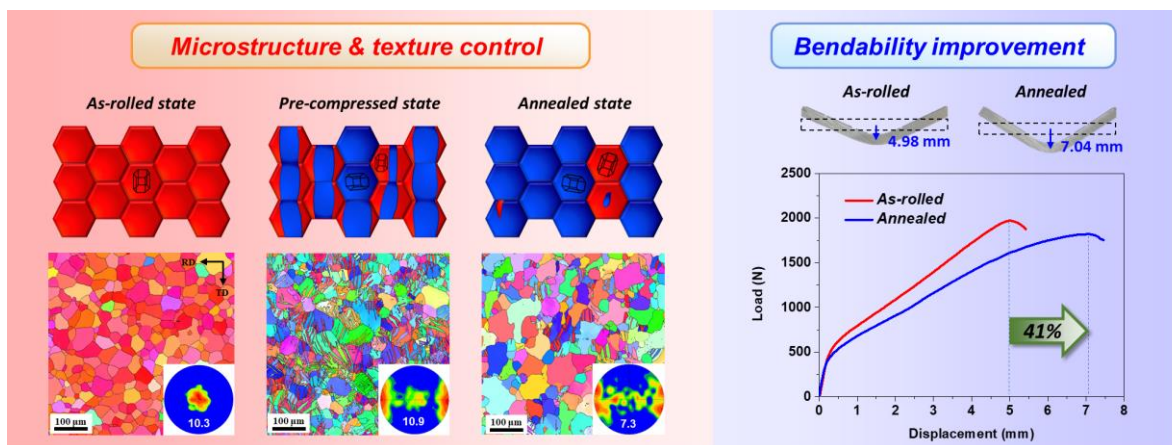
Improvement in bending formability of rolled magnesium alloy through precompression and subsequent annealing

Jong Un Lee, Sang-Hoon Kim, Ye Jin Kim, Sung Hyuk Park

Abstract

A remarkable improvement in the bending formability of a rolled magnesium alloy at room temperature is achieved through application of precompression and subsequent annealing. This combined treatment results in the formation of a new grain structure with two texture components whose basal poles are oriented nearly along the rolling direction and normal direction. The tensile deformation occurring in the outer region of the samples during bending is effectively accommodated by the activated $\{10\text{-}12\}$ twinning and promoted basal slip, which consequently results in a significant improvement in the bending formability of the alloy.

Key Words : Magnesium; Bending; Formability; Twinning; Texture.



1. 경북대학교 신소재공학부

교신저자: 경북대학교 신소재공학부, E-mail: sh.park@knu.ac.kr

마그네슘 합금 판재의 파단 변형률 측정 및 온간 굽힘 유 한요소 해석

김건우¹ · 허용찬¹ · 서민홍² · 안강환² · 김지훈[#]

Measurement of Fracture Strain and Finite Element Analysis of Warm Bending of Magnesium Alloy Sheets

K.O. Kim, Y.C. Hur, M.H. Seo, K. Ahn, J.H. Kim

Abstract

Magnesium alloy sheets, which are widely used to reduce the weight of products, require bendability to be applied to closure parts such as hoods and doors of automobiles. To overcome the limited bendability at room temperature, warm forming is usually performed for magnesium alloy sheets. Warm forming improves the formability and reduce the risk of fracture during bending processes such as hemming. In this study, the fracture strains of magnesium alloy sheets at warm temperatures were measured using a digital image correlation system. In addition, finite element analysis of the warm bending process was performed and the bending limits were compared with measurements.

Key Words : magnesium alloy sheet, hemming, warm forming, digital image correlation,

.

1. 부산대학교 기계공학부

2. 포스코 기술연구원

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: kimjh@pusan.ac.kr

Ca, Y 첨가한 마그네슘 판재의 재결정 및 집합조직 형성 거동

김영민^{1,2}

Recrystallization and texture evolution of Ca, Y-added magnesium alloy sheets

Young Min Kim

Abstract

With respect to the improvement of formability of magnesium sheets, many researchers tried to modify the texture through the addition of alloying elements such as rare earth (RE) elements including Ce, Nd and Y and non-RE elements including Zn, Zr and Ca. Recently it was reported that a single addition of Ca or Y on wrought magnesium alloys led to texture weakening through activating non-basal slip systems and twinning, which can resultantly improve formability at room temperature. The present study aims at investigating the effect of alloying elements and process parameters on recrystallization and texture evolution of modified AZ31 alloy magnesium alloys with Ca and Y addition subjected to a cold rolling and subsequent recrystallization annealing process. In this study, it was found that severely deformed structures such as shear bands formed during cold rolling could provide nucleation sites of new grains during annealing. Cold-rolled and annealed sheets showed much finer grain size and lower maximum intensity of basal pole, indicating better mechanical properties and formability. In addition, the studied alloys shows dramatically increased ignition temperature and corrosion resistance. Detailed analyses with EBSD and TEM on microstructural evolution and texture changes during annealing will be shown in this presentation.

Key Words : Magnesium sheets, Cold-rolling, Annealing, Texture, Recrystallization

1. Korea Institute of Materials Science, Changwon, Rep. of Korea
2. Korea University of Science and Technology, Daejeon, Rep. of Korea

혼합 하중 환경에서의 마그네슘 판재의 이방적 파괴 거동

정영웅¹, 더크 스테글리히²

Anisotropic edge failure in magnesium sheet alloy under mixed-mode loading

Y. U. Jeong, Dirk Steglich

Abstract

The purpose of this article is to propose a modelling-assisted description on anisotropic failure of magnesium alloy AZ31 at room temperature. Earlier, the authors investigated similar magnesium alloys at an elevated temperature in which the material failed with apparent strain-localization [1]. A mean-field crystal plasticity framework [2] was employed to Marciniak-Kuczynski approach [3], which led to good predictive accuracy in comparison with experimental forming limit diagrams obtained by Nakajima tests. However, the failure criterion based on strain localization is not applicable to describe the fracture of the current magnesium alloy at room temperature.

Models accounting for void growth [4,5] are certainly attractive options. However, this approach is often employed to a phenomenological constitutive modeling framework. Since the mean-field crystal plasticity framework has successfully described the plasticity of magnesium alloy by accounting for microstructural features, it is considered appropriate for this material in this study. In this talk, we present our preliminary results on failure criterion based on a simple damage indicator following [6]. We discuss the validity of this approach using mixed-mode loading induced by Arcan tests together with the mean-field crystal plasticity model.

References

- [1]D. Steglich, Y. Jeong, Texture-based forming limit prediction for Mg sheet alloys ZE10 and AZ31, Int. J. Mech. Sci. 117 (2016) 102–114. doi:10.1016/j.ijmecsci.2016.08.013.
- [2]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.
- [3]Z. Marciniak, K. Kuczyński, T. Pokora, Influence of the plastic properties of a material on the forming limit diagram for sheet metal in tension, Int. J. Mech. Sci. (1973). doi:10.1016/0020-7403(73)90068-4.
- [4]A.L. Gurson, Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth: Part I—Yield Criteria and Flow Rules for Porous Ductile Media, J. Eng. Mater. Technol. 99 (1977) 2. doi:10.1115/1.3443401.
- [5]V. Tvergaard, A. Needleman, Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar, Acta Metall. (1984). doi:10.1016/0001-6160(84)90213-X.
- [6]F.D. Fischer, O. Kolednik, G.X. Shan, F.G. Rammerstorfer, A note on calibration of ductile failure damage indicators, Int. J. Fract. 73 (1995) 345–357. doi:10.1007/BF00027274.

1. 창원대학교

2. Helmholtz-Zentrum Geesthacht

미세조직과 집합조직의 발달에 따른 AZXW9100 마그네슘 합금의 석출강화와 항복 비대칭성

서종식^{1#} · 서병찬¹ · 유봉선¹ · 유동훈¹ · 김대용¹

Precipitation Hardening and Yield Asymmetry of AZXW9100 Mg Alloy regarding Microstructure and Texture Development

J. S. Suh^{1#}, B. C. Suh¹, B. S. You¹, D. H. Yoo¹, D. Y. Kim¹

Abstract

The present study investigates precipitation hardening and tension-compression yield asymmetry of age-treated AZXW9100 Mg alloy in terms of microstructure and texture development. As engineering materials, one of the main challenges is how to reduce tension-compression yield asymmetry of Mg alloys for industrial applications. In Mg alloys, yield asymmetry can be attributed to activation of tensile twinning, which is the dominant deformation mode in compression. Analysis of mechanical behavior of extruded AZXW9100 plates presents that aging treatment increases yield strength in uniaxial tension and compression. Especially, the distinct increase in compressive yield strength makes close to yield symmetry in comparison with as-extruded condition. This reduction in yield asymmetry is related to the presence of Ca containing $Mg_{17}Al_{12}$ precipitates, which suppress tensile twinning in compression. With respect to yield asymmetry, this study analyzes the effects of microstructure and texture development, such as grain size, stored strain energy and basal texture. Furthermore, VPSC simulation is performed for analyzing a change in the critical resolved shear stress of tension twin.

Key Words : Magnesium alloys, Yield Asymmetry, Precipitation hardening, Microstructure, Texture

1. 재료연구소

교신저자: 재료연구소, E-mail: jssuh@kims.re.kr

북한산 마그네사이트 활용 마그네슘 소재화 기술

유봉선¹, 김영민¹, 강정신²

Abstract

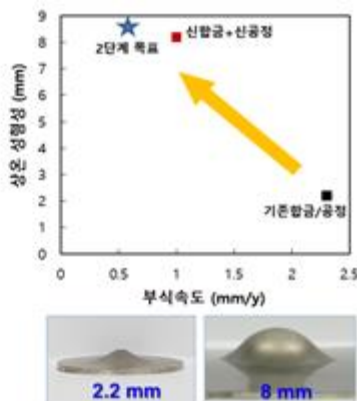
그네사이트는 산화 마그네슘, 금속 마그네슘의 형태로 가공되어 내화물이나 경금속소재, 합금원소 등으로 활용되고 있다. 마그네시아의 가장 큰 용도인 내화물은 제강용 전로 혹은 시멘트 소성용 가열로의 내화물로 사용되고 있는 기초 원료이며, 세계 시장에 중국이 거의 독점적 공급구조를 가지고 있다. 한편, 보다 고부가가치인 금속 마그네슘의 경우 지난 20년 이상 열환원 공정을 통한 제련법이 주도적으로 적용되어 왔으나 제조과정의 환경오염으로 인해 최근에는 친환경 공정인 전기분해 방법에서의 전환이 시작되고 있다.

마그네슘 금속소재에서 핵심 이슈는 수송기기의 경량화를 위한 다양한 기능성 신합금의 개발이며, 특히 기계적 특성과 화학적 특성 등의 개선과 함께, 저비용 고효율 공정을 통한 생산단가 절감은 마그네슘 신소재 시장을 창출하는데 중요한 변수로 대두되어 왔다. 본고에서는 마그네슘의 원광석인 마그네사이트의 활용에 대한 국내외 산업현황과 신기술의 개발 현황에 대해 마그네시아 내화물, 마그네슘 제련, 마그네슘 소재개발 등으로 구분하여 정리해 보고자 한다.

Key Words : 마그네사이트, 내화물, 마그네슘, 신합금

(열환원법 및 전해법의 공정지표별 비교 결과)

Category	Electrolytic	Silicothermic
Feedstock	Anhydrous MgCl ₂	Dolomite
Energy consumption/ton of Mg	12 – 28 MWh	45 – 80 MWh
Operational condition	Continuous	Batch(semi-continuous)
Capital investment per ton of Mg	10,000 – 18,000 USD	Up to 2,000 USD
Operational man power	1X	Up to 5X
Global warming potential (GWP)	47.3 kg CO ₂ /kg	62.7 kg CO ₂ /kg



(마그네슘 합금화 및 성형성 향상)

1. 재료연구소
2. 한국지질자원연구원

AZ31 합금의 톱니형 (serrated) 입계에서 주기적인 쌍정 및 전위의 형성

손현우¹, 현승균[#]

Periodic nucleation of twinning and dislocation arrays at the serrated grain boundaries of AZ31 alloy

Hyeon-Woo Son¹, Soong-Keun Hyun[#]

Abstract

입계 슬라이딩 (Grain boundary sliding)은 응력 집중을 제공하고 고온 크리프 동안 톱니형 (serrated) 입계 또는 입계 삼중점 (Grain triple junction)에서 입계 파괴를 시작하는 것으로 잘 알려져있다. 최근 보고에 따르면 상온에서 변형하는 동안 결정립계 슬라이딩이 발생한다는 사실은 냉간 가공에서도 결정립계 평면에 평행 한 응력 성분을 갖는 결정립계 슬라이딩에 의해 응력 집중이 발생할 수 있다고 제안한다. 상온에서 결정립계 슬라이딩이 결정립계에서 응력 집중 및 관련 결함을 생성 할 수 있는지 확인하기 위해 냉간 전단 변형 동안 톱니 형 결정립계를 따라 주기적 결함 형성에 대한 실험적 연구를 진행했다. 결함이 없는 톱니 형 결정립계 구조를 얻기 위해, 적절한 열간비틀림 변형조건이 결정되었다. 이후에 원통형 비틀림 시편은 입계 슬라이딩 및 격자 곡률을 직접 관찰하기 위해 비대칭적인 노치가 있는 인장 시편으로 가공되었다. 톱니 모양의 입계를 따라 형성되는 주기적 결함에 대한 광범위한 관찰 및 변형성분 분석은 상온에서 입계 슬라이딩이 쌍정뿐만 아니라 전위 배열을 주기적으로 형성 할 수 있음을 나타낸다. 따라서 톱니 모양의 입계에서 입계 슬라이딩을 수용(Accommodation) 하는 동안 두 가지 응력 집중 메커니즘이 제안되었다. 이는 결정립의 회전 응력으로부터 직접적인 응력전달 및 톱니형 입계에 간접적으로 형성된 인장 성분, 즉 "쪼개짐 응력" (Cleavage stress)로 제안되었다. 직접적인 에너지 전달 메커니즘은 결정립 회전 방향에 대한 Schmid's law를 따를것으로, 쪼개짐 메커니즘은 기하학적으로 필수적인 결함특성 (Geometrically necessary defect)을 나타냈다.

Key Words : Grain boundary serration, Grain boundary sliding, AZ31, Twinning, Dislocation

참고문헌

- [1] H.U. Hong, I.S. Kim, B.G. Choi, M.Y. Kim, C.Y. Jo, The effect of grain boundary serration on creep resistance in a wrought nickel-based superalloy, Mater. Sci. Eng. A 517 (2009) 125-131.
- [2] D.W. Suh, T. Inoue, S. Torizuka, A. Ohmori, K. Nagai, Serration of grain boundary in Ni-30Fe alloy through high temperature deformation, ISIJ Int. 42 (2002) 1026-1032.
- [3] H.J. McQueen, N.D. Ryan, E.V. Konopleva, X. Xia, Formation and application of grain boundary serrations, Can. Metall. Quart. 34 (1995) 219-229.

1. 인하대학교 신소재공학과

인하대학교 신소재공학과, skhyun@inha.ac.kr

고온변형압축시험에서의 AZ91마그네슘합금의 미세조직 및 집합조직의 형성거동

한동근¹ · 김권후^{1,2,#}

The formation behavior of microstructure in AZ91 magnesium alloy during high-temperature compression deformation

D.K. Han, K. H. Kim

Abstract

[illegible]

Key Words : Magnesium alloy, Texture, Microstructure, plane strain compression test

1. 서론

마그네슘 및 마그네슘합금은 경량재료로서, 우수한 고유특성을 가지고 있어서 많은 산업분야에서 주목을 받고 있다. 하지만, 결정구조의 특성으로 인한 제한적인 슬립계의 활동으로 실온성형성이 떨어지는 단점을 가지고 있어 아직 제한적인 분야에서 적용되고 있는 실정이다. 이러한 실온성형성을 개선하는 대표적인 방법으로 집합조직제어가 제안되고 있고, 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1].

이전의 연구에서 단축압축변형에서의 AZ91마그네슘합금의 집합조직형성거동을 조사한 결과, 모든 조건에서 저면집합조직이 형성되었으며, 특히 변형전에 저면집합조직을 형성되어 있던 시료에서 저면집합조직이 훨씬 발달된다는 것을 알았다[2]. 하지만, 이전의 연구는 한정된 변형조건에서 형성과정을 알아본 결과로서, 미세조직 및 집합조직의 형성과정을 규정하기에는 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 다양한 변형조건에서의 미세조직 및 집합조직의 형성과정에 대해서 알아봤다.

2. 실험방법

상용 AZ91 마그네슘합금을 30% 열간압연을 행한 후, 서로 다른 초기집합조직을 얻기 위해서 기계가공으로 3 가지 타입(A, B, C 타입)의 시료를 제작을 했다. 제작된 시료는 균일한 미세조직을 얻기 위해서, 723K에서 1 시간동안 열처리를 행하였다. 평형변형압축시험은 온도 723K, 변형속도 $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, 변형률 -0.4~1.0 의 변형조건으로 행하였다. 집합조직평가는 시료

1. 부경대학교 마린융합디자인협동과정

2. 부경대학교 금속공학과

교신저자: 부경대학교 금속공학과, E-mail:mrppeng@pknu.ac.kr

를 전해연마를 행한 후, XRD 및 EBSD 로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 A타입 시료를 723K, 변형속도 $5.0 \times 10^{-4} \text{s}^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-2} \text{s}^{-1}$, 변형률 -1.0의 변형조건으로 평면변형압축시험을 행한 응력-변형률곡선을 나타냈다. 빠른 변형속도에서 초기에 가공연화현상이 뚜렷하게 나타나며, 변형속도가 높을수록 응력곡선이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 723K, 변형속도 $5.0 \times 10^{-4} \text{s}^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-2} \text{s}^{-1}$, 변형률 -1.0의 변형조건으로 평면변형압축시험을 행한 A타입 시료의 {0001}정극점도이다. 압축시험 전에 정극점도의 중앙부분에 밀집되어 있던 극점이 변형량이 증가와 함께, 정극점도의 중앙부분과 좌우부분에 극점이 분포하게 되지만, 변형속도가 느린 경우에는 중앙으로부터 25~30도정도 상하로 나누어져서 분포하고, 좌우부분도 극점도가 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

이전의 연구에서 언급한 것과 같이, 변형속도가 빠른 변형조건에서는 변형량이 증가할수록 정극점도의 중앙부분으로 집중적으로 밀집해가며, 이는 저면집합조직이 상당히 발달하고 있다는 것을 나타내며, 이러한 저면집합조직은 동적재결정에 의한 것으로 보고했다[2]. 하지만, 느린 변형속도의 경우, 변형량이 증가할수록 저면집합조직은 거의 사라지게 되고, 상하방향으로 극점도가 연속적으로 이동하고 변형률 -1.0이 되면 25~30도 부근에서 극점도가 발달하는 것을 확인할 수 있다. 느린 변형속도의 경우는 연속적인 변형메카니즘에 의해서 이러한 집합조직이 발달된다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

AZ91마그네슘합금을 대상으로, 다양한 변형조건에서의 평면변형압축변형을 실시한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다. 빠른 변형조건에서는 저면집합조직이 변형량의 증가와 함께 상당히 발달되었으며, 느린 변형조건에서는 저면방위로부터 25~30도 부근에서 집합조직이 발달되었다. 이는 변형조건에 따라서 형성되는 집합조직이 달라진다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] M. Park, K. Okayasu, H. Fukutomi and K. Kim, 2016, Texture Formation Behaviors of Mg-9Al-1Zn Alloy During High-Temperature Compression Deformation, Met. Mater. Int., Vol. 22, pp. 1129~1132.
- [2] M. Park, K. Okayasu, H. Fukutomi and K. Kim, 2016, Texture Formation Behaviors of Mg-9Al-1Zn Alloy During High-Temperature Compression Deformation, Met. Mater. Int., Vol. 22, pp. 1129~1132.

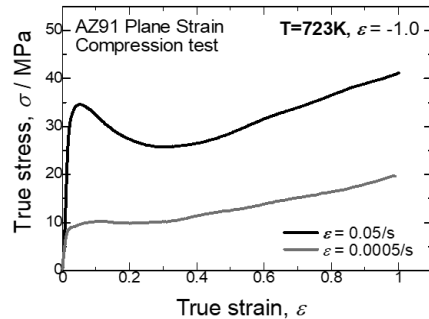


Fig. 1 True stress-true strain curves for the deformation at 723K up to the strain of -1.0 with two type of strain rate for A type specimen.

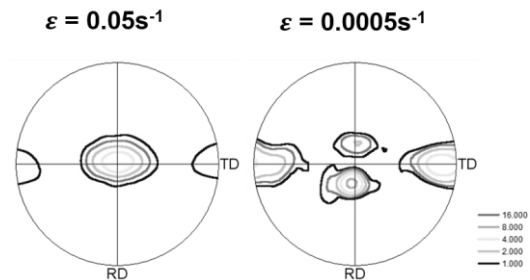


Fig. 2 {0001} pole figures showing the crystallographic characteristics of the two kinds of strain rates in specimen A.

다중공형압연 적용에 따른 ZK60 Mg합금 항복이방성 제거

이태경^{1,#} · 곽병제^{1,2} · 공태인¹ · 이정훈² · 이상원³ · 박성혁³

Attaining Yield Symmetry of ZK60 Mg Alloy through A Multi-Pass Caliber Rolling

T. Lee, B.J. Kwak, T. Kong, J.H. Lee, S. Lee, S.H. Park

Abstract

This study investigated a multi-pass caliber-rolled ZK60 Mg alloy, which showed a high fraction of dynamically recrystallized area composed of ultrafine grains. Besides the simultaneous increase in strength and ductility, the caliber-rolled ZK60 Mg alloy exhibited the reduction of tension-compression yield asymmetry. Microstructural backgrounds for such mechanical improvements are discussed.

Key Words : Magnesium; caliber rolling; yield asymmetry

1. 부산대학교 기계공학부

2. 생산기술연구원

3. 경북대학교 신소재공학부

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: taeklee@pnu.ac.kr

Mg 함량 변화에 기인한 Al-Mg 합금의 고온변형거동 특성

이재철¹ · 김상욱^{1,2} · 손현우¹ · 조창희¹ · 김용재¹ · 김세광³ · 윤영옥³ · 이지운^{1,3} · 현승균^{1#}

Hot deformation characteristics of Al-Mg alloy with different Mg content

J. C. Lee, S. W. Kim, H. W. Son, C. H. Cho, Y. J. Kim, S. K. Kim, Y. O. Yoon, J. W. Lee, S. K. Hyun

Abstract

고온 비틀림 시험을 이용하여 높은 함유량의 Mg이 첨가된 Al-Mg 합금들에 대해 Mg 함량 차이에 따른 고온변형 특성을 평가하였다 (Al-6Mg, Al-8Mg, Al-9Mg). 비틀림 시험은 450°C, 0.1s⁻¹의 조건으로 진행하였으며 유동곡선에 기반한 동적재결정 분율을 측정하였다. Mg 함량이 높을수록 유동곡선은 정상상태 응력에 이르기 전에 가파른 응력 감소폭을 보여주었고 동적재결정이 빠르게 진행되었다. 세 종류의 합금 모두 불연속동적재결정 거동이 우세했으며 이는 Mg이 Al에 고용됨에 따라 적층결함에너지가 낮아졌기 때문이라 판단되었다. 한편, Mg이 Al에 고용됨에 따라 용질 견인 효과 (solute drag effect)가 커지고 전위의 이동을 방해하기 때문에 결정립은 변형 방향에 대해 상당한 저항을 가졌다. 이에 따라 결정립계의 이동성 역시도 Mg 함량에 대해 상당한 영향을 받게 되어 Al-9Mg으로 갈수록 파단 변형률이 작았다. 보다 자세한 분석을 위해 동적재결정이 발생하는 특정 시점에서 EBSD, X-ray line profile을 진행하였고, 전위밀도와 재결정립 분율 차이를 Mg 함량에 따라 비교하였다.

Key Words : Flow stress, Hot deformation, Solute strengthening, Dynamic recrystallization

1. 서론

Al-Mg 합금은 이전부터 Mg의 고용에 따른 강화효과를 알기 위한 기초 연구 자료로써 많은 활용이 되어왔다. 그 중 열간 가공성에 관한 연구를 통해 동적회복과 동적재결정 특성, 적층결함에너지의 변화, 결정립계 이동도의 변화 등이 정립되었다. 고강도 경량화 합금의 관심과 중요성이 점차 대두됨에 따라 고 함량의 Mg이 첨가된 Al-Mg 합금 연구가 주목받고 있다. 이에 따라 열간 변형 시 Mg 함량 차이에 따라서 변화하는 미세구조와 재결정 거동을 파악함으로써 고온 가공에 필요한 기초자료를 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

한국생산기술연구원 (KITECH)에서 제공받은 균질화 처리된 압출재 (Al-6Mg, Al-8Mg, Al-9Mg)를 게이지 길이 20 mm, 5 mm 게이지 반경을 갖는 비틀림 시편으로 가공하였다. 이후 1 K/s로 온도를 상승시켜 목표온도 450°C에 도달한 후 5분 동안 유지하여 시편 전체가 균일한 온도로 설정되도록 유도하였다. 동적재결정을 유도하기 위해 0.1s⁻¹의 일정한 변형속도를 주었으며 미세조직 관찰을 위해 고온 변형 후 즉시 수냉하였다. 미세조직 관찰은 편광현미경과

1. 인하대학교 신소재공학과 재료구조제어연구실

2. RtoB

3. 한국생산기술연구원

교신저자: 인하대학교 신소재공학과 재료구조제어연구실, skhyun@inha.ac.kr

EBSD를 이용하였으며 전위밀도 측정을 위해 convolution multiple whole profile (CMWP)를 통한 X-ray line profile을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

Al-6Mg, Al-8Mg, Al-9Mg의 450°C, 0.1s^{-1} 에서 진행한 유동곡선은 Mg 함량이 증가할수록 유동연화가 급격하게 진행되었다. 즉, Mg 함량의 증가는 상대적으로 동적회복 보다 동적재결정을 야기하여 효과적인 응력 감소를 유도하였다. Avrami 식을 이용하여 도출한 동적재결정 분율은 Mg 함량이 높을수록 빠르게 100%에 도달하였다. 또한, EBSD를 통해 미세조직을 관찰한 결과 Mg 함량이 낮을수록 결정립 내에 15° 미만의 misorientation이 다수 관찰되었으며 cumulative misorientation은 점진적으로 증가하여 20° 이상이 되었다. 이는 결정립 내의 저경각입계가 점진적으로 고경각입계를 형성하는 연속동적재결정 거동의 증거가 된다. 따라서 Mg이 고용된 Al-Mg 합금은 적층결함에너지가 낮기 때문에 불연속동적재결정이 주된 고온 연화 거동으로 작용하지만, 연속동적재결정 거동을 보이는 결정립들이 존재하였다. 이러한 부분적인 연속동적재결정 거동은 Mg 함량이 낮을수록 우세했으며 결과적으로 동적재결정 속도를 늦추는 주요요인으로 작용할 수 있다고 판단하였다. 한편, X-ray line profile을 통해 Mg 함량의 증가에 따라 가공경화 영역에서 전위밀도가 증가하고, 이후 연화과정에서 효과적으로 전위밀도가 감소되는 것을 확인하였다. 이는 Mg 함량이 증가할수록 용질 견인 효과가 증가하며 적층결함에너지가 감소하기 때문에 전위가 쉽게 고착되는 것을 의미하고 동적재결정의 발현을 촉진하여 전위밀도를 효과적으로 감소시킴을 의미한다.

4. 결론

- 1) Mg 함량이 증가할수록 불연속동적재결정 거동이 상대적으로 낮은 변형률에서 시작되어 동적재결정 속도를 증가시켰다.
- 2) 높은 함량의 Mg이 고용된 Al-Mg 합금은 적층결함에너지가 낮고 용질 견인 효과가 증가하여 전위밀도를 높이고 응력 증가를 야기하였다.
- 3) Mg 함량이 낮아지면 상대적으로 동적회복이 우세했으며 파단 변형률이 증가하였다.

참고문헌

- [1] McQueen, H. J., Spigarelli, S., Kassner, M. E., & Evangelista, E. (2016). *Hot deformation and processing of aluminum alloys*. CRC press.
- [2] Humphreys, F. J., & Hatherly, M. (2012). *Recrystallization and related annealing phenomena*. Elsevier.

자동차 내/외판재용 알루미늄 합금 개발 동향

강현*, 김성녕, 구남훈

Abstract

친환경/고효율 차량을 구현하기 위해 차량의 경량화는 수십 년간 연구 개발되어 오고 있으며, 전기자동차의 관심과 생산량의 확대로 인해 차량의 경량화는 차량을 설계할 때 매우 중요한 요인이 되고 있다.

경량 금속 중 알루미늄 합금이 기존 부품공정을 유지한 상태에서 적용하기 가장 유리하기 때문에 차량용 부품으로 가장 많이 적용되고 있으며, 차량용 알루미늄 부품으로는 주조재와 압출재가 대부분의 부품에 적용되고 있다. 알루미늄 판재의 경우, 차량의 내/외판재에 주로 사용되고 있으며, 광폭 판재에 대한 성형성과 표면품질에 대한 많은 연구가 진행 및 적용되고 있다.

본 발표에서는 차량 부품에 사용되고 알루미늄 판재의 합금계와 적용된 부품의 요구물성에 대해서 탐색하고, 적용 부품을 확대하기 위한 고성형성 또는 고강도 알루미늄 판재 개발동향에 대하여 발표하고자 한다.

순수타이타늄의 극저온 변형거동 연구

이민수¹, 현용택², 전태성[#]

Deformation behaviour of CP-Ti at cryogenic temperature

M-S. Lee, Y-T. Hyun, T-S. Jun

Abstract

Recently, significant industrial attention is being paid in aerospace industry with issues concerning efficient fuel consumption and entry of humankind into the space. Titanium and its alloys are extensively used in aerospace industry, where a part of aero(space)-craft is suffered from harsh cold environment that is usually about -50°C in cruising altitude of aircraft [1] and minimally about -270°C in the universe. Deformation behaviour of titanium at cryogenic temperature has been somewhat unveiled [2-3]. One of the notable findings is the strengthening effect with superior ductility at lower temperature, which provides potential possibility to improve the formability of Ti alloys without relatively expensive thermal processing.

In the present study, we investigated the deformation behaviour of Grade 1 commercially pure (CP) titanium through macroscopic tensile test at cryogenic and room temperature. The tensile specimens for cryogenic test were immersed in liquid nitrogen during 15 minutes and subsequently fitted on the tensile machine. Deformation temperature was measured by thermal couple and controlled as function of time during the test. The combination of digital image correlation (DIC) technique and electron backscattered diffraction (EBSD) were used to observe the deformation distributed on bulk specimen by temperature and characterise the evolved microstructure in the severe deformed region. The comparative analysis on the deformation temperature and texture were conducted to examine the anisotropic deformation of titanium at cryogenic temperature.

Key Words : Commercially pure (CP) titanium, Cryogenic, Deformation, Electron backscattered diffraction (EBSD), Twinning

참고문헌

- [1] C.D.M et al Strain 47, (2011): 293-298.
- [2] S.W. Choi et al Materials Science and Engineering. A 738, (2018): 75-80.
- [3] S.V. Zhrebtsov et al Acta Materialia 61.4, (2013): 1167-1178.

1. 인천대학교 기계공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소 타이타늄연구실

교신저자: 인천대학교 기계공학과, E-mail: t.jun@inu.ac.kr

순수 타이타늄의 저주기 피로특성에 미치는 쌍정의 영향

김건형¹ · 최성우² · 원종우² · 홍재근² · 이종수^{1#}

Effect of deformation twin on low-cycle fatigue properties of CP-Ti

G. H. Kim, S. W. Choi, J. W. Won, J. K. Hong, C. S. Lee

Abstract

CP-Ti는 가벼운 무게와 우수한 내식성 등의 이유로 여러 산업에서 널리 사용되고 있다. 특히 훌륭한 생체 적합성 때문에 최근에는 의료산업에서 사용량이 크게 증가하고 있다. 하지만 낮은 강도와 부족한 피로 특성 등의 이유로 임플란트 등의 생체 재료로 사용하기에는 한계가 있다. 이에 따라 ECAP등의 강소성 가공 공정을 통해 강도와 피로 특성을 높이려는 연구가 많이 진행되고 있다. 본 연구에서는 기존의 강소성 가공 공정이 아닌 신공정을 통해 deformation twin을 다량 발생시켜 초미세립 CP-Ti 판재를 제조한 후 저주기 피로 특성을 분석하였다. 저주기 피로 실험의 진동수는 1Hz, strain ratio는 -1, strain amplitude는 0.4%에서 1%로 설정하였다. 저주기 피로 실험의 hysteresis loop 분석 및 SEM, EBSD, TEM 장비를 이용한 저주기 피로 실험 전후의 미세조직 분석을 바탕으로 cyclic softening/hardening 거동, strain amplitude에 따른 미세조직 변화, crack 개시 및 전파 거동 등을 분석하였다.

Key Words : CP-Ti, Low-cycle fatigue, deformation twin.

1. 포항공과대학교

2. 재료연구소

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

크랙선단부 잔류응력에 따른 준정적 연성 파괴거동 유한요소해석

김동규[#]

Finite element simulation of quasi-static ductile fracture behavior depending on crack-tip residual stress

D. K. Kim

Abstract

In the present study, quasi-static ductile fracture behaviors in the steel and aluminum alloys were investigated by considering effect of residual stress localized at the crack tip. In the first step, elastic-plastic FE analysis using the ABAQUS/implicit solver was performed to simulate the small plastic indentation on the C(T) specimen where tensile and compressive residual stresses were introduced at the crack tip. In the second step, a quasi-static mode-I fracture loading step was solved by the ABAQUS/explicit solver with the identical geometry and mesh condition. During the loading process, the element was allowed to be deleted from the model when material damage reaches a critical value in order to simulate the crack propagation process. The empirical Johnson-Cook model and the Hillerborg method were employed to define the damage initiation and its evolution. The quasi-static ductile fracture simulation revealed a correlation of fracture initiation toughness with localized residual stresses in both steel and aluminum alloys.

Key Words : Fracture, Finite element simulation, Residual stress, Steel, Aluminum

[#] 교신저자: 울산대학교 기계공학부, E-mail: kimdk@ulsan.ac.kr

나노트윈 나노포러스 금의 합성 및 기계적 특성 평가

곽은지 · 김주영[#]

Development of process and investigation of mechanical properties for nanotwinned nanoporous gold

Eun-Ji Gwak and Ju-Young Kim

Abstract

Microstructural characteristic lengths in solid metals refers to density of defects that determine the mechanical properties of materials including grain size, twin spacing and initial dislocation density. Nanoporous gold (np-Au), which has large free volume and irregular ligament size and porous structure, shows different deformation behavior from solid metals, nanopillars and nanowires with regular cylindrical shape. Thus, effect of microstructural characteristic length in np-Au would be act differently and it should be reconsidered.

Np-Au is synthesized by dealloying process, where sacrificial Ag in precursor alloy is selectively etched leaving Au adatoms and they make interconnected open-cell structure. We develop fabrication techniques of np-Au with nanotwinned structure by controlling internal microstructure of Ag-Au precursor alloy. Microstructures of each samples are investigated using electron microscopes before and after dealloying. We investigate correlation between process conditions and microstructure in np-Au comprehensively. Also, mechanical properties of np-Au with different microstructure are measured by nanomechanical tests such as nanoindentation and in-situ tensile tests.

Key Words : Nanoporous gold, internal microstructure, nanotwin, nanocrystalline, in-situ tensile test

1. 서론

나노포러스 금(Nanoporous gold)은 나노스케일의 기공이 open-cell 구조로 형성된 포러스 재료로, 낮은 밀도와 높은 비표면적으로 센서, 촉매, 액추에이터, 전극 재료 등 다양한 분야에서 활용가능성이 높은 재료로 관심이 증대되고 있다. 그러나 포러스 구조로 인한 인장 취성 거동으로 인하여 상용화에 제약이 되고 있어, 나노포러스 금의 기계적 특성과 이를 개선하는 연구의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 나노포러스 금의 기계적 특성 개선을 위하여 나노포러스 금 내부 미세구조를 제어하는 기술을 개발하고, 나노역학적 평가 기법을 이용해 기계적 특성과 미세구조 상관관계를 규명하는 연구를 수행한다.

2. 실험방법

동시 스퍼터링 기법을 이용하여 나노트윈 구조의 금-은 모합금 박막을 제조하고 금-은 박막에서 은을 선택적으로 에칭하는 디얼로잉 공정을 거쳐 나노포러스 금을 제작하고, 나노포러스 금의 미세구조를 TEM, SEM 등을 이용하여 분석하였다. 또한 SEM 챔버 내에서 실시간 인장 물성 평가를 통하여 나노트윈 나노포러스 금의 기계적 물성을 평가하고, 구조에 따른 변형 메커니즘을 규명하였다.

1. UNIST 신소재공학부

[#] 교신저자: UNIST 신소재공학부, juyoung@unist.ac.kr

3. 결과 및 고찰

동시 스퍼터링을 통해 제작한 나노트윈 구조의 금-은 모합금 박막은 약 8 nm 간격의 밀도 높은 트윈바운더리를 형성하고 있었으며, 디얼로잉 후에도 트윈 구조가 그대로 유지되는 것을 확인하였다. 평균 리가먼트 크기는 약 100 nm 로 형성되었다. 제작된 나노트윈 나노포러스 금의 기계적 특성을 실시간 인장시험을 통해 평가한 결과, 인장방향에 수직인 나노트윈 구조를 형성한 경우 기존 나노다공성 금 소재의 강도의 약 3배에 달하는 90 MPa의 인장강도를 획득하였다. 이는 원주상(columnar) 결정립 구조, 균일한 다공성 구조 분포, 트윈 구조로 인한 하중지지 리가먼트의 개별 강도 강화로 인한 복합적 요인이 작용한 결과임을 규명하였다.

4. 결론

본 연구를 통하여 개발한 나노트윈 나노포러스 금 소재는 기공이 없는 고상 금 재료에 가까운 강도를 획득할 수 있으며, 나노트윈 구조를 다양한 다공성 금속 소재에 적용함으로써 저밀도-고강도의 경량 금속 재료 개발에 대한 가능성을 제시할 수 있을 것으로 전망한다.

참고문헌

- [1] Gwak, E. J., Jeon, H., Song, E., Kang, N. R. & Kim, J. Y. Twinned nanoporous gold with enhanced tensile strength. *Acta Mater.* 155, 253-261 (2018).
- [2] Gwak, E. J. & Kim, J. Y. Weakened Flexural Strength of Nanocrystalline Nanoporous Gold by Grain Refinement. *Nano Letters* 16, 2497-2502 (2016).

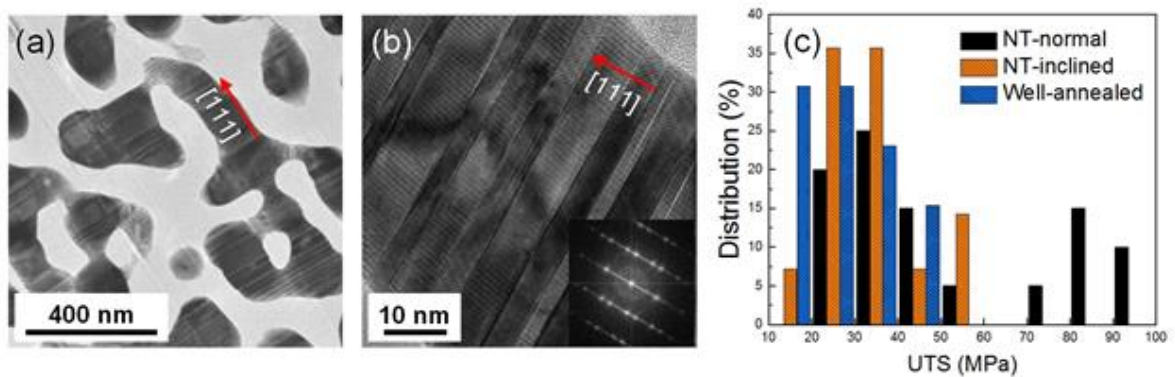


Figure 1. (a), (b) TEM images of nanotwinned nanoporous gold. (c) Ultimate tensile strength distribution of nanoporous gold specimens with different microstructures

13. 특 별 세 셴

故 김병민 교수 추모 기념 세션

(제 5 발표회장)

알루미늄 단조 피스톤 공정해석에서 마찰이 소재유동에 미치는 영향

이성원¹·전만수²·이정민[#]

Effect of Friction on Material Flow in FE analysis of Al Piston Forging Process

S. W. Lee, M. S. Jeon, J. M. Lee

Abstract

일반적으로 수용성윤활제를 이용한 알루미늄의 열간 단조공정의 경우 종종 성형동안 소재의 과도한 변형에 의해 윤활층이 박리되고 소재와 금형이 직접 접촉하여 부분적으로 마찰을 증가될 수 있다. 이러한 조건을 해석할 경우 일반적으로 적용되는 일정한 마찰조건은 종종 실제와는 다른 소재유동을 예측한다. 따라서 본 연구는 알루미늄 피스톤의 단조해석에서 실제 소재유동을 구현할 수 있는 적절한 마찰조건을 도출하기 위해 수행되었다. 다양한 소재온도와 마찰조건에 대한 단조공정해석이 수행되었으며 단조결함을 제거하기 위한 마찰조건도 제안되었다. 최종적으로 해석의 유효성을 검증하고 결함을 제거하기 위해 3가지 다른 가공방법의 초기시편에 대한 알루미늄 단조 피스톤 성형시험을 수행하였다. 결과는 알루미늄 피스톤 단조해석에서 마찰은 변형율값에 의존하며 마찰이 증가하는 임계변형율은 대략 1.5 ~ 1.8이다. 또한 초기 시편을 쇼트피닝 처리할 경우 윤활제 도포량과 균일성이 증가하여 단조결함을 제거할 수 있다.

Key Words : Al forged piston, FE analysis, Material Flow, Process design

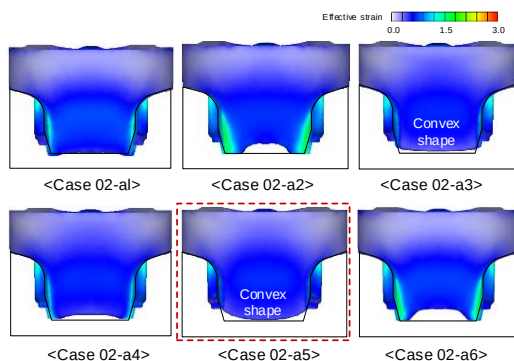


Fig. 1 Skirt shapes of Al piston for different frictional coefficients in FE simulations

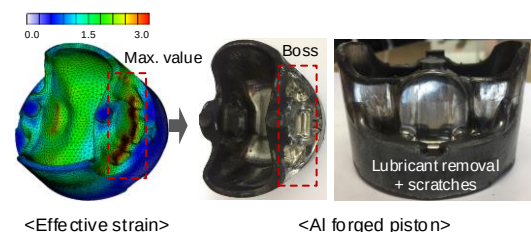


Fig. 2 Comparisons of forging test and simulated results

1. 한국생산기술연구원 수송기계부품그룹

2. 경상대학교 기계공학부

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

금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형의 수명 향상 연구

박동환^{1#} · 김진봉¹ · 권성민² · 김희정² · 권혁홍³

Study on Life Improvement of Fine Blanking Die according to Mold Material

D. H. Park, J. B. Kim, S. M. Kwon, H. J. Kim, H. H. Kwon

Abstract

Plate parts for VCT engine are composed of inner plate and outer plate and are required for wear resistance. Among them, outer plate parts are researched to improve the life of the fine blanking die according to the mold material by applying fine blanking technology of thick plate.

Key Words: Life Improvement, Fine Blanking Die, Mold, Outer Plate, VCT Engine

1. 서론

VCT 엔진용 플레이트 부품은 Inner Plate와 Outer Plate 등으로 구성되어 내마모성이 요구되는 부품이다. 그 중에서 Outer Plate 부품은 기존 분말소결금속을 절삭가공하여 사용하던 것을 후판(7.4t, 복열) 무빙 취출 방식의 파인 블랭킹 기술을 적용하여 금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형의 수명을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

VCT 엔진용 Outer Plate 부품에서 포켓(pocket)부는 치수정밀도가 요구되는 중요한 부위로 특히 펀치 금형 수명 문제가 현업에서 발생되어 내마모성이 요구된다. VCT 엔진용 Outer Plate 부품의 포켓(pocket)부 펀치 금형 수명 향상을 위하여 아래와 같이 간이 파인 블랭킹 금형을 제작하여 금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형 시험을 수행하였다.



Fig. 1 Outer plate die for fine blanking

1. 경북하이브리드부품연구원

2. 경창정공㈜

3. 대전대학교 기계공학과

교신저자: 경북하이브리드부품연구원,

E-mail: pdh@ghi.re.kr

3. 결과 및 고찰

VCT 엔진용 Outer Plate 부품에서 포켓(pocket)부 펀치를 열처리와 코팅 처리를 실시하여 제작하였다. 금형 수명 시험 결과를 보면, 후판 7.4mm로 SM15C 피가공 소재를 적용하여 펀치 소재로 YXR3, QCM8, CPM M4, ZPM20V 등을 적용하여 금형 수명 시험을 실시하였다. 금형수명 시험 결과 YXR3, QCM8, CPM M4, ZPM20V 순으로 금형 수명이 증가함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 VCT 엔진용 Outer Plate 부품의 펀치 금형 수명을 향상하기 위하여 간이로 파인 블랭킹 금형을 제작하여 금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형 시험을 수행하여 각 소재별로 금형 수명 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] D. H. Park, H. H. Kwon, 2016, Study on the Manufacturing Technology of 2-Cavity Fine Blanking Seat Recliner Die with Minute Module of Accurate Gear, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 22-30.
- [2] D. H. Park, H. D. Kwon, H. H. Kwon, 2019, Development of Cam Ring Gear Parts of Large Diameter for Truck Clutch Using Hot-Cold Complex Forging Technology of Small Bar, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 20, No. 5, pp. 827-836.



Fig. 2 Pocket punch for VCT Inner plate parts



Fig. 3 Pocket shape blank for VCT Inner plate parts

B-Pillar의 핫스탬핑 공정에서 경량화 및 충돌성능을 위한 패치워크의 적용

김재홍¹ · 김병민² · 고대철[#]

Application of patchwork blank to B-pillar in hot stamping for weight reduction and crashworthiness

J. H. Kim¹, B. M. Kim², D. C. Ko[#]

Abstract

Recently, in order to achieve weight reduction of car body and crashworthiness, hot stamping process has been applied to manufacture automotive part with patchwork blank. However, design of the forming process of patchwork blank is difficult in comparison to conventional forming process because of local thickness variation.

The objective of this study is to application of patchwork blank to B-pillar for weight reduction and crashworthiness in hot stamping process. First of all, topology optimization was performed to determine shape and thickness for patch and spot-welding position. Subsequently, the initial blank for patch was determined by inverse approach in order to make the deformed contour coincided with the target contour. After the determination of initial blank, FE-simulation for hot stamping is performed to modify spot-welding position for prevention of stress concentration and gap between patch and master blank by springback or thermal distortion. Finally, experiment of hot stamping and drop test were performed to verify effectiveness of patchwork blank.

Key Words : Hot stamping, Patchwork blank, B-pillar, Light-weighting, Crashworthiness

후 기

이 논문은 2019 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1A5A6099595).

1. 부산대학교 설계기반미래성형기술개발센터
2. 부산대학교 기계공학부
교신저자: 부산대학교 융합학부, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

접합기준을 이용한 마찰교반점용접에서의 공구선택

조덕상¹ · 김지훈² · 김병민[#]

Tool selection in friction stir spot welding process using bonding criteria

D. S. Jo, J. H. Kim

Abstract

The objective of this study is to select friction stir spot welding (FSSW) process tool using bonding criteria used in the porthole die extrusion. As mentioned in the literature, using pressure-time criteria and verified that it is applicable to the FSSW process. Experiments were performed on various process parameters, various tool geometries and dimensions, and the bonding strengths were measured using a lab-shear test. Also, Finite element analysis (FEA) results were used for bonding criteria. Using the results, it was confirmed whether the bonding was, and also the degree of bonding. As a result, it is possible to select a tool with best degree of bonding in FSSW.

Key Words : Friction stir spot welding (마찰교반점용접), Bonding criteria (접합기준), Aluminum alloys(알루미늄 합금), Bonding strength(접합강도)

후 기

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294).

1. 부산대학교 정밀가공시스템 전공
2. 부산대학교 기계공학부
교신저자: 부산대학교 기계공학부,
E-mail: kimjh@pusan.ac.kr

탄소섬유복합소재-금속 이종소재 접합기술

이찬주¹ · 고대철² · 김동환³ · 김병민[#]

Joining by Forming for CFRP-Metal

C. J. Lee, D. C. Ko, D. H. Kim and B. M. Kim

Abstract

Joining by forming is a technology that makes geometrical interlocking at joint materials using their plastic deformation characteristics. It has been developed as one of typical joining technologies for multi-materials designed automotive body. With the recent applications of CFRP component, the joining between CFRP-metal is an issue in the development of lightweight automotive body. In this study, the recent joining technologies by forming between CFRP-metal is introduced with their applications in automotive body.

Key Words : Joining by Forming, Multi-Material Design, CFRP-Metal, Lightweight, Mechanical Joining

1. 서론

이종소재 접합기술은 자동차 경량화에 있어 다양한 소재를 적용한 부품의 결함을 위한 필수 기술중의 하나이다. 최근 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) 부품의 개발 및 적용이 확대됨에 따라 이에 대한 CFRP-금속간 접합기술의 개발이 요구되고 있다. 소성변형기반 접합기술(Joining by Forming)은 소재의 소성변형특성을 활용하여 접합소재 사이에 기하학적 결함을 발생시켜 접합시키는 기술이며, 대표적으로 클린칭(Clinching), 셀프-피어싱 리벳(Self-piercing rivet) 등이 있다. 본 연구에서는 CFRP-금속 소성변형기반 접합기술의 적용사례를 소개하고자 한다.

2. CFRP-금속 이종소재 접합기술

본 연구의 대상은 CFRP-금속 이종소재 접합기술로, 금속의 소성변형특성을 활용하여 CFRP와 금속사이에 기하학적 결함형상을 성형하는 기계적 접합기술이다. Fig. 1은 CFRP-금속 이종소재 접합기술들의 공정개요를 나타낸 것이다.

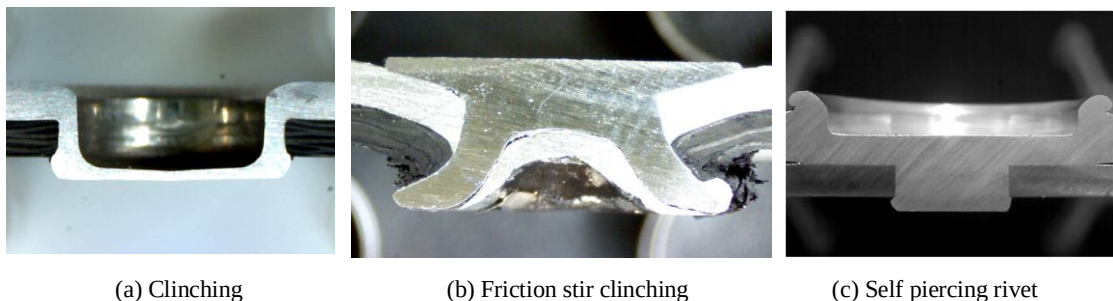


Fig. 1 Geometrical interlocking shapes of CFRP-Metal joining technologies by forming

1. 한국생산기술연구원 수송기계부품그룹

2. 부산대학교 대학원 융합학부

3. 한국국제대학교 항공공학부

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

초고강도 판재 다점성형공정에서의 인공신경망을 이용한 2차 곡률 스프링백 예측모델 개발

곽민준¹ · 박근태¹ · 박지우¹ · 강범수[#]

A Development of Longitudinal and Transverse Springback Prediction Model Using Artificial Neural Network in Multipoint Dieless Forming of Advanced High Strength Steel

M. J. Kwak, K. T. Park, J. W. Park, B. S. Kang

Abstract

The need for advanced high strength steel (AHSS) forming technology is increasing as interest in light weight and safety of automobiles increases. Multipoint dieless forming (MDF) is a novel sheet metal forming technology that can create desired longitudinal and transverse curvature in sheet metal. However, since springback becomes larger with high strength metal such as AHSS, prediction of MDF having curvature in two directions is more difficult. In this study, a prediction model using artificial neural network (ANN) was developed to predict springback that occurs during AHSS forming through MDF. In order to verify the validity of model, goodness of fit test was performed and compared with the conventional regression model. The data required for learning were obtained through simulation, and further random sample data were created to verify the prediction performance. The predicted results were compared with the simulation results. As a result of comparison, the prediction of ANN based model was more accurate than by regression analysis. If a sufficient amount of data is learned, the ANN model will play a major role in reducing the forming cost of high-strength steels.

Key Words : Multipoint Dieless Forming, Artificial Neural Network, Numerical simulation, Spring Back, Comparative Study

후 기

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2019R1A5A6099595)과 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원-산업용 무인비행장치 전문인력양성사업(No. G02N05660000601)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. 부산대학교 항공우주공학과

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail:bskang@pusan.ac.kr

다단 신선공정 해석 및 설계

이상곤[#], 김병민¹, 김동환²

Analysis and Design of Multi-pass Wire Drawing Process

S. K. Lee, B. M. Kim, D. H. Kim

Abstract

다단 신선공정은 대표적인 소성가공 공정으로 와이어를 여러 개의 다이에 순차적으로 통과시켜 원하는 직경의 와이어를 제조하는 공정이다. 국내에서도 다단 신선공정 관련하여 다양한 연구들이 수행되었으며, 본 연구에서는 현재까지 국내에서 수행된 다단 신선공정 관련 연구들 중 ①단선 저감을 위한 다단 신선 공정 해석 및 설계, ②생산성 향상을 위한 초고속 신선공정 설계, ③신선 와이어 잔류응력 평가 및 저감 기술 연구에 대해 리뷰 하였다.

Key Words : Multi-pass Wire Drawing, Process Analysis, Process Design, Residual Stress.

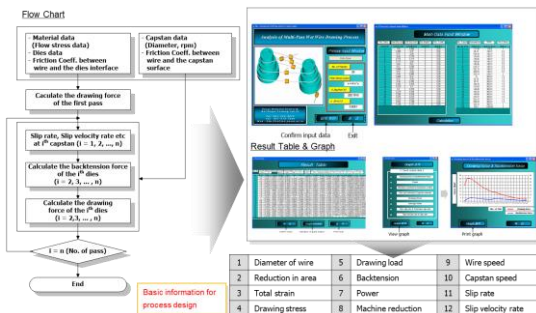


Fig. 1 Analysis of wire drawing process

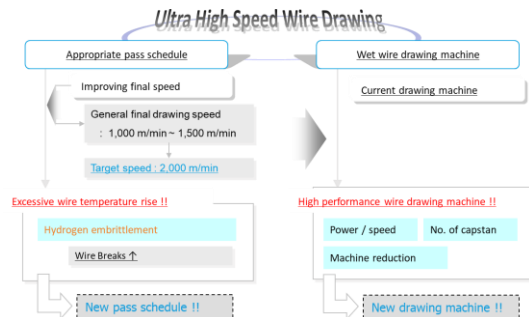


Fig. 2 Ultra high speed wire drawing process

Residual stress in drawn wire

Components of residual stress in wire

Cause

Non-uniform deformation between center and surface in wire
(center : compression, surface : tension)

Components

Effect of tensile residual stress

Hoop residual stress

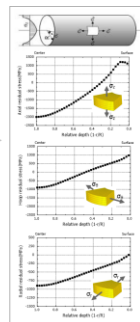
Initiation or propagation of crack on wire surface

Axial residual stress

Initiation or propagation of crack on wire surface in torsional condition

Radial residual stress

Compressive stress



Relaxation of residual stress: skin pass + low semi-die angle effect

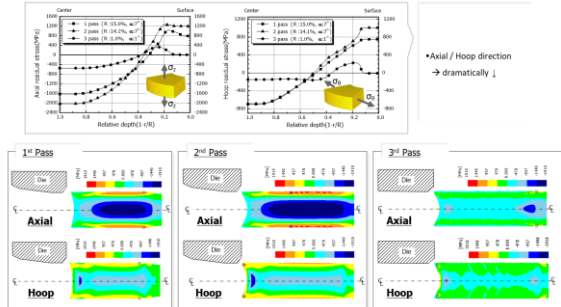


Fig. 3 Residual stress and relaxation in drawn wire

1. 부산대학교 기계공학부

2. 한국국제대학교 항공부품공학과

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

링 압연공정 개요 및 기술동향

이경훈[#] · 김병민¹

Trend and Technology of Ring Rolling Process

K. H. Lee, B. M. Kim

Abstract

Ring rolling process is a general metal forming process for manufacturing seamless rolled ring products with circumferential grain flow and accurate dimensions. Most recently there is an increasing commercial interest in profiled rings manufactured directly by plastic deformation instead of machining. Process design of ring rolling was based on mainly on experience or trial and error. It is necessary to derive an advanced feasible forming condition, to develop a design method for intermediate rolls, and to develop a control method of centering rolls for ensure the process stability during a radial-axial ring rolling process.

Key Words : Feasible Forming Condition(적합성형조건), Control Method for Centering Rolls(센터링 롤 제어법), Design Method for Intermediate Rolls(중간 롤 설계법), Multi-stage Profile Ring Rolling Process(다단 형상 링 압연공정)

참고문헌

- [1] K. H. Lee, B. M. Kim, 2013, Advanced feasible forming condition for reducing ring spreads in radial-axial ring rolling, Int. J. Mech. Sci. Vol. 76, pp. 21~32.
- [2] K. H. Lee, D. C. Ko, D. H. Kim, S. B. Lee, N. M. Sung, B. M. Kim, Design method for intermediate roll in multi-stage profile ring rolling process: The case for excavator idler rim, Int. J. Precis. Eng. Manuf. Vol. 15, No. 3, pp. 503~512.
- [3] K. H. Lee, D. C. Ko, D. H. Kim, S. B. Lee, N. M. Sung, B. M. Kim, Control method for centering rolls in radial-axial ring rolling process, Int. J. Precis. Eng. Manuf. Vol. 15, No. 3, pp. 535~544.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP; Ministry of Science, ICT & Future Planning) (No. 2017R1C1B5017016).

1. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 한국해양대학교 기관공학부, E-mail: submarine@kmou.ac.kr

하지재활 외골격로봇의 프레임 최적화

박한익¹ · 하경수¹ · 박동환² · 권혁동^{1#}

Optimization of Leg Rehabilitation Exoskeletal Robot Frame

H. I. Park, K. S. Ha, D. H. Park, H. D. Kwon

Abstract

본 논문의 목적은 거치형 하지재활 시스템에 장착되는 하지재활 외골격로봇 프레임의 최적화된 두께를 구조해석을 통해 검증하고자 한다. 외골격로봇에 경량화, 고강도 Al7073 소재를 적용하여 무게를 최소화 할 수 있는 프레임 형상 및 두께를 찾아 구조해석을 수행하였다. 3D 모델링은 NX 를 통해 수행하였으며, 구조해석은 ANSYS 13을 사용하였다. 구조해석 조건 중 로봇의 회전각도는 90도(직립상태), 30도, 45도로 설정하여 각각 수행하였다. 구조해석을 수행한 결과 구조 안정성이 확보되는 결과 값이 도출되었으며, 이를 시제품에 적용하고자 한다.

Key Words : Exoskeleton, Rehabilitation, Structural stability evaluation

1. 서론

하지 재활은 장애인에게 신체, 심리, 사회적 생활능력을 회복시켜 개개인의 독립생활을 영위 할 수 있도록 하는 것이다. 하지 재활치료의 효과는 훈련 강도와 환자 집중력에 의한 영향이 가장 크며 지속적인 훈련을 통해서 운동신경의 회복을 목표로 한다. 외골격로봇은 재활 치료와 유사하게 환자 측에게 적합한 재활운동을 보조해주는 역할을 하며, 재활치료의 효과를 극대화 하고자 외골격로봇을 통한 재활운동이 늘어나는 추세이다. 본 연구는 외골격로봇에 Al7073 소재가 적용된 프레임에 대해 구조해석을 수행하고, 구조안정성을 평가하고자 한다.

2. 외골격로봇의 구조해석

외골격로봇은 좌, 우 대칭이므로, 외골격로봇의 전체 부분이 아닌 절반에 대해 해석을 수행하고자 한다. 또한, 허리부위는 재활 및 동작 수행 시 힘 및 토크가 작용하지 않는 부위이므로, 우측 다리 부위를 대상으로 해석을 수행하였다.

구조해석을 위한 외골격 로봇의 모델링은 커버 및 힘을 거의 받지 않는 부분을 제거한 후, 매우 복잡한 곡면이 많은 모델에 적합한 3D tetra 요소로 유한요소모델을 구성하였다.

구조해석 조건은 Case 1 : 외골격로봇이 직립일 때, Case 2 : 30도로 링크가 접혔을 때, Case 3 : 45도로 링크가 접혔을 때로 총 3가지 Case에 대해 수행하였다. 각각의 경우에 있어서 해석을 위한 경계조건을 Fig. 1과 같이 나타내었다.

3. 외골격로봇의 구조 안정성 평가

90도(직립), 30도 링크 접힘, 45도 링크 접힘과 같이 3가지 Case 에 대하여 구조해석을 수행한 후, 변위 및 응력을 검토하였다.

1. ㈜동아금속

2. 경북하이브리드부품연구원

교신저자: ㈜동아금속

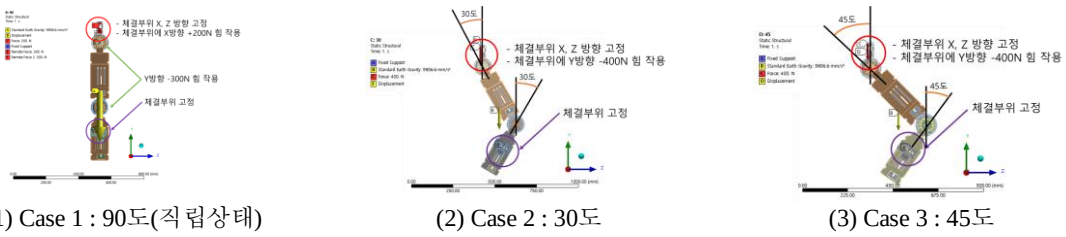


Fig. 1 Contact Constant of Structure Analysis

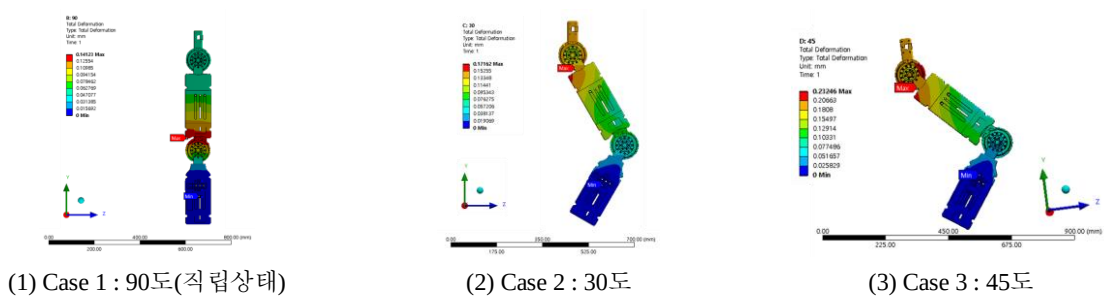


Fig. 2 Total Deformation Distribution of Robot according to Case

Table 1 Result of Structure Analysis

Case (Degree)	1 (90 도)	2 (30 도)	3 (45 도)
Max. Stress Part	Waist Frame	Bottom Frame	
Max. Stress [MPa]	71.14	58.16	81.98
Max. Deformation [mm]	0.14	0.17	0.23
Min. Safety Factor	3.93	4.81	3.41

Fig. 2은 Case 별 변위 분포도를, Table 1은 구조 해석을 Case 별로 수행하여 최대응력과 최대 변위를 나타낸 결과이다. 최대 변위의 경우는 각도가 커질수록 증가하는 형상이 나타난다. 90도에서는 Middle Frame에서 가장 많은 변위가 도출되었으며, 30도, 45도에서는 고관절 부위에서 가장 많은 변위가 도출되었다. 최대 응력은 90도에서는 Waist Frame 부위에서 가장 높게 나타났고 30도, 45도에서는 Bottom Frame의 체결부위에서 가장 높게 나왔다. 안전율이 모든 Case에서 3 이상이므로 안전하다고 평가할 수 있다.

4. 결론

- (1) 하지재활 외골격 로봇의 회전 각도에 따른 구조안정성 평가를 위해 구조해석을 수행하였다.
- (2) 모든 각도에 대해 안전율이 3 이상이므로 구조적으로 안전하다고 평가할 수 있다.

참고문헌

- [1] H. D. Kwon, H. I. Park, H. K. Cho, Y. U. Kim, 2017, Development of Exoskeleton Robot for Rehabilitation using CFRP, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 2017.12. 184-184
- [2] S. C. Hur, B. B. Hwang, 1997, A Development of Single Action Press Robot, The Korean Society of Technology of Plasticity, 1997.5. 261-264

난형상 고강도 Actuator Ball Nut 생산성 향상을 위한 냉간 성형공법 개발

이윤혁¹, 박민철², 김민철³, 전만수⁴, 김병민⁵, 김동환[#]

Development of Cold Forming Process for Productivity Improvement of Actuator Ball Nut with Complex Shape and High Strength

Y. H. Lee, M. C. Park, M. C. Kim, M. S. Joun, B. M. Kim D. H. Kim

Abstract

In this paper, the optimal process design method for cold closed forging of ball nuts was presented using DOE(Design of Experiment), and the AFDEX optimization program. The design variables applicable to the actual site were selected for the height of the protrusion, upper curvature of the projection, and lower curvature of the KO(Knock-out) pin and applied the above variables to the DOE and AFDEX optimization program to optimize the cold closed forging process. Finally, the optimal shape of KO pin was decided by analyzing the filling of cavity for each combination of design parameter.

Key Words : Cold-Closed Forging(냉간 폐쇄 단조), Difficult-to-From Shape(난성형 형상), Design of Experiment(실험 계획법), Optimization(최적화)

1. 서론

자동차 부품 제조업의 개발동향은 경량화, 제품의 고품질화 등과 함께 생산성 향상 및 제조원가 절감 기술 등을 중시하고 있으며 소재의 낭비를 줄이고 복잡한 형상의 제품의 단조 공법 개발이 활발하게 진행되고 있다. 최근 정밀 냉간 단조 기술의 발전으로 고강도 원소재를 이용한 제품 생산 및 개발도 진행되고 있다.

자동차 듀얼 클러치 변속기(DCT: Dual Clutch Transmission)의 장치 중 기어를 바뀌주는 역할을 하는 기어 액추에이터(gear actuator)의 핵심 부품인 볼 너트(ball nut)는 상·하, 좌·우 대칭 형상의 고강도 제품이다. 기존 주조 공정으로 생산되었던 볼 너트 제품을 냉간 폐쇄 단조 공법으로 성형 가능성을 평가하였다[1].

2. 폐쇄 단조 공정 해석 수행 및 최적화 설계

2.1 볼 너트 냉간 밀폐 단조 공정

Fig. 1 은 연구대상인 볼 너트 형상 및 냉간 밀폐 성형 해석을 위한 공정을 나타낸다. AFDEX를 이용하여 1/4 model 해석이 수행되었다.



Fig. 1 Ball Nut and 1/4 model for FE-simulation

2.2 유한요소해석 및 실험계획법

볼 너트의 투입 소재 최적화를 위한 다구찌 실험계획법과 실험계획법을 효율적으로 적용

1. 경상대학교 재료공정융합공학과

2. 경상대학교 기계공학부

3. 엠에프알씨㈜

4. 경상대학교 기계항공공학부

5. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 한국국제대학교 항공부품공학과, E-mail:

dh403@iuk.ac.kr

하도록 고안된 AFDEX 시스템을 사용하여 볼 너트 폐쇄 단조 공정의 금형 설계에 적용하였다. 볼 너트 폐쇄 단조 금형의 형상에 선택된 설계변수는 KO(Konck-out) pin의 돌출부 높이(Height), 돌출부 상부 곡률(T_Round), 돌출부 하부 곡률(B_Round)이며 Fig. 2와 같다.

설계변수는 Table 1 과 같이 3수준 3인자로 설정하였고 대표적인 실험 계획법인 다구찌(Taguchi)의 직교배열표(L_93^3)를 이용하여 총 9 개의 설계 조건을 구성하였다.

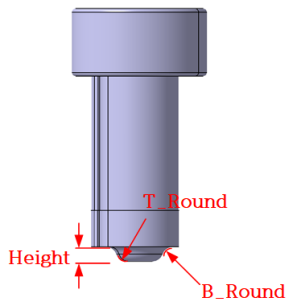


Fig. 2 Design variables

Table 1 Design variables and levels

Variables	Level 1	Level 2	Level 3
Height(mm)	4	6	8
T_Round(mm)	1	2	3
B_Round(mm)	1	2	3

3. 결론

본 연구에서는 볼 너트 냉간 폐쇄 단조 성형 시 투입 소재의 체적을 줄일 수 있는 방법을 제시하였고 제시된 방법을 통한 최소화된 체적을 예측하였다. 설계변수 조합에 따른 결과는 더미부의 최대 길이를 추출하여 투입 소재의 체적을 분석하였다. 분석결과에서 더미부 가공 최소 범위 23mm를 만족하였으며, KO pin의 돌출부 높이, 돌출부 상부 곡률, 돌출부 하부 곡률 모두 투입 소재의 체적에 대한 영향이 높은 것으로 확인이 되었다. 변수 돌출부 높이와 돌출부 하부 곡률은 최대값인 8mm, 3mm, 돌출부 상부 곡률은 최소값인 1mm 일 때 투입 소재의 체적이 가장 작은 것으로 예측되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로

으로 투입 소재의 체적을 최소화하여 경제력을 확보할 수 있었다.

본 연구에서는 실험계획법에 따라 AFDEX 해석을 수행하였고 그 결과 공정최적화 소요 시간을 단축하였다. 향후 다양한 공정 사례에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

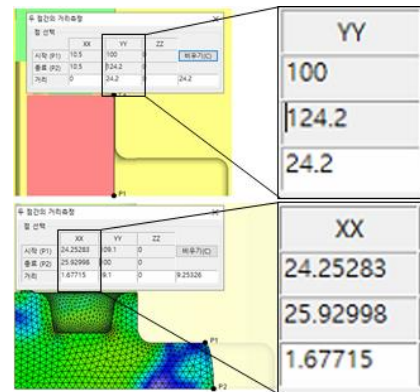


Fig. 3 Result of optimization design for verification

후기

이 연구는 중소기업청의 지역특화(주력)산업 육성 기술개발사업(과제번호: R0006372)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Y. H. Lee, B. C. Kim, D. H. Kim, 2017, Evaluation of Forging Formability for DCT Gear of Actuator Ball Nut, Proc. Kor. Soc. Tec. Plast. Conf., pp176
- [2] J. S. Lee, S. J. Park, B. M. Kim, D. H. Kim, 2017, Development of Side Forming Technology for the Tooth Part Using B. T. Pin in Cold Forming Process, Trans. Mater. Process., Vol. 26, NO. 2, p95~100
- [3] C. H. Nam, D. H. Oh, J. G. Eom, M. S. Joun, 2014, Optimized preform design for reducing forming load in hot forging of a difficult-to-forge pancake-type product, Proc. Kor. Soc. Tec., p266~269

튜브 인발 공정의 하중저감 및 잔류응력제어를 위한 Multiple-Reduction Die 설계

김정훈¹ · 김병민² · 고대철[#]

Design of Multiple-Reduction Die to improve of tube drawing process

J. H. Kim, B. M. Kim, D. C. Ko

Abstract

Drawing processes have been applied to industries worldwide by employing several new solutions. For the drawing using conventional dies in tandem, it is well-known that the deliberate application of back-pull can contribute to the improvement of die life and reduction in die load. To control the residual stress of pipe, a plug is acceptable in tube drawing process usually.

In this study, the tube drawing process using Multiple-Reduction Die(MRD) was presented. A die set of the MRD consists of two die tip and lubricating equipment between die tips. The effect of the MRD on drawing load is evaluated by numerical analysis. The finite element analysis of tube drawing process with the MRD, which reduction of first die tip is 10% and 90% of total reduction, was performed. Under same total reduction area, it was indicated that the drawing load of tube drawing process with the MRD is reduced than drawing with single die. In addition, pressure was applied to the tube surface through a lubricating equipment. Longitudinal and hoop residual stresses of non-pressurized and pressurized cases were evaluated. To verify the result of numerical analysis, experiments were also conducted using a drawing machine. In the experiments, the intensity of residual stress was evaluated by a slitting method where the tubes were divided into eight pieces by slitting every 45° and the displacements of the tube ends were measured.

Key Words : Drawing process, Multiple-Reduction Die(MRD), Drawing force, Residual stress

후 기

본 연구는 2016년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원(‘10063258’) 및 2018년도 중소벤처기업부의 수출기업기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2610408]

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템 전공

2. 부산대학교 기계공학부

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

롤 다이 포밍에 의한 자동변속기용 다단 드럼 클러치 설계

강길석¹ · 류재창¹ · 김병민² · 고대철[#]

Design of Multistage Drum Clutch for Automatic Transmission by Roll Die Forming

G. S. Kang, J. C. Ryu, B. M. Kim, D. C. Ko

Abstract

The roll die forming (RDF) process is one of manufacturing technique for producing gear parts. In the RDF process, there is an advantage that a productivity can be improved in forming gear parts on a die set with rotational rolls. Highly productivity, low forming load and improved tooth strength due to without cutting grain flow have been shown to be the benefits of the RDF process. However, it is difficult to fill corner area and satisfy dimensional accuracy of the tooth shape. The dimensional accuracy of final product depends on the design parameters of each process, such as the blank thickness, roll diameter and clearance between roll and mandrel. Therefore, it is required to evaluate the effect of design parameters on the dimensional accuracy. In this study, the RDF process was applied to manufacture the drum clutch, which is a gear part with multistage tooth. A finite element (FE) analysis was performed to predict corner filling and dimensional accuracy of the tooth shape. The design parameters for each process were evaluated analytically to design a multistage RDF process. Thus, these parameters were determined using multi-objective Taguchi method based weighted grey relational analysis to satisfy both corner filling and dimensional accuracy of the tooth shape. In addition, the effect of parameters was investigated by the ANOVA. Based on the result of FE analysis, an experiment was performed and the dimensional accuracy of the final product was validated.

Key Words : 롤 다이 포밍(Roll Die Forming), 드럼 클러치(Drum Clutch), 유한요소해석(Finite Element Analysis), 실험계획법(Design of Experiment)

후 기

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1A5A6099595).

1. 부산대학교 융합학부

2. 부산대학교 기계공학부

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

초고강도강 Tailor Welded Blank의 딥드로잉에서 용접부 거동의 유한요소 해석

허용찬¹ · 정재봉¹ · 김대용² · 김병민¹ · 강정윤³ · 이명규⁴ · 김지훈[#]

Finite Element Analysis of Weld Zone Behavior during Deep Drawing of Advanced High Strength Steel Tailor Welded Blanks

Y. C. Hur, J. B. Jung, D. Y. Kim, B. M. Kim, C. Y. Kang, M. G. Lee, J. H. Kim

Abstract

Metal sheets used in automotive structural parts require varying stiffness. To meet this problem, Tailor Welded Blanks (TWB) are made by welding advanced high strength steel sheets with different stiffness. This TWB forming has a complicated deformation behavior due to the weld zone created by welding. When analyzing the molding of the TWB, most of the analysis is performed by considering only the properties of two plates without considering the influence of the weld. However, the movement of the weld is simulated differently from the actual one. In this study, the deep drawing of TWB was simulated in consideration of the weld properties. The mechanical properties of the weld zone were measured and applied to the finite element model using the digital image correlation system. As a result, it was confirmed that the finite element analysis considering the properties of the weld zone showed the weld line motion similar to the experiment rather than the finite element analysis without the properties of the weld zone.

Key Words : advanced high strength steel, tailor welded blank, deep drawing, digital image correlation

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2012R1A5A1048294).

1. 부산대학교 기계공학부

2. 재료연구소

3. 부산대학교 재료공학부

4. 서울대학교 재료공학부

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: kimjh@pusan.ac.kr

인공 신경망 기반 딥드로잉 공정 최적화

박근태¹, 박지우², 곽민준¹, 강범수[#]

Artificial Neural Network Based Optimization For Deep Drawing Process

K.T. Park¹, J.W. Park², M.J. Kwak¹, B.S. Kang[#]

Abstract

Optimization method has been widely applied in sheet metal forming process. However, classical optimization process is computationally expensive and time consuming. In order to tackle this problem, we select artificial neural networks(ANN) as a surrogate model to predict behavior of sheet metal in deep drawing process. To search global optimum point in the ANN Model, particle swarm optimization(PSO) algorithm is used. Thickness variation is selected as an objective function to improve workpiece feasibility and wrinkle limit curve is selected as a constraint. Input variables are radius of die, punch and blank holder force. These input value plays an important role in deep drawing process by determining the material flow at flange. Excessive flow may lead to wrinkles within the blank, while an insufficient flow can result in rupture. Output variables are thickness value and logarithmic in-plane principal strain. Initial design parameter samples were selected randomly. Until the difference between ANN model outputs and finite element method(FEM) outputs in optimum point is under tolerance, new sample is added. The result shows that ANN model can find optimum point well and reduce the number of time consuming FEM simulation in deep drawing optimization process.

Key Words : Deep drawing, Artificial neural network, Surrogate model, Particle swarm optimization

후 기

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2019R1A5A6099 595)과 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원-산업용 무인비행장치 전문인력양성 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. G02N05660000601). 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. 부산대학교 항공우주공학과

2. 부산대학교 부품소재산업협력연구소

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail: bskang@pusan.ac.kr

새로운 항복조건식을 이용한 성형한계선의 평가

김영석^{1,*}, Nquyan Phu van^{2,*}, Nquyan Phu van², Quoc-Tuan Pham²

evaluation of forming limit curve using new yield criterion

Y. S. Kim, Nquyan Phu van, Nquyan Phu van, Quoc-Tuan Pham

Abstract

이방성 판재를 이용하여 판재의 프레스 가공공정의 최적화를 위해 유한요소해석기술이 널리 사용되고 있다. 이 유한요소해석기술의 정밀도는 재료 고유의 물리적 특성인 가공경화특성, 소성이방성거동 및 해석 알고리즘 등에 크게 의존한다. 이 중에서 압연된 판재의 소성이방성 특성을 나타내는 항복조건식에 대해 다양한 조건식들이 제안되어 있다. 본 연구에서는 기존의 Hill, Barlat, Hosford, Cazacu, Yoon 등등이 제안한 항복조건식들과 다른 형태인 J2, J3 불변량을 포함하는 간단한 이방성 항복조건식을 제안하였고, 이를 이용하여 알루미늄 판재의 성형한계선을 예측하였다. 그 결과 제안한 이방성 항복조건식은 계수의 선택에 따라 다양한 항복곡면의 형태를 재현할 수 있는 유연성이 있으며 재료의 성형성 및 파단 평가에 효과적으로 적용할 수 있음을 보였다.

1. 경북대학교
2. 경북대학교 대학원

14. 포스터 발표

(제 6 발표회장)

판재 성형공정에서 공법에 따른 스프링백 산포 비교

손민규¹ · 김세호[#]

Comparison of the Springback Scattering according to the Forming Method in the Sheet Metal Forming Process

M. K. Son, S. H. Kim

Abstract

고강도강 판재 성형 시 재료물성 및 공정변수의 입력산포가 성형성 및 스프링백 등 성형결과물에 미치는 영향이 커지고 있으며, 성형 성공 및 실패에 큰 비중을 차지하고 있다. 본 논문에서는 판재성형에서 활용되는 공법인 폼 공법과 드로우 공법을 대상으로 각 강재별 공정변수들이 산포를 가질 때 제품의 스프링백에 많은 영향을 미치는 산포인자와 범위를 도출하고 산포 영향에 의한 스프링백의 확률적 분포를 정량화 하였다. 스프링백의 통계적 분석을 위하여 신뢰성 기반 설계 최적화 기법(RBDO: Reliability Based Design Optimization)을 사용하였으며, 인장강도, 항복강도, 두께, 패딩력, 마찰계수 등 공정변수에 산포를 부과하고 발생하는 스프링백의 산포분석을 실시하고, 변형률 및 응력의 산포분석을 통하여 공법별 산포 경향의 차이의 원인을 찾아 내었다.

Key Words : Springback Scattering, Forming Method, Reliability Based Design Optimization(RBDO)

1. 손민규(현대성우메탈㈜)

교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail:mvksh@daegu.ac.rk

LBM-CA를 활용한 응고합금 수지상정 모사해석

이원주¹· 정유형¹· 강성훈²· 이호원²· 이재욱²· 윤종현[#]

LBM-CA simulation for dendrite growth in solidification process of binary alloy

W. J. Lee¹, Y. H. Jeong¹, S. H. Kang², H. W. Lee², J. W. Lee², J. H. Yoon[#]

Abstract

수지상정은 응고 및 주조합금에서 쉽게 관찰되는 조직이지만 소재의 물성에 막대한 영향을 미치는 인자이며, 응고조건에 따라 이를 제어함으로써 원하는 성능을 나타내는 소재개발에 적용할 수 있는 방안이 시급하다. 본 연구에서는 강제 유동 조건에 따른 일방향응고 합금의 미세조직 예측을 위한 2차원 LBM-CA 모델을 다룬다. 특히, 응고과정에서 형성되는 수지상정 형상 모사를 위하여 국부평형이론 (local equilibrium theory) 및 Lattice Boltzmann Method (LBM), Cellular Automata (CA) 알고리즘을 기반으로 시뮬레이션 모델을 구축하였다. LBM은 대류 및 확산에 의한 용질 이동 현상과 유동 문제를 수치적으로 풀기 위해 사용되었으며, CA는 LBM에 의해 선행 계산된 응고환경을 바탕으로 구체적인 수지상정의 형상을 결정하기 위해 사용되었다. 해당 모델을 활용하여 과냉각도, 초기 합금조성의 영향뿐만 아니라, 유속이 수지상정 형상에 미치는 영향을 확인할 수 있다. LBM-CA 해석 결과를 이론적해와 비교하였으며 실제 응고합금의 미세조직 관찰결과와 비교를 통해, 해석 모델이 관찰 가능한 조직 형상을 예측함을 알 수 있었다.

Key Words : Microstructure; Lattice Boltzmann method (LBM); Cellular automata (CA); Dendritic growth; Solidification; Computational analysis; Fluid flow

후기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 소재부품기술기반혁신사업(사업과제명: 금속소재 가상공학 플랫폼 구축사업, 과제번호 N0002598)으로 수행된 연구결과입니다.

1. 한양대학교 일반대학원 기계설계공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 한양대학교 ERICA 기계공학과, E-mail: yooncsmd@gmail.com

오픈소스 DIC 를 사용한 일축 인장 실험 결과

주무영 *, 이재성**, 강민정**, 정영웅*

Uniaxial tension experiments with an open source DIC package

M. Y. Joo*, J. S. Lee**, M. J. Lee**, Y. Jeong*

Abstract

디지털 화상 상관 관계법(Digital Image Correlation 이하 DIC)은 변위벡터장 (displacement vector field) 측정 기법으로써 다양한 역학 실험에 널리 사용되고 있다. DIC 기법은 연이어 촬영된 화상속의 개개의 픽셀(pixel)이 가지는 명암의 대조(contrast)를 바탕으로 정량화된 수치를 수치해석적으로 분석하여 변위벡터장을 얻는다. 변위벡터장은 연속체역학을 바탕으로 변형률 및 회전량으로 간단히 전환가능하여 촬영된 화상의 픽셀 수준의 공간분해능을 가진 데이터를 수집할 수 있다. 시중에 많은 상용 DIC system 이 있으나, 고정밀의 광학장비와 해석프로그램들의 높은 가격으로 인해 더욱 널리 통용되는데는 제약이 있다. 다만, 다양한 오픈소스 디지털 이미지 상관관계 패키지가 무료로 배포되며, 디지털카메라가 부착된 스마트폰이 널리 보급됨에 따라 비용효율성(cost effectiveness)이 높은 DIC 활용기법에 대한 요구가 높아질 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 스마트폰의 카메라로 촬영한 영상을 샌디아 국립 연구소(Sandia National Laboratories)에서 개발한 오픈소스 디지털 이미지 상관관계법 엔진(Digital Image Correlation engine)으로 해석하는 기법에 대해 논의한다. 일축 인장 시험 결과를 바탕으로 변형률과 R-value 를 구하고, 엑스텐소미터(mechanical extensometer)로 습득한 응력 변형률곡선과 비교 분석하였다.

Key Words : DIC, 변형률, r-value

English Key Words : DIC, Strain, r-value

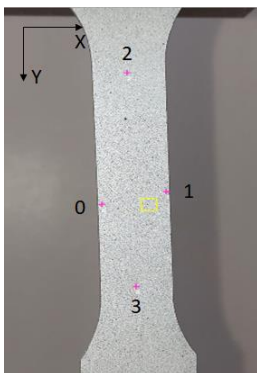


그림.1 시편의 포인트

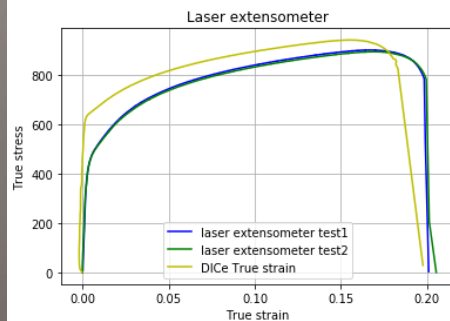


그림.2 DICe 와 레이저엑스텐소미터

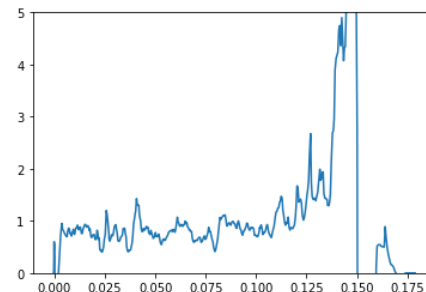


그림.3 DICe 의 r-value

방화문 화재안전 구조성능 평가 모델 개발 및 응력해석

전성진^{1#}

Development on Fire Endurance Structural Model and Stress Analysis of Fire Steel Door

S. J. Jeon

Abstract

Fire resistance of the construction material is traditionally measured by the fire resistance test method in according with the international standards, i.e. ISO 834-1, ASTM E119 and KS F 2268-1, etc. In fire resistance door test, a full-scale door test is fitted into a standardized furnace for testing and then the test report is issued to ensure how long the door can resist the fire. In realistic, these tests, however, have problems with expense, time and diversity of structure. This study reviewed fire resistance performance of fire steel door by heat transfer and thermal stress analysis using finite element ABAQUS program. The numerical analysis results showed that the preliminary thermal structural evaluation of fire resistance for steel fire door would be feasible. This research is for the performance-based design reviewing applicability of domestic standard. Fire time-standard curve, specific heat and conductivity of material were applied for numerical analysis. As a results of the study, thermal properties per each limit temperatures provided for proper performance of fire steel door.

Key Words : Fire Steel Door (방화문), Heat Transfer (열전달), Thermal Stress (열응력), Fire Time-Standard Curve (표준화재선도), Numerical Analysis (수치해석), Specific Heat (비열), Conductivity (열전도율)

1. 서 론

방화문은 건축물에서 화재가 발생할 경우 화재확산을 방지하기 위한 방화구획의 구성요소일 뿐만 아니라 인명안전을 위한 피난계단의 주요 요소로서 일정규모 이상의 건물에는 반드시 설치되어야 하는 중요 건축부재이다. 국내 건축법 49조 2항에서는 갑종 방화문에 대해 비차열 60분 이상 성능 확보 조건이 요구되고 있으며 건축법 시행령 제46조 및 건설교통부 건축물의 피난, 방화 구조 등의 기준에 관한 규칙 제26조에서는 방화문의 내화구조로 설치하도록 법적 기준을 제시하고 있다.[1]

화재로부터 귀중한 인명과 재산을 보호하기 위한 목적으로 설치되는 방화문은 화로에서 945도까지 가열하여 60분을 견뎌야 하는 내화시험을 실시하게 된다. 이러한 방화문의 화재안전 내화성능 시험 및 평가의 경우 시험체 제작 및 고온시험에 막

대한 비용과 시간이 소요되기 때문에 내화성능 시험 전 대상 시험체에 대한 내화성능을 1차적으로 선행 평가하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 ABAQUS/Coupled Temp-Displacement 모듈을 이용하여 3D 방화문 가상모델을 대상으로 표준화재선도가 적용된 열전달 및 열응력에 대한 내화성능 특성을 분석하고 그 결과를 미리 유추함으로써 시험비용 절감 및 방화문의 성능을 향상시키고자 하였다.

2. 방화문 내화성능 응력해석 조건

화재의 성장과 감소에 따라 구조물 표면의 온도가 달라지고 이에 따라 매 시간단계마다 구조물 내부의 온도 분포는 달라진다. 이와 관련해 ISO 834, ASTM E119, KS F 2257는 Fig.1과 같이 표준가열 선도를 제시하였다. 온도변화에 따른 Sheet Steel의 열적 물성변화는 Fig.2 비열, Fig.3 열전도율을 적용하였

1. 동국제강㈜ 기술연구소

1# 교신저자 : sungjin.jeon@dongkuk.com

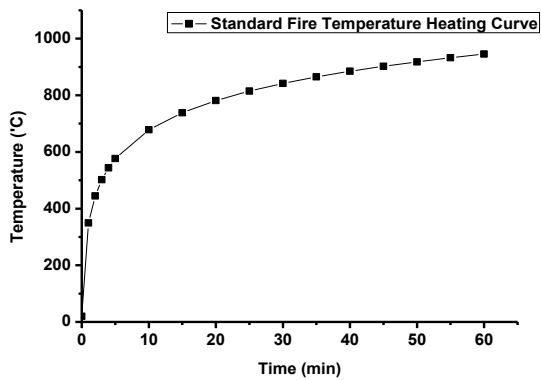


Fig. 1 Standard fire temperature heating curve

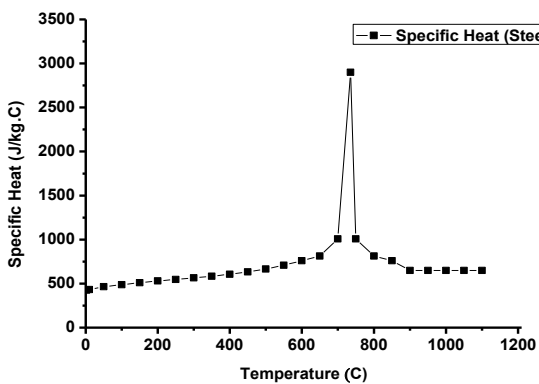


Fig. 2 Specific Heat of sheet steel (GI 1.6t)

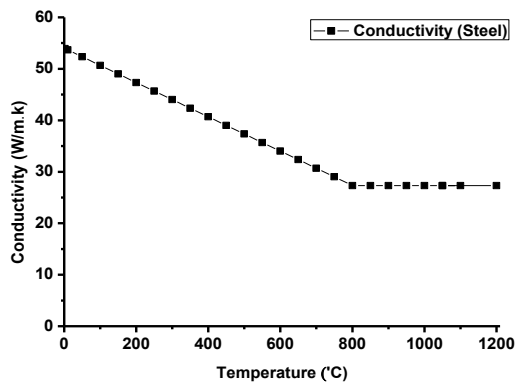
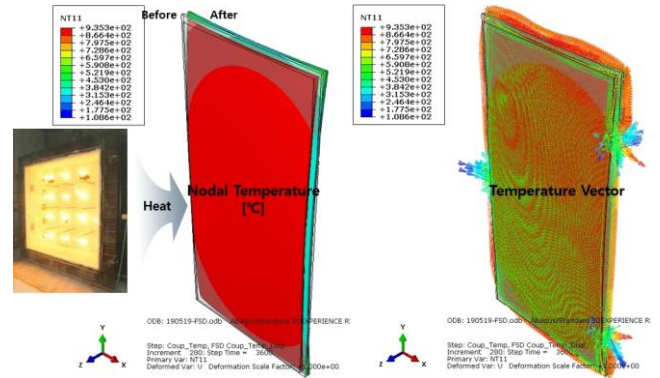


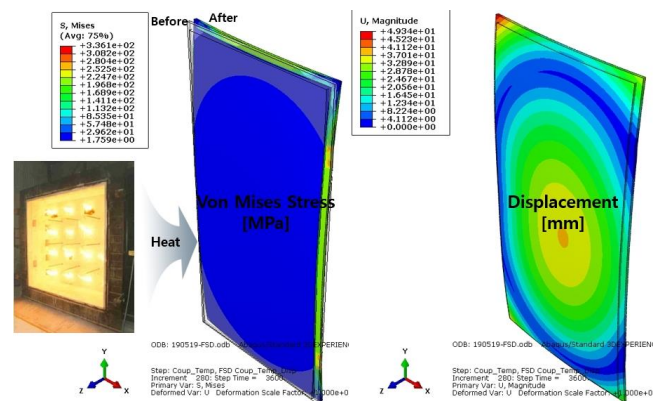
Fig. 3 Conductivity of sheet steel (GI 1.6t)

3. 결론

표준화재선도에 의한 방화문 열전달 해석 결과는 Fig. 4, 열전달로 인한 열응력 해석결과는 Fig.5와 같이 분석되었다.



(a) Nodal Temperature (b) Vector Plot
Fig. 4 CAE Results of Heat Transfer Analysis



(a) Von-Mises Stress (b) Displacement
Fig. 5 CAE Results of Thermal Stress Analysis

방화문 내화성능 응력해석 분석 결과 다음과 같다.
(1) 방화문 내화성능 평가용 가상모델을 개발하였다.
(2) 표준화재선도 및 열적 물성변화에 따라 구조물의 내화성능을 평가하였다.
(3) Thermal Deflection은 모서리부에서 최대 발생했으며, 약 49mm 소성변형 되었다.

REFERENCES

- [1] M. Tabaddor, S. J. Prague, 2013, Predicting the Behavior of Steel Fire Doors, Application of Structural Fire Engineering, pp.19~20.

박판형 니켈 합금 용가재를 이용한 브레이징 판형 열교환기 제작 및 평가

명동준¹ · 하준² · 이명규[#] (돋움 10pt)

Fabrication and evaluation of brazed plate heat exchanger using thin Ni alloy filler

Dongjoon Myung, Jun Ha, Myoung-gyu Lee

Abstract

과거에는 주로 튜브 인 튜브 (tube-in-tube) 또는 셸 앤 튜브 (shell & tube) 열교환기가 많이 제작되었으나 최근 제품의 경량화, 효율 향상 및 설치면적 최소화를 위하여 판형 열교환기가 제작되고 있다. 그 중 높은 내압성을 위해 브레이징 공법을 이용한 판형 열교환기의 제작 및 이에 대한 연구가 진행되어 오고 있다. 본 연구에서는 프레스 공정 개발을 통하여 니켈 박판 성형 및 이를 용가재로 사용한 열교환기를 제작하여 기존의 구리 박판 또는 니켈 분말을 사용한 열교환기 제작 기술과의 차별성 및 독창성을 확보하고자 하였다. 본 연구에서는 인장 실험을 통해 스테인리스강 및 니켈 합금의 물성 및 성형성 데이터베이스를 구축하였고, 전산모사 해석을 통해 프레스 성형 해석 및 공정을 설계하였다. 또한 프레스 공정을 이용한 박판 니켈 합금 용가재의 성형 및 이를 이용한 스테인리스강 브레이징 판형 열교환기를 제작하였고 성능 평가까지 수행하였다.

Key Words : 니켈합금, 박판성형, 열교환기

Acknowledgement

본 연구는 중소기업진흥청의 도약기술개발사업 (C0532576)의 지원을 받아 수행되었음.

1. 서울대학교 재료공학부

2. ㈜지디브레이징

교신저자: 서울대학교 재료공학부, myounglee@snu.ac.kr

고효율 터빈로터용 Ni기 초합금 제작을 위한 단조 특성 연구

김영득[#], 김정욱¹

A Study of Ni-based Superalloy Hot-Forging Properties to Manufacture for High Efficiency Turbine Rotor

Y. D. Kim[#], J. W. Kim¹

Abstract

고온, 고압, 다습 환경 조건하에서 강도 및 내식성을 확보하기 위해서는 일반 소재로 요구 조건을 만족할 수 없어 특수한 초합금재를 사용한다. 이중 에서 고강도 및 내식을 가지는 석출 강화형의 여러가지 Ni기 초합금이 사용된다. 고효율의 발전 성능을 얻기 위해서는 기본적으로 높은 증기 온도가 필요하다. 세계 발전소에서 세계적으로 최대 증기온도는 600°C급 USC 로터가 최대 사양이었다. 본 연구에서는 이 온도의 벽을 넘어 증기온도 700°C이상에서 사용 가능한 기본 로터 소재 4종에 대해 성형특성 분석과 단조 및 열처리 기반기술을 정립하여 최종 압축된 1종을 선정하였고, 실 사이즈급 단조 특성을 통해 제작기술을 최종 확인하였다.

Key Words : HSC Large scale Rotor, Ni-base Superalloy, VIM, ESR, Forge Ability, Inconel 282

1. 서론

발전소 효율 증가를 위해서는 기본적으로 증기 온도의 증가와 이에 따른 소재 및 장치들의 고급화이다.

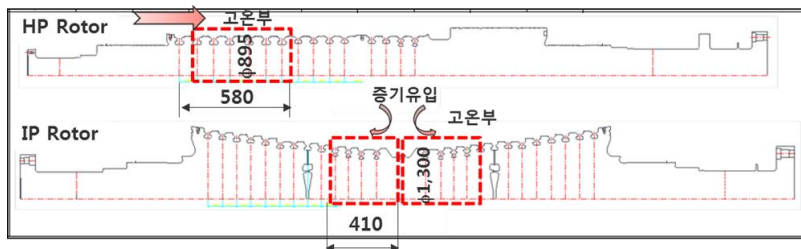


Fig.1 Schematic Diagram of Steam Gas Flow for Power Plant

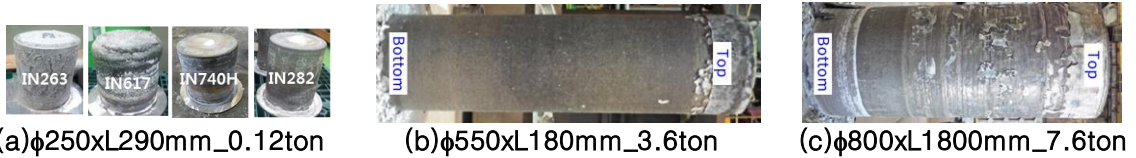
그림 1은 발전소 터빈의 증기흐름에 대한 기본 개략도이다. 고온/고압의 증기는 HP/IP 로터로 유입되어 로터를 회전시키고 이러한 회전력은 발전기를 회전하여 전기를 발생하는 구조이다. 본 연구에서는 이에 따른 고온용 터빈로터 초합금 소재 4종에 대한 단조, 열처리 제조 기반 특성 연구를 통해 700°C이상에서 사용 가능한 실 규모의 7.6톤급 생산용 초합금 로터 단조 작업을 수행하여 제조 및 단조 특성에 대한 파악하였다.

[#]: 교신저자: 두산중공업 기술연구원 소재기술개발팀, 책임

E-mail: youngdeak.kim@doosan.com

¹: 두산중공업 기술연구원 소재기술개발팀, 선임

2. 초 내열 합금 강괴 제작



(a)φ250xL290mm_0.12ton (b)φ550xL180mm_3.6ton (c)φ800xL1800mm_7.6ton

Fig. 2 Photograph of manufactured ingots by using the VIM+ESR process for HSC rotor

그림 2는 주요 합금 원소들의 상평형과 최저 용점 등을 고려하여 조성비와 Slag 조업조건을 설정하고, φ250xL290mm_120kg으로 4종, φ550xL180mm_3.6톤과 φ800xL1800mm_7.6톤 각 1종씩을 제작한 VIM+ESR 강괴 상태를 보여 준다.

3. 단조 및 열처리 조건 도출

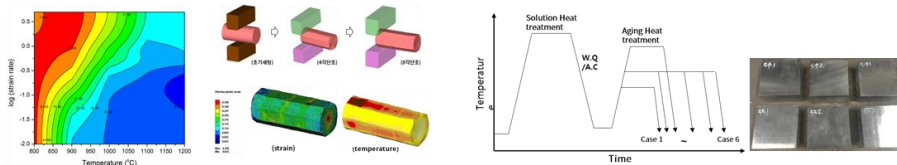
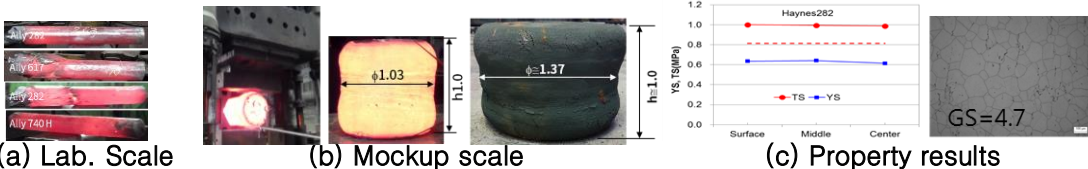


Fig. 3 Set-up of forging condition and heat treatment process factors for manufacturing

그림 3은 고온압축 유동응력 시험데이터를 통해 DMM 이론[2]에 의한 단조온도 구간과 다양한 열처리 변수 조건에 따른 시험을 통해 최적 공정조건들을 설정하였다.

4. 초합금 단조 및 특성검토



(a) Lab. Scale

(b) Mockup scale

(c) Property results

Fig. 4 Forgings and Property Results of Ni-Based Superalloy for High Efficiency TB Rotor

그림 4는 도출된 공정인자에 따라 4종에 대한 소형 단조특성을 파악해 단조 성형성, 온도범위, 가열차수 및 물성(TS≥980MPa)등을 종합고려하여 1종을 선정하고, 최종 Mockup scale(3.6, 7.6ton)의 단조품과 특성결과이다. 이를 통해 생산 가능한 산업용 대형 초합금 단조품 제작 가능성을 확인하였다.

5. 결론

고효율 터빈로터용 Ni기 초합금 후보소재 4종에 대해 최적의 1종 Inconel 282을 선정하였고, 산업용급의 7.6톤급 제작을 통해 단조특성 분석과 생산 가능성을 확인하였다.

후기

본 연구는 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구과제 입니다. (No. : 10052860)

참고문헌

- [1] Y. D. Kim, J. W. Kim, 2010, Manufacturing Technique Develop & Property Analysis of Ni-based materials for Main Power Plant Parts, Forging Symposium, pp.3~7
- [2] Y.V.R.K. Prasad, Metall. Mater. Trans. 27A (1996) 235~236

경량화 브레이크 디스크의 열적 성능 연구

이성민¹ · 이병창¹ · 김봉준[#]

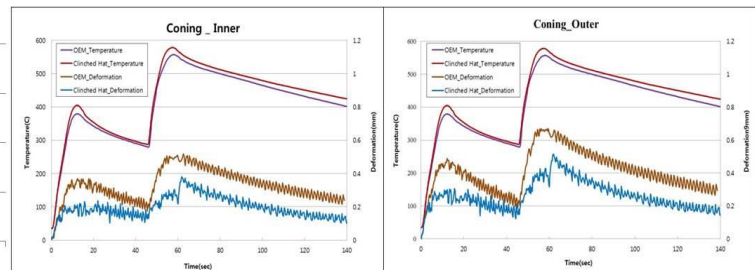
A Study on the Thermal Performance of Lightweight Break Discs

S. M. Lee, B. C. Lee, B. J. Kim

Abstract

자동차용 브레이크 디스크는 브레이크 패드를 압착시켜 제동효과를 발생시켜 차량을 정지시키는 것으로 운전자의 안전 및 차량의 성능에 큰 영향을 주는 중요한 부품이다. 현재 자동차에 적용되는 브레이크 디스크는 대부분 회주철 소재를 사용한 일체형 구조로 되어있다. 이러한 회주철 일체형 부품은 중량이 무거워 최근 이슈가 되고 있는 차량의 경량화와 연비문제에 안좋은 영향을 미치는 부품으로 이러한 부품에 대한 경량화 연구가 많이 이루어지고 있다. 이러한 브레이크 디스크는 기존 회주철 일체형 디스크를 two piece화시켜 경량화를 시키는 방법이 가장 일반적이다. 패드와 접촉하여 직접적인 마찰로 제동이 이루어지는 부분은 기존 회주철 소재를 적용하고, 차량의 구동축과 연결되는 부분인 핫(HAT)을 경량화 소재인 알루미늄 또는 박판의 판재 등을 적용하여 경량화 하는 것이다. 본 연구에서는 판재 소재를 소성가공시켜 제작한 two piece 브레이크 디스크를 대상으로 하여 열적 성능 검증을 진행하였다. 또한 회주철 일체형 브레이크 디스크의 경우 핫부와 제동 디스크부와의 일체형 형상으로 인해 디스크에 열이 발생하였을 경우 변형 특성에 의한 열적 변형량이 증가되는 경향이 있다. 이러한 열적 변형량이 클수록 패드와 디스크간에 접촉되는 면적이 줄어들어 브레이크 패드의 편마모 및 차량의 제동 특성에도 안좋은 영향을 준다. 본 연구에서는 two piece type의 판재 압입 Clinched hat 디스크와 회주철 일체형 디스크에 대해 FEM을 통해 이론적으로 평가를 한 후, 실제 시제품을 제작하여 다이내모 테스트 장비를 활용하여 실 제품에 대한 코닝(coning) 시험을 진행하여 각 제품에 대한 성능을 평가하였고, 회주철 일체형 디스크 대비 two piece 브레이크 디스크의 열적 성능이 더 우수함을 검증하였다.

Key Words : Brake Disc, Clinching, Sheet Forming , Light-Weight , coning



1. 경창산업 중앙연구소

교신저자: 경창산업 중앙연구소, E-mail:bjkim@kc.co.kr

Cowper-Symonds 구성방정식의 파라미터 획득을 위한 대리 모형의 적용

우민아¹ · 김 정^{1,#}

Application of a Surrogate Model to Acquire Parameters in Cowper-Symonds Constitutive Equation

M. A. Woo, J. Kim

Abstract

In this paper, to obtain the high-strain rate material properties of Al 6061-T6 in electrohydraulic forming process, material parameters in Cowper-Symonds constitutive equation were estimated by using surrogate model based on the reduced order model and artificial neural network. To create surrogate model, numerical model of electrohydraulic forming process was constructed first. From the specific range of two parameters in Cowper-Symonds equation, training samples were extracted, and the numerical simulation was performed for these samples. To reduce the order of the deformed shapes of the sheet metal in numerical results, reduced order model was created by two basis vectors extracted from principal component analysis. The weighting coefficients for the basis vectors at different parameters were estimated by a surrogate model based on an artificial neural network. By calculating the error between the results of experiment and the surrogate model, the optimal parameters for Al 6061-T6 were found. The reliability of the parameters was also validated by comparing the LS-DYNA numerical model, the surrogate model and experimental results.

Key Words : Material property, Cowper-Symonds, Surrogate model, Electrohydraulic forming

Acknowledgement

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2019R1A5A6099595), 이공학개인지초연구지원사업(No. 2017R1D1A3B03034265)과 글로벌박사양성사업(No. NRF-2017H1A2A104 2054)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. 부산대학교 항공우주공학과
E-mail: greatkj@pusan.ac.kr

자동차용 볼스터드의 국부가열 단조공정 유한요소해석

이대호 · 민승준 · 김동규[#]

Finite element Simulation of forging process with local heating for manufacturing automotive ball stud

D. H. Lee, S. J. Min, D. K. Kim

Abstract

차량용 서스펜션 부품 중 하나인 볼스터드는 구형의 머리부를 가진 볼트로 서스펜션 부품인 컨트롤 암과 너클을 연결시켜주는 볼조인트의 구성부품이다. 기존의 볼스터드 제조방식은 냉간 단조와 절삭가공이 결합된 방법으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 생산성 향상의 일환으로 통전압접을 도입하기 위해 통전에 의한 국부가열 단조를 적용하여 자동차용 볼스터드를 제조하는 공정을 설계하고자 하였다. 국부가열 단조를 적용해 볼스터드의 이중 플랜지(locking jaw)를 성형함과 동시에 금형의 수명이 적절한 값을 가질 수 있는 금형 및 시편 형상을 찾고자 DEFORM 3D를 이용하여 유한요소해석을 실시하였다. 스테드 헤드부 초기 형상, 금형 형상, 국부가열 온도, 성형속도에 따라 해석을 수행하고, 성형하중 및 미채움 여부를 토대로 최적의 공정조건을 도출하였다.

Key Words Forging; Automotive; Ball stud; Finite element method; Electrically assisted pressure joining

1. 서론

단조시 발생하는 버와 미채움 현상은 추가적인 후공정을 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 미채움 현상을 방지하기 위해 초기 시편의 형상을 조절함으로써 최종 형상 및 성형 하중의 변화 양상을 확인한다. 또한 버를 방지하기 위해 설계된 금형은 향후 다른 복잡한 형상을 가진 제품 가공의 생산성 향상에 도움이 될 것으로 예상된다.

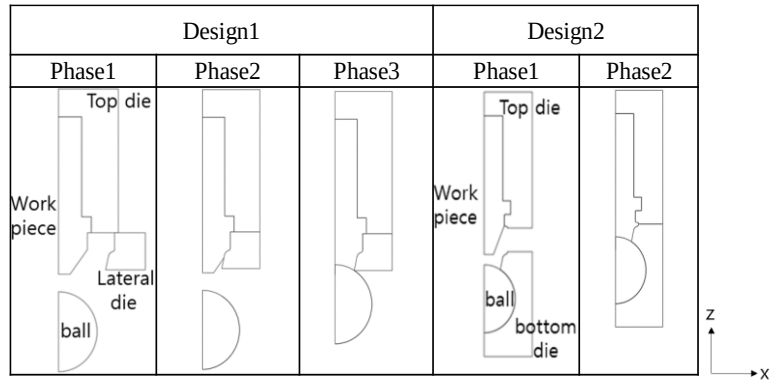
2. 해석방법

본 연구에서는 단조 및 소성가공시뮬레이션 프로그램인 DEFORM 3D를 이용해 강소성 유한요소해석을 진행하였으며, 모든 객체는 $1/12(=30^\circ)$ 의 대칭형상으로 모델링하였다. 스테드(stud) 헤드부의 초기 형상과 금형(die)의 형상을 달리하여 해석을 수행하였으며, 스테드는 강소성체로 가정하여 AISI1010 소재의 유동응력을 적용하였고, 금형은 강체로 가정하였다. 이때, 볼(ball)은 직경 20 mm인 강체로 가정하였고, 열간가공에 따른 금형과 소재 간의 마찰계수 0.5를 적용하였으며, 금형과 볼의 이동속도는 10 mm/s로 설정하였다. Table 1은 스테드 헤드부의 초기 형상에 따른 두 가지 공정안을 나타낸다.

1. 울산대학교 기계공학부

[#] 교신저자: 울산대학교 기계공학부, E-mail: kimdk@ulsan.ac.kr

Figure 1. Forging Design



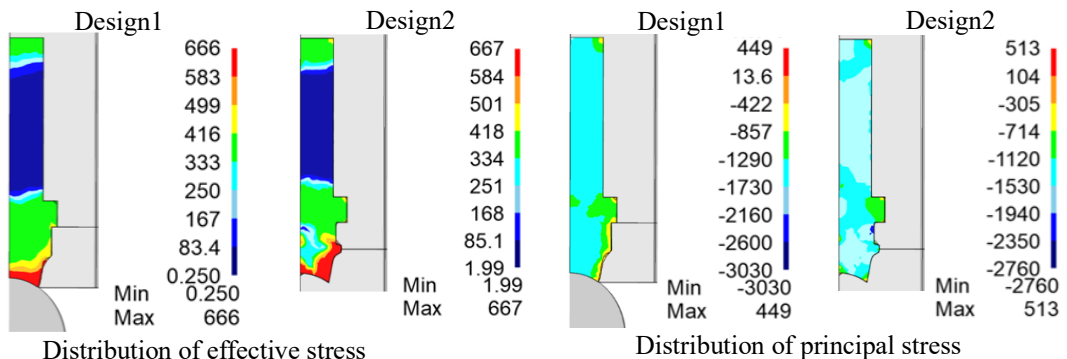
3. 결과 및 고찰

유한요소해석 결과 분석을 통해 제시된 공정안들의 적용 가능성을 파악하였다. Table 2는 각 공정안에서 하부금형과 볼에 가해지는 성형하중을 축방향에 따라 나타내었다.

Table 2 Comparison of forming load (unit: tonf)

Design Direction	Design1		Design2	
	lateral die	ball	bottom die	ball
X axis	4.45	0.51	2.57	-
Z axis	1.19	1.38	2.91	2.91

X축 방향의 성형 하중은 Design1에서 크지만 Z축 방향의 성형 하중은 Design2에서 더 큼을 알 수 있다. Fig2는 각 공정안에서 시편에 가해지는 유효응력과 최대주응력을 나타낸다. 접합부에서 Design2가 높은 유효응력 값이 보다 넓게 분포됨을 알 수 있다. 최대 주응력은 Design1에서 값이 더 크고 금형과 접촉하는 대부분의 영역에서 약 449 MPa의 값이 발생하였다. 반면 Design2에서는 하부금형과 접촉하는 일부 영역에서만 약 513 MPa의 주응력이 발생하였다.



4. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 통한 국부가열 단조 기반 볼스터드 공정설계를 수행하였다. 스택터드 헤드부의 초기 형상, 금형 형상, 국부가열 온도, 성형속도에 따라 해석을 수행하고, 성형 하중 및 미채움 여부를 토대로 최적의 공정조건을 도출하였다.

냉간압연된 Al-1wt%Mg합금 판재의 재결정 집합조직 발달에 미치는 열처리 조건의 영향

김정균¹, 이성음¹, 김민성¹, 최시훈¹

Effect of annealing condition on the texture evolution in Al-1wt%Mg alloy

Abstract

최근 경량화와 고강도화를 동시 향상 시키기 위해 합금 개발 및 가공 공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Al-Mg계 합금은 비강도, 내식성, 용접성이 우수한 구조재료로서 경량화를 목적으로 부품 제조에 사용이 증가하는 추세이다. 본 연구에서는 Al-1wt%Mg합금 판재의 냉간압연(cold rolling) 시 발달하는 변형집합조직(deformation texture)과 열처리 조건에 따른 미세조직 및 재결정집합조직(recrystallization texture)의 변화를 관찰하였다. 중력금형주조 후 열간압연(hot rolling)으로 제조된 초기 두께가 5mm인 Al-1wt%Mg합금을 총 압하율 80%로 두께 1mm로 냉간압연하였다. 냉간압연된 Al-Mg계 합금의 재결정 거동을 관찰하기 위한 목적으로 열처리는 350° C와 450° C에서 다양한 시간에서 수행하였다. 비커스 경도기(Vickers hardness)를 이용하여 온도 및 시간에 따른 연화거동을 평가하였다. Al-1wt%Mg합금 판재의 변형 및 재결정 집합조직을 분석하기 위해서 광학 현미경(optical microscope, OM), X선회절(X-ray diffraction, XRD) 및 전계방출형 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope, FE-SEM)에 장착된 전자후방산란회절(electron backscattered diffraction, EBSD)기법을 활용하였다.

Key Words : Rolling, Microstructure, Texture, Deformation, Recrystallization,

롤 포밍 공정을 이용한 고강도 자동차 차체 부품 개발

김동규¹ · 이철환¹ · 심우정² · 강용기[#]

Development of high-strength automotive body parts using roll forming process

D. K. Kim, C. H. Lee, W. S. Sim, Y. K. Kang

Abstract

A recent car parts trend is to use high performance and high strength steel in light of stricter environmental regulations and a fuel-efficiency improvement. Accordingly, high strength steel and forming technology have been developed. Roll forming process used in this study is a technology with a constant section and it is used to fabrication car body part products. In the current study, pass design method based on strain distribution was proposed by considering the longitudinal strain during the roll forming process. The feasibility of proposed method has been estimated through the fabrication of automotive side sill. On the viewpoint of the shaping accuracy and process stability, the proposed method based on strain distribution is proved to be useful in the process design of roll forming process.

Key Words : Roll forming, High-strength steel, Side sill, Longitudinal strain

1. ㈜디케이솔루션

2. ㈜새한산업

교신저자 : ㈜디케이솔루션, ykkang@dksolution.co.kr

유한요소해석을 통한 건축용 프레임의 롤포밍 공정 설계

강용기¹ · 이철환¹ · 김봉준² · 김동규[#]

Roll forming process design of the architectural frame by Finite Element Analysis

Y. K. Kang, C. H. Lee, B. J. Kim, D. K. Kim,

Abstract

In the field of building business, there is a tendency to gradually increase the size of simple structures for the purpose of enhancing efficiency, and accordingly, the level of demand for the advancement of structural safety capability of buildings is also increasing. In particular, in the case of high-rise and large-scale buildings, standards for disaster safety, such as fire, are gradually being strengthened around the US / EU. Therefore, the development of curtain wall products for building using high-safety fireresistant steel materials is being studied. The roll forming process is a part forming method using continuous bending, and is a process of passing a material through a continuous forming roll to form a part having a desired cross-sectional shape. In this study, the roll forming optimization process for manufacturing steel curtain wall for building and the process analysis for roll design were carried out by Finite Element Analysis.

Key Words : Roll forming, High-safety fire-resistant steel, Architectural frame, Finte Element Analysis(FEA)

1. ㈜디케이솔루션

2. 경창산업㈜

교신저자 : ㈜디케이솔루션, dkkim@dksolution.co.kr

고강도 자동차 차체부품의 롤포밍 공정 해석

이철환¹ · 강용기¹ · 심우정² · 김동규[#]

Roll forming process Analysis of Automobile Body Parts

C. H. Lee, Y. K. Kang, W. J. Sim, D. K. Kim,

Abstract

In recent years, vehicle parts using high strength materials have been developed to lighten the vehicle weight and improve impact resistance in the automobile field. Among the car body parts using high strength steel, the side sill is mainly produced through the roll forming process. The roll forming process is a part forming method using continuous bending, and is a process of passing a material through a continuous forming roll to form a part having a desired cross-sectional shape. If the material has high strength, problems due to the forming load may be caused, such as device breakage or dimensional accuracy degradation. In this study, the problem of the side sill forming process was predicted through FEA and the process design was carried out based on this prediction.

Key Words : Roll forming, High strength steel, Side sill, Finte Element Analysis (FEA)

1. ㈜디케이솔루션

2. ㈜새한산업

교신저자 : ㈜디케이솔루션, dkkim@dksolution.co.kr

FRP 소재의 열간 성형시 거동 분석을 통한 하이브리드 기어 개발

이철환¹ · 서명관¹ · 김상현² · 김봉준² · 강용기[#]

Development of Hybrid Gear by Analyzing Behavior of Hot Forming FRP Material

C. H. Lee, M. K. Seo, S. H. Kim, B. J. Kim, Y. K. Kang

Abstract

For automotive FRP (Fiber Reinforced Plastics), represented by carbon fiber reinforced plastics has been widely applied in recent years and is gaining attention as an essential component material in certain industries. For the purpose of reducing the body size and reducing CO2 emissions due to the demands of environmental regulations and energy efficiency improvements, various car manufacturers apply composite materials including carbon fiber. In the automotive parts industry, engineering plastics are applied to dashboards, center fascia, etc., but the application of engine and transmission gears is rarely used except for a few materials. In this study, hybrid gear development was carried out by analyzing the behavior of hot forming of FRP material.

Key Words : FRP(Fiber Reinforced Plastics), Hot Forming, Hybrid Gear

1. ㈜디케이솔루션

2. 경창산업㈜

교신저자 : ㈜디케이솔루션, ykkang@dksolution.co.kr

신선 와이어 유효 변형률 예측

이성민^{1,2} · 이인규¹ · 이성윤¹ · 김다혜¹ · 황선광¹ · 차경제¹ · 박동용¹ · 이상곤[#]

Prediction of Effective Strain in Drawn Wire

S. M. Lee, I. K. Lee, S. Y. Lee, D. H. Kim, S. K. Hwang, K. J. Cha, D. Y. Park, S. K. Lee

Abstract

신선공정은 와이어를 여러 개의 다이에 통과시켜 원하는 직경의 최종 와이어를 제조하는 소성가공 공정이다. 신선 시 와이어의 표면부에서 신선 다이와 직접적인 접촉으로 직경이 감소하게 된다. 따라서, 중심부와 표면부의 변형량 차가 발생하게 되며, 일반적으로 중심부보다 표면부의 변형량이 상대적으로 많다. 본 연구에서는 신선 시 중심부와 표면부의 변형량 차이를 평가하기 위하여 신선된 와이어 단면의 유효 변형률 예측 모델을 제안하였다. 제안된 모델을 이용하여 신선된 와이어의 유효 변형률을 평가하였으며, 유한요소해석을 통해 그 타당성을 평가하였다. 그 결과, 예측모델과 유한요소해석결과가 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 향후 실험적 검증을 통해 예측 모델의 타당성을 추가 검증할 계획이다.

Key Words : Drawn Wire, Effective Strain, Prediction Model, Finite Element Analysis.

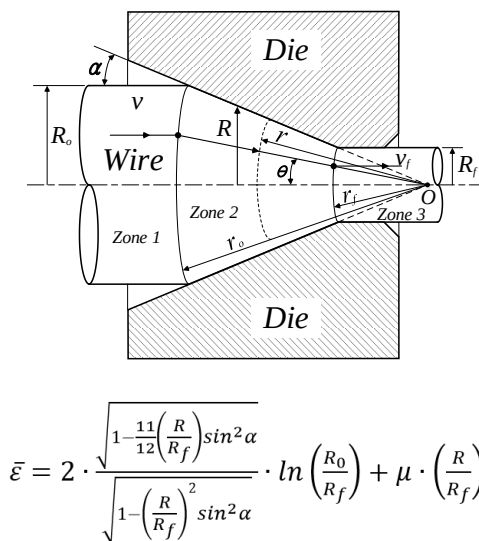


Fig. 1 Strain prediction model

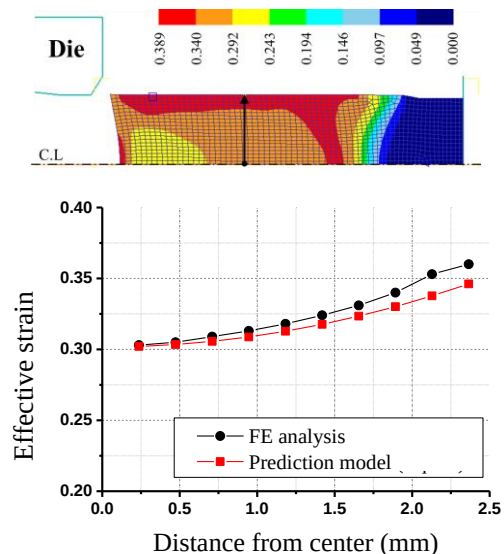


Fig. 2 Comparison of effective strain (prediction model vs FEA)

* 본 연구는 한국생산기술연구원의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. 부산대학교 대학원 기계공학부 정밀가공시스템 전공

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

이종금속 프레스 결합공정에 관한 연구

이인규¹· 이성윤¹· 정명식¹· 조용재¹· 김봉준²· 주원광²· 김동규³· 이상곤[#]

Study on a Press Joining Process for Multi-material

I. K. Lee, S. Y. Lee, M. S. Jeong, Y. J. Cho, K. J. Cha, B. J. Kim, W. G. Joo, S. K. Lee

Abstract

최근 자동차 연비향상을 위한 경량화의 일환으로 다양한 경량 소재들이 확대 적용되고 있다. 이로 인해 서로 다른 소재의 접합기술 또한 매우 중요하게 되었다. 본 연구에서는 알루미늄-스틸 이종소재의 기계적 접합을 위한 프레스 결합공정에 관한 연구를 수행하였다. 세레이션(serration) 형상이 가공되어 있는 스틸 부품에 프레스 성형을 통해 알루미늄 소재를 충만시켜 결합하는 방법으로, 유한요소해석을 통해 다양한 세레이션 형상변화에 따른 소재 유동양상과 성형하중을 평가하였다. 이후 실험을 통해 치형 충만도 및 결합력을 평가하였다.

Key Words : Press Joining, Finite Element Analysis, Joining Experiment

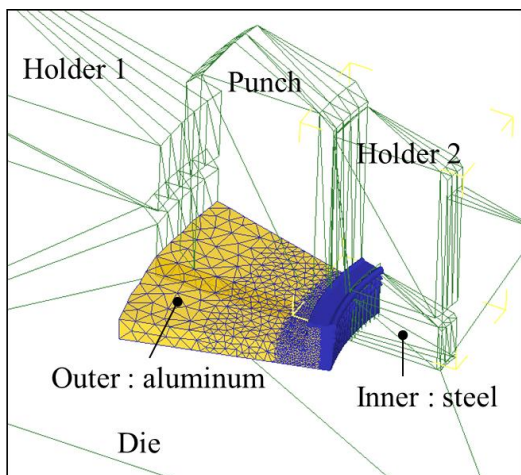


Fig. 1 FE analysis



Fig. 2 Evaluation of joining force

* 본 연구는 한국생산기술연구원 및 경창산업(주)의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. 경창산업(주) 중앙연구소

3. (주)DK솔루션

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

크리프 중단 시험을 통한 IN740H/P92 이종용접부의 P92-HAZ에서의 미세조직 및 기계적 특성의 변화에 대한 연구

서위걸*, 이한상**, 유근봉**, 서진유***, 심재혁***, 최시훈*

A study of evolution microstructure and mechanical properties in P92-HAZ of IN740/P92 dissimilar weldment during creep interrupted test

Abstract

현재 화력 발전용 소재로는 Ni계 초내열 합금, 오스테나이트계 스테인리스 및 고 Cr강이 대표적으로 사용되고 있다. 경제적인 이익을 위해서 높은 온도 영역에서는 Ni 합금 및 오스테나이트계 스테인리스를 사용하며, 상대적으로 낮은 온도 영역에서는 고 Cr 강을 사용하고 있다. 발전 시스템에 이종의 소재가 적용됨에 따라 이종용접은 필수적인 요소로 작용되고 있다. 본 연구에서는 크리프 중단 시험을 통해서 TIG(tungsten inert gas) 용접된 IN740H/P92 이종용접부의 Type IV 균열이 발생하는 P92-HAZ에서 미세조직 및 기계적 특성의 변화를 분석하고, Type IV 균열이 발생하는 원인을 이해하고자 하였다. IN740H/P92 이종용접부를 760 °C에서 2시간 동안 후열처리를 수행하였으며, CGHAZ(coarse grain heat affected zone), FGHAZ I(fine grain heat affected zone), FGHAZ II와 BM(base metal)로 4개영역으로 P92를 구분하였다. 크리프 시험은 625 °C의 130 MPa에서 가속 크리프 시험을 실시하였으며, 파단 수명 대비 50%, 70%, 90%와 파단 시편에 대해서 분석을 실시하였다. 크리프 시험 동안 미세조직 변화를 분석하기 위해서 OM(optical microscope)을 이용하고, 석출물을 정량적으로 분석하기 위해서 FE-SEM(field emission scanning electron microscope)과 TEM(transmission electron microscopy)의 EDS(energy dispersive spectrometer) 기법을 활용하였다. EBSD(electron backscattered diffraction)를 기법을 이용하여 결정립 크기, 재결정 분율 및 균열이 발생하는 위치를 분석하였다. 비커스 경도기를 이용하여 크리프 시험 동안 기계적 특성의 변화를 평가하였다.

Key Words : Creep, Welding, Microstructure, Precipitation, Hardness

1. 순천대학교 대학원 인쇄전자공학과
2. 한국전력공사 청정발전연구소 발전시스템그룹
3. 한국과학기술연구원 고온에너지 재료연구센터

SUS 304 재료의 상온 및 중온 변형특성 및 수식 모델

모하마드카스완디라자리¹ · 박종복² · 전만수[#]

Plastic deformation behaviors of SUS 304 at low and warm temperature and a mathematical model

M. K. Razali, J. B. Park, M. S. Joun

Abstract

In this paper, plastic deformation behaviors of SUS 304 material are revealed from experiments of compression test at low and warm temperature ranging from 100°C to 500°C and some sampled strain rates of 1.0/s, 5.0/s, 10.0/s and 20.0/s. The stress-strain curves experimentally obtained showed a good pattern, indicating that non-negligible effect of temperature on flow stress at low and warm temperature range can be observed. A simple and practical mathematical model is proposed to describe mathematically the effect of temperature on the flow stress in terms of two parameters for the SUS304 material.

Key Words: SUS 304 (SUS 304), Low and Warm Temperature (저온 및 중온), Cylindrical Upsetting (실린더 업세팅), Material Model (재료 모델)

1. 서론

유동응력은 단조 시뮬레이션 결과를 좌우하는 요소이다 [1,2]. 유동응력은 주로 온도, 변형률, 변형률속도의 함수로 수식화되고 있으며, 손상도 등이 부수적으로 소재의 연화를 고려하는 목적으로 고려되고 있다.

냉간소성가공에서 유동응력은 변형률의 함수로 수식화하는 것이 일반적이다. 실제 변형 경화는 재료의 변형 형상을 결정하는 주요 요소이다[2]. 일반적인 공정의 해석 및 설계를 위해서 변형률 의존 유동응력 모델은 효과적이다.

최근 고강도 및 경량금속 재료의 활용의 일반화에 부응하기 위한 냉간단조 중 금속의 유동응력의 영향에 관한 관심이 고조되고 있다. Kim 등[3]은 알루미늄 냉간단조 중 소재의 온도변화에 따른 유동응력은 형상 및 성형하중에 중대한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

이 연구에서는 SUS 304 재료의 상온 및 중온,

즉 500°C 이하의 온도 범위에서 재료의 유동응력에 관한 실험적 연구를 실시한다.

2. 유동응력에 관한 실험 및 수식화

자동다단단조 목적의 SUS 304 코일 소재에 대한 압축시험을 온도 100-500°C의 범위와 변형률속도 1-20 /s의 범위에서 실시하였다.

Fig. 1에 압축시험으로부터 획득된 유동응력 곡선 중에서 온도 100°C와 400°C에 관한 것을 제시하였다. 300°C의 온도의 상승에 따라 유동응력이 0.3의 변형률 조건 하에서 약 300MPa 정도 감소하며, 이것은 약 40%의 유동응력 감소를 초래한다. 즉, 자동다단단조와 같은 연속 공정에서 변형경화에도 불구하고 후속 공정에서의 소성가공이 원활하게 이루어지는 이유가 된다. 그리고 변형률속도는 온도의 상승에 따라 상대적으로 그 영향이 줄어들고 있다.

이 실험결과를 SUS와 같이 고변형경화 및

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. ㈜대동

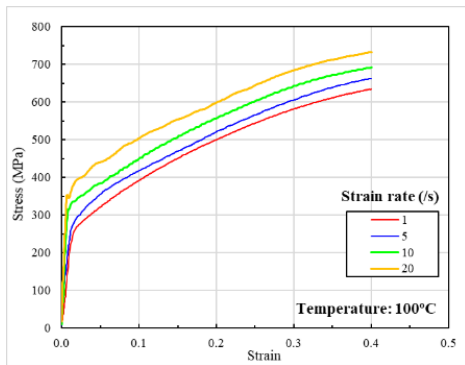
교신저자: 경상대학교 기계공학부, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

고강도 재료의 소성변형 현상의 이해와 응용에 필수적임을 암시한다.

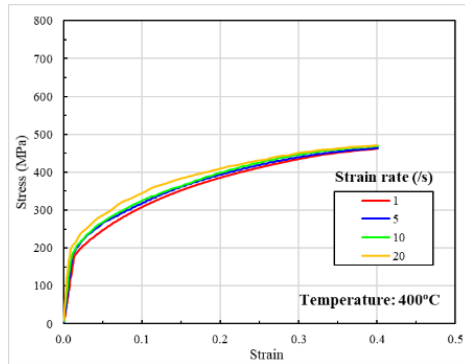
3. 본론

Fig. 2는 유효응력별 온도의 영향을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 온도의 상승에 따른 유효응력의 감소율은 다소 떨어지는 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 특징은 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

$$\sigma = Y_0(1 + \beta_1 T)^{-\beta_2} \quad (1)$$



(a) 100°C



(b) 400°C

Fig. 1 Flow stresses at the sampled temperatures and strain rates

여기서 Y_0 는 변형률과 변형률속도의 함수이며, 0 °C 의 유효응력이다. β_1 과 β_2 는 실험결과와 모델 수식과의 차이를 최소화시킴으로써 구할 수 있다. Fig. 2의 실험결과에 관한 소재의 β_1 과 β_2 는 각각 0.0128와 0.3529 이다.

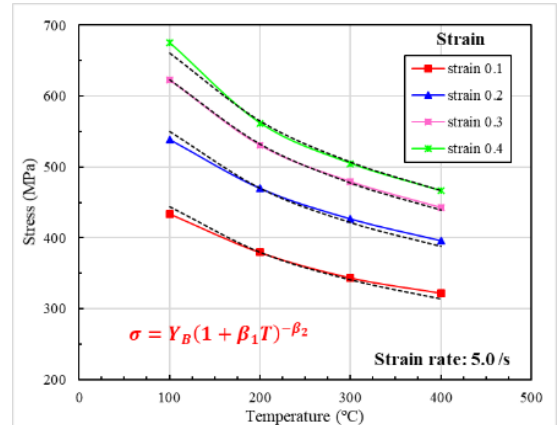


Fig. 2 Dependence of flow stress on temperature and strain

4. 결론

이 연구에서는 SUS 304 소재의 유효응력의 변형률, 온도, 변형률속도 등의 의존성을 온도의 관점에서 서술하였다.

400°C 에서의 유효응력은 100°C 에서의 유효응력에 비하여 약 40%가 감소함을 보였다. 이것은 자동다단냉간단조 공정의 해석에서 온도 영향의 고려의 중요성을 강조하는 것이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 광역협력권산업육성사업(과제번호: P0006106) 및 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 10081334)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] M. S. Joun, J. G. Eom, M. C. Lee, 2008, A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method, Mech. Mater., Vol. 40(7), 586-593.
- [2] J. G. Eom, Y. H. Son, S. W. Jeong, S. T. Ahn, S. M. Jang, D. J. Yoon, M. S. Joun, 2014, Effect of strain hardening capability on plastic deformation behaviors of material during metal forming, Mater. Des., Vol. 54, 1010-1018.
- [3] K. M. Kim, J. D. Yoo, M. S. Joun, 2019, FE prediction of temperature variation of material and dies with number of strokes in aluminum yoke cold forging, KSTP Spring Meeting 2019, 105-106.

S45C 소재의 금속학적 물성치 획득 및 적용

김성완¹ · 이라니미쌔² · 변종복² · 모하마드카스완디라지리² · 전만수[#]

Acquisition of metallurgical material constants and their application

S. W. Kim, M. Irani, J. B. Byun, M. K. Razali, M. S. Joun

Abstract

Material constants of the equations for modeling the kinetics of dynamic recrystallization (DRX) and the grain size are obtained in a practical way. The constants of kinetics equations are acquired from the flow stress-strain curves at different temperatures and strain rates. A two-stage hot forging process is employed to extract the constants for the grain size equation. A set of equations required for the modeling of the DRX are presented for S45C steel. The equations applied to predict the grain size and kinetics of DRX during the two-stage hot forging process.

Keywords: Dynamic recrystallization (동적재결정), Grain size (결정 크기), Material constants (재료 상수)

1. 서론

다양한 방식의 접근방법이 DRX 결정 크기 예측 목적으로 사용되고 있다. 실험적 접근 방법의 일종인 현상학적 모델이 DRX 이후의 결정 크기를 계산하기 위하여 실용적으로 차원에서 제안되었다[1].

이 방법에서 다음의 수식이 사용되었다.

$$d_{DRX} = a_1 d_0^{h_1} \varepsilon^{n_1} \dot{\varepsilon}^{m_1} \exp(Q_1/RT) + c_1 \quad (1)$$

여기서 d_0 , ε , ε^* , Q , R , T 는 각각 초기 결정크기, 유효변형률, 유효변형률속도, 재결정 활성화에너지(Activation energy of recrystallization), 가스상수(Gas constant), 온도를 의미한다.

재결정 거동학(kinetics)은 전형적으로 JMAK (Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov) 방정식으로 설명되며, 그 핵심적 수식은 다음과 같다.

$$X_{DRX} = 1 - \exp \left[-\beta \left(\frac{\varepsilon - b\varepsilon_p}{\varepsilon_{0.5}} \right)^k \right] \quad (2)$$

여기서 X_{DRX} , ε_p , $\varepsilon_{0.5}$ 는 DRX 분율, 유동응력이 최대치에 도달하는 변형률, 즉 피크변형률,

50% 재결정이 이루어지는 변형률을 각각 의미한다.

$\varepsilon_{0.5}$ 와 ε_p 는 다음 식[2]으로 주로 표현된다.

$$\varepsilon_{0.5} = a_2 d_0^{h_2} \varepsilon^{n_2} \dot{\varepsilon}^{m_2} \exp(Q_2/RT) + c_2 \quad (3)$$

$$\varepsilon_p = a_3 d_0^{h_3} \dot{\varepsilon}^{m_3} \exp(Q_3/RT) + c_3 \quad (4)$$

2. 재료 및 방법

전술한 관계식을 적용하기에 앞서, 재료의 상수, a_1 , h_1 , n_1 , m_1 , Q_1 등이 준비되어야 한다. 이 재료상수의 획득 방법으로 유한요소법과 최적화 기법의 연계 방안이 제안되었다[3]. 모델의 간소화를 위하여, c_1 을 0.0으로 간주한다.

식 (2), (3), (4)에서의 재료상수, 즉 a_2 , m_2 , Q_2 , a_3 , m_3 , Q_3 , β , k 은 실험 시의 다양한 샘플 온도와 변형률속도에서 획득된 응력-변형률 곡선으로부터 구해진다. (h_2 , n_2 , c_2 , h_3 , c_3 은 0.0으로 가정하였고, b 를 1.0으로 간주하였다).

열간 압세팅 실험에 사용된 재료는 S45C이며, 실험 샘플 온도는 950, 1000, 1050, 1100 °C 이고, 변형률 속도는 0.1과 10.0 s⁻¹이다.

1. ㈜금동메탈

2. 경상대학교 기계항공공학부

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

3. 결과 및 토의

Fig. 1은 실험 데이터이며, 실험에 사용된 변형률속도 및 온도에 대한 응력-변형을 곡선이다. 재결정의 거동학 방정식 (2)-(4)의 재료상수는 이 곡선으로부터 계산되며, 그 결과를 다음과 같이 요약된다.

$$X_{DRX} = 1 - \exp \left[-2.5 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_p}{\varepsilon_{0.5}} \right)^{1.5} \right] \quad (5)$$

$$\varepsilon_{0.5} = 0.19 \dot{\varepsilon}^{0.08} \exp(986.7/T) \quad (6)$$

$$\varepsilon_p = 0.1 \dot{\varepsilon}^{0.1} \exp(1102.2/T) \quad (7)$$

여기서 β 와 k 는 온도와 변형률속도에 크게 의존적이다.

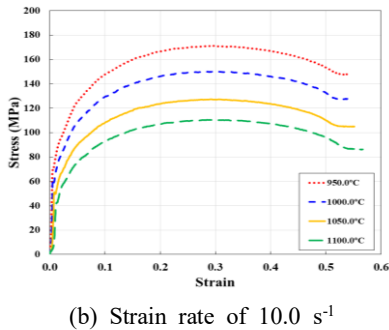
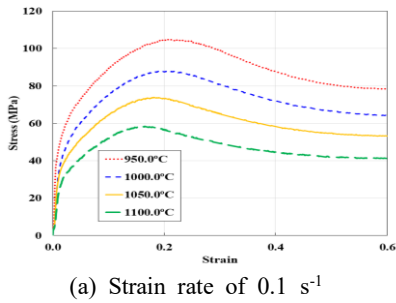


Fig 1. Flow stress-strain curves of S45C

식 (1)에서 결정 크기에 관한 재료상수는 유한요소법 연계 최적화 기법[3]에 의하여 다음과 같이 구해졌다.

$$d_{DRX} = 2.64 \times 10^4 d_0^{0.1} \dot{\varepsilon}^{0.49} \varepsilon^{0.05} \exp(-7477.5/T) \quad (8)$$

비완성 재결정을 위한 평균 결정 크기는 다음과 같은 혼합법칙을 사용하여 구해진다.

$$d_{ave} = X_{DRX} d_{DRX} + (1 - X_{DRX}) d_0 \quad (9)$$

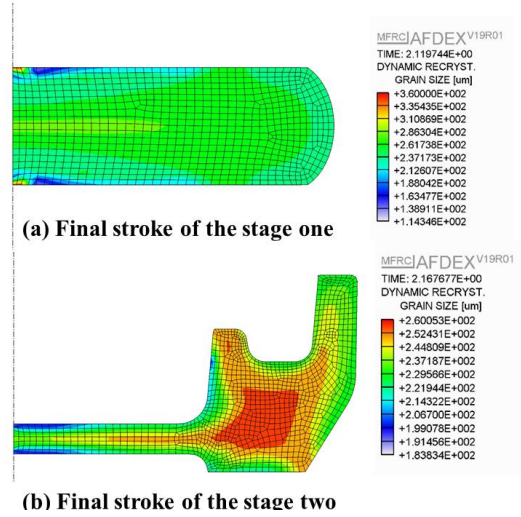


Fig. 2 Predicted DRX grain size (μm).

AFDEX 2D가 2단 열간단조 공정에서 DRX 결정 크기의 예측 목적으로 사용되었다. 각 단의 종료 시에 결정의 크기를 Fig. 2에 나타내었다. 측정된 초기 결정 크기는 360 μm이다.

참고문헌

- [1] M. Irani, S. G. Lim, M. S. Joun, 2019, Experimental and numerical study on the temperature sensitivity of the dynamic recrystallization activation energy and strain rate exponent in the JMAK model, J. Mater. Res. Technol., Vol. 8(2), pp. 1616-1627.
- [2] M. Schikorra, L. Donati, L. Tomesani, A. E. Tekkaya, 2008, Microstructure analysis of aluminum extrusion: Prediction of microstructure on AA6060 alloy, J. Mater. Process. Technol., Vol. 201, pp. 156-162.
- [3] M. Irani, M. S. Joun, 2018, Determination of JMAK dynamic recrystallization parameters through FEM optimization techniques, Comput. Mater. Sci., Vol. 142, pp. 178-184.

냉각채널 보유 금형을 활용한 소성가공 중 열전달 해석기법

엄재근¹ · 전만수[#]

Heat Transfer Analysis of Metal Forming Process with Cooling Channel

J. G. Eom, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a practical scheme of predicting temperature of the die having cooling channel is presented. In the present scheme, the environmental temperatures at the nodes on the die surface inside the channel are assumed as the same with the coolant temperature which is fixed in this study. The die is modeled reflecting the cavity for the cooling channel and the coolant, that is, the channel shape used to check the contact condition with the coolant is defined as an artificial die part of actual channel shape. During finite element analyses of temperature, the cooling channel is excluded and the heat transfer is calculated using the given heat transfer coefficient between the coolant and die surface inside the channel. A simple example is given to show the function.

Key Words : Heat Transfer (열전달), Cooling Channel (냉각 채널), Analysis Model and Scheme (해석 모델 및 기법)

1. 서론

특수공정에서 냉각채널을 이용한 금형의 냉각이 매우 중요하다. 금형의 파손 등을 고려한 금형구조해석 등을 고려할 때, 일반적이면서 발전적인 방법은 금형을 냉각채널을 고려하여 모델링하는 것이 바람직하다.

이 연구에서는 금형을 실제의 형상으로 모델링하고 냉각채널을 하나의 가상의 금형으로 간주하여 두 물체 간의 열전달 문제로 간주하는 방법을 소개한다.

2. 적용 예제

Fig. 1에 기법의 타당성을 보여주기 위한 가상의 적용 예제를 나타내었다. 냉각채널을 위한 가상 금형의 온도는 일정하다고 간주하였다.

3. 결론

금형에 냉각채널이 있는 열간 소성가공 공정의 실용적 해석 기법이 제안되었다.

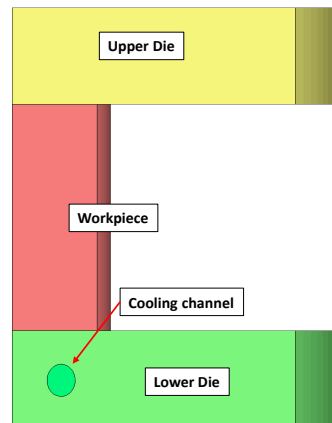


Fig. 1 Definition of the process to be studied

참고문헌

- [1] K. J. Kim and S. H. Cha, 2016, Study on heat transfer of hot stamping die applying direct cooling method, KSPE Autumn Conference, pp. 210.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

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

W-temper 알루미늄 6xxx의 pre-strain에 따른 물성의 변화 측정

오창환¹ · 최유미¹ · 진홍교² · 이명규^{1, #}

Effect of pre-strain on mechanical properties for W-tempered aluminum 6xxx

C.H. Oh¹, Y. M. Choi¹, H. K. Jin², M. G. Lee^{1, #}

Abstract

Recently due to arising significance of lightweight capability, aluminum which possess higher strength-to-weight ratio than conventional steel have drawn attention as an alternative material. As one of high strength series of aluminum alloys, aluminum 6xxx is widely used due to medium strength with good corrosion resistance. Using additional heat treatment such as W-temper is used to enhance the formability than conventional cold forming. W-temper, composed of applying solution heat treatment(SHT) followed by water quenching and cold forming, have advantages of cold forming, while the strength needs to be recovered by additional aging processes such as natural aging and artificial aging. Three kinds of pre-strain immediately after water quenching are conducted to depict the forming process. This study aims to measure the mechanical properties to investigate the pre-straining effects on the aging response in W-temper process.

Key Words : aluminum 6xxx, w-tempered forming, pre-straining effect, mechanical properties

1. 서울대학교

2. MS-AUTOTECH

E-mail: myounglee@snu.ac.kr

Tripod-Housing 온간단조 공정의 금형수명 예측

지세현^{1,2} · 정기호² · 임성식^{1,2} · 조종두^{1,#}

Prediction of tool life in Tripod-Housing warm forging process

S. H. Ji^{1,2}, K. H. Jung², S. S. Lim^{1,2}, C. D. Cho^{1,#}

Abstract

온간단조란 보통 열간단조와 냉간단조와의 중간온도에서 실시하는 단조로, 열간 및 냉간단조의 장점을 함께 얻고자 하는 성형방법이다. 온간단조는 냉간단조에 비해 높은 온도역에서 단조를 하기 때문에 소재의 변형저항이 내려가서 변형능력이 향상되고, 냉간단조와 비슷한 제품정밀도를 얻을 수 있다. 또한, 열간단조에 비해 재료 회수율이 좋으며 가열온도가 낮은 만큼 가열에너지가 적어 생산원가를 절감시킬 수 있다. 본 연구에서는 온간단조 환경에서 Tripod-Housing 제품의 금형마모수명을 예측하고자 pin-on-disk 방식의 고온마모시험을 이용하였다. 유한요소해석을 통해 실제 공정과 유사한 마모시험의 회전속도, 하중, 온도 조건을 설정하고 단조재와 금형의 온도차이를 구현할 수 있는 고온마모시험기를 통해 Archard Model의 K값을 도출하였다. 도출된 K값을 다시 유한요소해석에 반영하여 1회 성형 후 금형의 마모량을 산출하고, 실제 수명이 다한 Tripod-Housing금형의 마모량과 비교하여 금형의 전체 수명을 예측하였다.

Key Words : pin-on-disk, Archard model, Wear, Warm forging, Tool life

1. 인하대학교, 기계공학과

2. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

교신저자: 인하대학교, 기계공학과, E-mail : cdcho@inha.ac.kr

경량화 브레이크 디스크의 최적 형상과 성능평가에 관한 연구

이성민¹ · 이병창¹ · 김봉준[#]

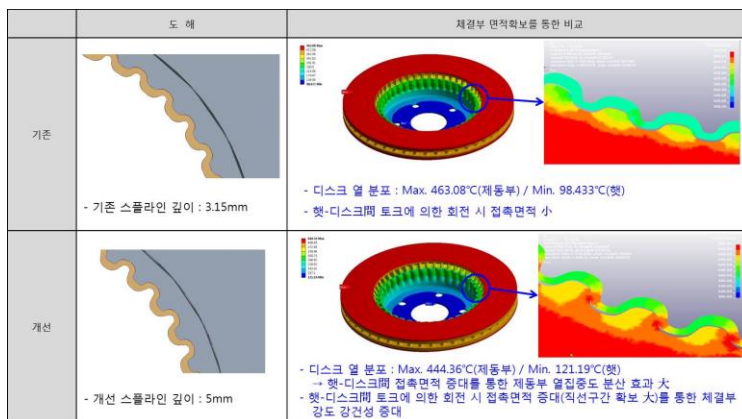
A Study on the Optimum Shape and Performance Evaluation of Lightweight Brake Discs

S. M. Lee, B. C. Lee, B. J. Kim

Abstract

최근 이슈가 되고 있는 자동차의 연비규제 및 CO₂ 배출규제 등의 환경규제에 대응하기 위한 다양한 노력들이 진행되고 있다. 이중 차량 중량의 상당 부분을 차지하고 있는 서스펜션 하단부의 Unsprung mass의 경량화를 달성하면 연비 상승 및 배출가스 저감효과를 얻을 수 있으며, 차량가속 및 제동 성능에도 상당한 효과를 발휘할 수 있다. 또한 차량의 승차감과 조향감을 향상시키는데에도 도움이 된다. 본 연구에서는 기존 회주철 일체형 브레이크 디스크 대비 동등한 성능을 유지하고 중량은 약 10% 이상 절감되는 판재 압입 two piece 브레이크 디스크에서의 체결부 최적 형상 도출을 위한 연구를 진행하였다. 본 연구에서 대상 아이템인 판재 압입 two piece 브레이크 디스크는 기존 패드와 접촉하여 마찰에 의해 제동을 발생시키는 부분은 회주철로 구성되고 차량의 구동축과 연결되는 내경부 핫(HAT)은 강판 소재로 이루어져 있다. 회주철 제동부와 강판 핫과 체결되는 스플라인 형상의 체결부 최적 형상 도출을 위해 FEM thermal/structural analysis를 진행하였다. 또한 도출된 최적형상에 대한 시제품 제작 및 단품 다이내모 테스트를 통해 FEM에 의해 도출된 최적 스플라인 체결부 형상의 검증을 진행하여 그 성능을 평가하였다.

Key Words : Brake Disc, Clinching, Sheet Forming , Light-Weight , Unsprung mass, Spline Shape



1. 경창산업 중앙연구소

교신저자: 경창산업 중앙연구소, E-mail:bjkim@kc.co.kr

단조 해석을 통한 TERMINAL-BATTERY 너트의 최적 공정 설계

강성목^{#1} · 설주연¹ · 강기주¹ · 이광희¹ · 김진용¹

Design development of Terminal-Battery Nut Optimized by forging analysis tool

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

Abstract

냉간 성형 공정에서 소재의 흐름을 정확히 예측하는 것이 어렵기 때문에 플랜지 볼트 타입의 막힌 구멍 너트를 제조하는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 단조 해석 도구(AFDEX)를 이용하여 막힌 구멍 너트 제작에 흔히 사용되는 2가지 공법을 시뮬레이션으로 비교 검토한 후, 최적의 설계 방법을 도출하고 이를 기반으로 효과적인 제품 제작을 수행하였다.

Key Words : Cold Forming Process, Forging analysis tool (AFDEX), Flange bolt type blind hole nut

1. 서 론

냉간단조(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].

본 연구에서는 Terminal-Battery 단조의 스프링 유동 방식과 하부 금형 통제 유·무에 따른 설계 해석을 진행하였다.

2. 실험방법

TERMINAL BATTERY 너트의 재질은 S1021B 탄소 강 선재를 사용하였다. 금형과 원소재에 작용하는 일정 전단마찰을 가정하여 마찰계수(friction coefficient) 값을 전체 단계에 대하여 0.1로 가정하고 해석을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 진행한 TERMINAL-BATTERY 성형을 위한 단조공법은 일반적으로 DIE와 PUNCH DIE를 사용하여 양방향으로 성형하는 방식으로 이중에서도 마지막단에서 상단부 육각부 성형과 날개부 하부 체적확보를 동시에 하는 것이 중요하다. 이를 위한 보다 효과적인 방법을 시뮬레이션을 통해 사전에 비교 검토할 수 있었다.

1. 주식회사 풍강

Corresponding Author : smollkang@pungkang.co.kr

3-1. TERMINAL BATTERY 너트 성형도

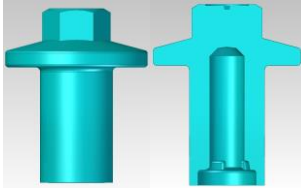


Fig. 1 Terminal Battery Nut Image

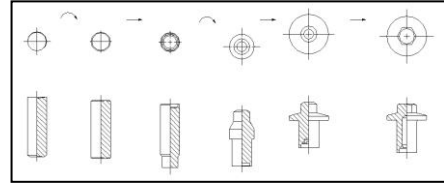


Fig. 2 Multi-step forming process design of case-1

3-2. 해석 비교 결과

Fig. 3, 4의 해석 결과에서도 보이는 것과 같이 육각부의 성형 및 하부의 체적 확보가 스프링 유동 성형과 하부 금형 통제를 진행한 해석 결과가 더 우수하게 나오는 것을 볼 수가 있다.

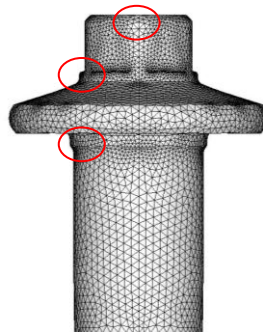


Fig. 3 스프링 유동 성형 해석 결과

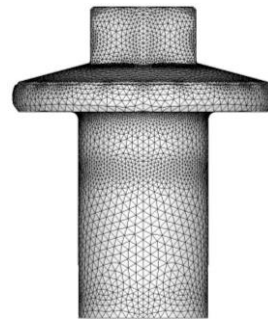
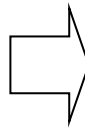


Fig. 4 스프링 유동 성형과 하부 금형 통제

3-4. 실제 제작 결과

실제 제품 Try Out 결과에서도 스프링 유동 성형과 하부 금형 통제 설계가 그림4와 같이 실현되는 것을 것 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 TERMINAL BATTERY 너트의 제작을 위해 3차원적인 소재의 유동 해석이 가능한 해석 툴을 이용하여 최적의 단조 공법을 설계할 수 있었다.

막힌 구멍 너트 제작에 흔히 사용되는 2가지 공법을 시뮬레이션으로 비교 검토한 결과 육각 성형, 날개부 하부 체적 확보 관점에서 스프링 유동 성형과 동시에 하부 금형 통제하는 방식이 유리한 것을 확인할 수 있었다.

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

레이저 직접 적층기술을 이용한 형상적응형 냉각채널을 갖는 후육 화장품 용기용 사출금형 개발

한지수¹·유만준²·이민규¹·이윤선¹·조용재¹·성지현¹·차경제^{1, #}

Development about Injection Mould of Thick-wall Cosmetic Container having Conformal Cooling Channel through Laser-aided Direct Metal Tooling (DMT) Process

J. S. Han, M. J. YU, M. G. Lee, Y. S. Lee, Y. J. Cho, J. H. Sung, K. J. Cha

Abstract

The rapid and uniform cooling of injection mould in injection molding is directly related to the productivity and quality of the product. Research on conformal cooling channel is being actively carried out to increase cooling efficiency of moulds. In this study, conformal cooling channels for injection mould for cosmetic containers were manufactured using DMT process. After machining the cooling channel in mould, the coupon cover the channel and it is manufactured on top. In order to avoid interference with the nozzle, 2 cavities were divided into 6 parts, stacking them, and then connecting them by manufacturing. After manufacturing, for excellent surface illuminance of container, annealing process and mirror surfacing finishing is conducted. Through this process it is confirmed that cycle time is reduced and excellent surface illuminance.

Key Words : Conformal Cooling Channel (형상적응형 냉각채널), Injection mould core(사출금형코어), Direct Metal Tooling (직접금속조형), Injection Molding (사출성형)

1. 서론

사출성형공정은 치수 정밀도가 우수하고 대량생산을 가능하게 하는 우수한 플라스틱 성형 공정이다. 이 때 수지의 온도 변화는 치수 정밀도에 큰 영향을 주고, 빠른 냉각속도는 생산성과 밀접한 연관이 있다. 균일하고 빠른 냉각을 위한 형상적응형 냉각채널 기술을 구현하기 위해 레이저 직접 금속 적층(Laser-aided Direct Metal Tooling; DMT) 공정을 적용하였다.

2. 실험방법

2.1 설계

그림 1과 같이 슬라이드 코어는 크기가 306mm × 126mm × 76mm 이며, 후육 화장품 용기의 외부형상을 따라서 크기가 5 × 5 mm²

의 냉각채널 5줄을 설계하였고, 형상부의 적층 장비의 노즐 간섭을 없애기 위해 캐비티를 분할하여 적층하는 방법을 고안하였다.

상 코어는 핫-러너를 주변의 온도를 균일하게 조절하기 위해 10mm 지름의 원형 냉각채널을 설계하고 4mm 두께로 적층하여 가공여유를 두는 방식으로 설계하였다.

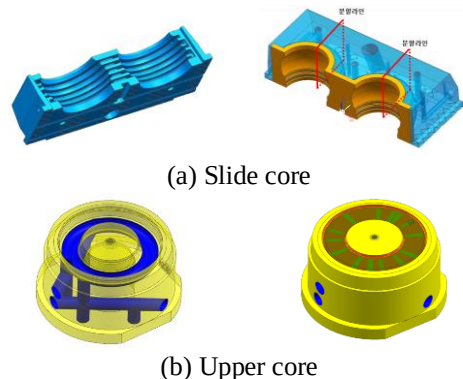


Fig. 1 Design of conformal cooling channel

1. 한국생산기술연구원, 극한가공기술그룹

2. 구미에이테크솔루션 (주)

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

2.2 적층

금형과 사출제품의 경면 가공성을 확보하기 위해 금형모재는 스테인리스 금형공구강의 일종인 STAVAX ESR 소재를 사용하였으며, 적층분말은 동일 계열의 SUS420J2 적층 분말을 사용하였다. DMT 공정 조건은 표1에 나타내었다.

그림 2와 같이 슬라이드 코어 제작은 분할된 코어의 곡면부, 평면부 순으로 적층한 후 이음새를 적층하여 하나의 슬라이드 금형 코어로 결합하였으며, 상코어는 쿠폰 삽입 후 DMT로 적층 하였다.

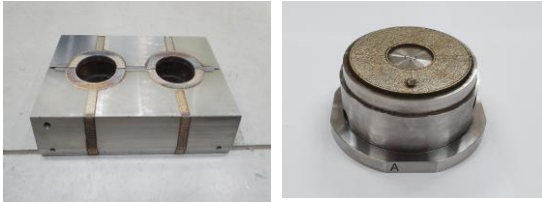


Fig.2 Manufactured mold cores by DMT process

Table 1. Processing condition of DMT process

Process parameter	Units	Value
Laser power	W	300~480
Feed rate	g/min	5.5
Scan speed	m/min	0.85
Gas flow rate	L/min	8
Slicing layer height	mm	0.25

2.3 사출

적층 후 적층부의 경도를 낮춰 가공성을 확보하기 위한 풀림 열처리를 하였으며, 그 후 경면가공을 하여 사출코어 제작을 완료하였다.

제작된 사출금형과 280ton 형체력의 사출기(우진프라임 TH280)를 사용하여 화장품 용기를 사출하였다.

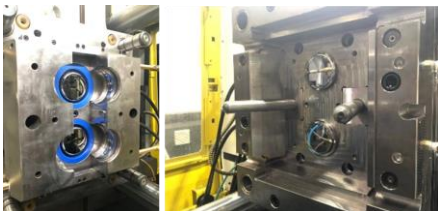


Fig. 3 Developed injection mould

3. 결과 및 고찰

3.1 냉각 효율

후육부 냉각 온도가 기존에 개발되어 있던 의 확산접합 방식의 사출금형보다 시간에 따라 약 1~5 % 수준으로 감소하였으며, 시사출 결과 사이클 타임(Cycle time)이 110.24sec로 기존 대비 약 38% 줄어든 것으로 확인되었다.

3.2 금형 및 제품 표면조도(Ra)

경면가공 후 금형 적층부의 표면조도와 제품의 표면조도를 측정한 결과 적층부는 RA 0.014 μ m, 제품은 Ra 0.046 μ m 로 측정되었으며, 이는 금형과 제품의 요구사양에 모두 만족하는 수준이다.

4. 결론

본 연구에서는 형상적응형 냉각채널을 가지는 후육 화장품 용기용 사출금형을 성공적으로 적층하였다. 노즐과 코어 적층부의 간섭을 피하기 위해 6등분한 2캐비티 슬라이드 금형 코어와 핫러너 부의 균일한 온도 조절을 위한 상코어를 DMT 기법으로 적층 및 결합하여 형상적응형 냉각채널을 구현하였다. 이를 통해 사이클 타임을 약 38% 감소시킬 수 있었으며, 이렇게 제작된 금형과 시사출품 또한 요구사양에 적합하였다.

참고문헌

- [1] Ahn, D. G., Park, S. H. and Kim, H. S., "Manufacturing of an Injection Mould with Rapid and Uniform Cooling Characteristics for the Fan Parts using a DMT Process," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, No. 6, pp. 915-924, 2010.
- [2] Kim, W. S., Hong, M. P., Park, J. S., Lee, Y. S. and Cha, K. J., "Case Studies on Applications of Conformal Cooling Channel Based on DMT Technology," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 9-14, 2015.

인발가공에서 이중금속의 심재 물성에 따른 성형특성 연구

정현영^{1,2} · 김응주¹ · 윤덕재[#]

A Study on the Plastic Characteristics of Core Materials in the Bi-metal Drawing

H. Y. Jeong, E. Z. Kim, D. J. Yoon

Abstract

It is difficult to manufacture bi-metallic materials that can combine characteristics of different materials and produce complementary performance. In this study, the plasticity characteristics of the drawing of bi-metal were recognized by analyzing and organizing the effect of various material information used in the drawing of the bi-metal on the thickness change of the core and sleeve.

Key Words : drawing, bi-metal, core, sleeve, material properties

1. 서론

서로 다른 소재의 특성을 한데 모아 상호 보완적으로 우수한 성능을 낼 수 있어 송전선, 통신선, 전자부품의 리드선, 초전도 마그넷용 선재 등 전기 전자 분야에 많이 사용되는 이중 금속소재 형태를 띤 선재의 제작기술은 단일소재의 선재 제작보다 어려움이 따른다. 이는 선재의 용도에 적합하게 다양한 피복율을 보여야하기 때문이다. 본 연구에서는 이중재의 인발공정에 있어서 코어재와 튜브재에 사용되는 여러 물성정보가 코어와 튜브재의 두께 변화에 미치는 영향을 분석하고 정리함으로써 이중금속 선재의 인발가공에 대한 성형특성을 분석하고 정리하였다.

2. 인발 공정 설계

1) 금형 설계

코어재의 물성에 따른 동 튜브재의 두께 변화를 관찰하기 위하여 본 연구에서는 아래의 도면과 같이 설계된 하나의 금형을

적용하였다. 다음의 설계에 따라서 단면감소율은 22.56% 이다.

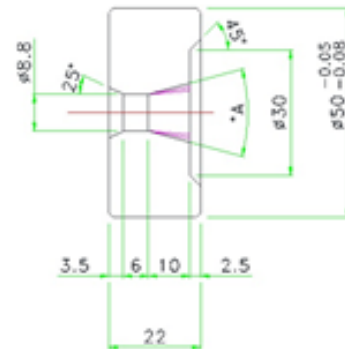


Fig01. 인발 금형 도면

2) 소재

직경 $\Phi 10\text{mm}$ 원기둥의 중심으로부터 코어재의 반경 $\Phi 4.5\text{mm}$, 튜브재의 반경 $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 선재를 사용하였다. 피복재의 물성은 무산소동으로 고정하고 코어재의 물성을 Al10, Al60, Nb로 변경하여 3번의 인발공정 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

2. 인천대학교

#. 한국생산기술연구원, E-mail: ydj@kitech.re.kr

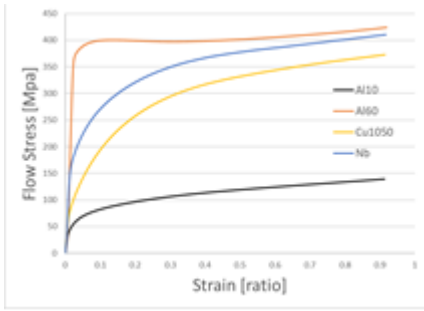


Fig02. 인발공정에 사용된 소재 유동응력

3. 인발 공정 해석

1) 해석 조건

본 연구에서 사용된 이종금속 선재의 유한요소해석 모델을 Fig.03 에 나타내었다. 해석 모델은 축대칭 형상으로 코어재와 튜브재로 구성되어 있고, 다이를 통과함으로써 인발 공정이 이루어지게 된다. 본 연구에서는 인발공정 유한요소해석을 수행하기 위하여 DEFORM-2D를 사용하였다.

코어재와 튜브재 사이의 마찰계수는 쿨롱 마찰 0.5를 사용하였고, 금형과 튜브재 사이의 마찰계수는 쿨롱마찰 0.1을 사용하였다.

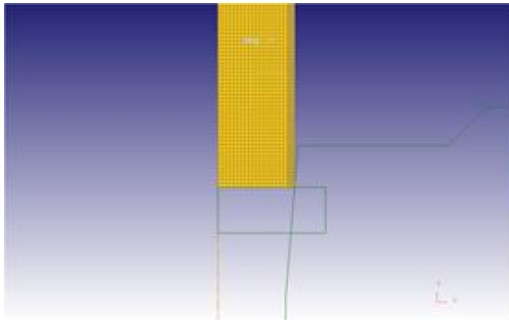


Fig03. 해석 모델

2) 해석 결과

인발공정의 정상상태에 돌입한 세가지 타입의 해석 결과를 아래의 그림에 한번에 나타내었다. 아래의 표에는 각 해석에서의 코어재와 튜브재의 두께변화를 차례로 나타내었다.

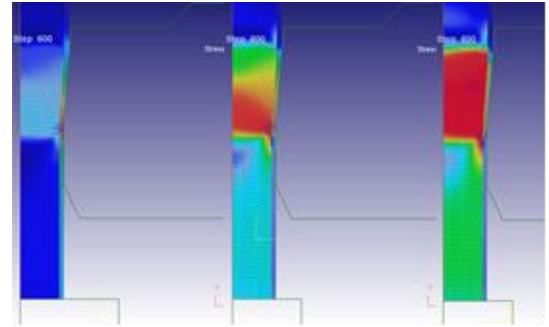


Fig04. 해석 결과

	Core	Sleeve
Al10	3.93421mm	0.45001mm
Nb	3.96731mm	0.42466mm
Al60	3.98969mm	0.39602mm

Table01. 해석 결과 표

결과에서 보여지듯이 코어재의 강도가 튜브재보다 약한 경우 튜브재의 두께 변화가 가장 적었고, 코어재의 강도가 점점 높아질수록 튜브재의 두께 변화의 정도가 더욱 많아진 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 튜브형 이종금속 선재의 인발공정에서 금형의 반각과 단면 감소율을 고정한 상태로 코어재의 물성에 변화를 주어 튜브재의 두께변화에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

이중튜브의 하이드로포밍 성형공정 유한요소해석

이영서^{1,3} · 이명규² · 김응주¹ · 윤덕재¹

Finite element analysis of hydroforming process for double layered tube

Y. S. Lee, M. G. LEE, E. Z. Kim, D. J. Yoon

Abstract

이중튜브는 내부와 외부 튜브로 접촉되어 있어 외력이 가해지면 동시에 변형된다. 이중튜브의 제조 방법 중 하나인 튜브 하이드로포밍은 튜브 내부의 액압을 이용하여 원하는 형상을 얻는 공정으로 자동차 및 항공기와 같은 다양한 부품에 사용된다. 본 연구에서는 유한요소 해석프로그램을 활용하여 튜브 하이드로포밍 공법으로 이중튜브의 성형공정 해석을 수행하여 이중튜브의 성형특성과 잔류응력에 대한 분석을 하였다. 또한 마찰계수를 변수로 하여 성형공정 후 스프링백 해석을 통해 이중 튜브의 형상변화에 대해 분석하였다.

Key Words : Tube Hydroforming(튜브 하이드로포밍), double layered tube(이중튜브), finite element analysis(유한요소해석)

1. 서론

튜브 하이드로포밍 공정은 파단이나 주름, 좌굴 등의 결함이 발생하는데 이러한 결함을 방지하고 성형성을 높이기 위해 성형내압과 축압축량의 적절한 균형이 요구된다.

이중튜브의 제조방법 중 하나인 하이드로포밍 공법은 액압을 균일하게 가할 수 있고 직접적인 측정과 예측이 가능하며, 성형과정을 기계적 해석 및 수치적 시뮬레이션 구현이 쉽다. 또한 복잡한 형상을 원하는 형상으로 성형이 가능한 공정이다.

본 연구에서는 마찰계수를 변수로 하여 튜브 하이드로포밍 공법으로 이중튜브를 벌징 및 압축 성형공정에 대한 해석을 수행하여 성형특성과 잔류 응력에 대한 분석과 공정 해석 후 스프링백 해석을 통해 이중 튜브의 형상변화를 분석하고자 한다.

2. 튜브 하이드로포밍 해석

2.1 성형 해석 조건

해석에서 사용된 소재는 이중튜브 모두 AISI 316, 두께 2mm, 높이125mm이며, 내부튜브는 $\phi 200$ 외부튜브 $\phi 202$ 이다.

튜브 하이드로포밍은 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM을 사용하였으며, 얇은 소재로 이루어진 이중 관재 형상을 벌징한 후 금형을 통해 압축을 하는 해석을 진행하였다. 긴 관재 중 끝 1/2 성형할 수 있는 길이의 관재를 축 대칭한 2D모델링 하여 진행하였다. 벌징을 위하여 디스크형상의 다이를 1개 모델링 하였다. 관재의 경우 이중튜브로 구성되어있으며 외부/내부 관재 간의 간격은 0으로 쿨롱 마찰 0.025에서 0.3까지 변화를 주었고, 내부 관재에 가해지는 액압은 7.8MPa에서 32.6 MPa 시간의 흐름에 따라 압력이 증가 하도록 적용하였다. 벌징이 끝난 후 디스크 형상의 다이가 하단으로 내려와 내부압력이 있는 상태에서 압축성형을 하는 해석을 진행하였다.

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

2. 에스제이엘 기술연구소

3. 국립인천대학교

2.2 성형 해석 결과

튜브 하이드로포밍 공정에 대한 해석 결과 높아지는 액압에 따라 고정된 디스크에 맞춰 원하는 부풀림만큼 두개의 산 형태로 벌징 성형이 이뤄졌다. 벌징 후 소재가 부풀어 지면서 변형률이 가장 큰 부분에서 벽의 두께가 감소하였고, 금형에 의해 소재가 압축되면서 부풀어진 방향에 따라 더 큰 반경으로 압축되는 형상을 나타냈다. 부풀어진 부분일 수록 잔류응력이 높게 분포되어있음을 확인 할 수 있었다. 마찰계수 변수에 따른 변형률, 잔류응력, 두께 등에 대해 비교 분석 할 수 있었다.

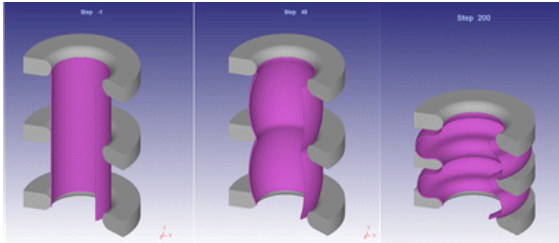


Fig. 1 hydroforming process of double layered tube

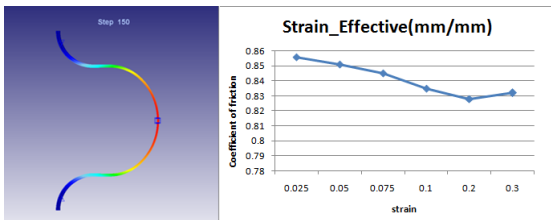


Fig. 2 strain_effective by frictional Coefficient

2.2 스프링백 해석 조건

성형공정이 끝난 이중튜브에 대한 스프링백 해석을 진행하였다. 소재에 가해지는 디스크 형상의 다이, 내압, 압축 3가지의 힘을 제거 한 후 탄성력에 의해 복구되는 형상을 공정변수에 따라 이중 소재의 간격, 스트로크 등을 비교 분석을 하고자 한다.

2.4 스프링백 해석 결과

압축 성형 후 스프링백 해석을 수행하여 외부 힘이 제거 되었을 때 공정변수에 따라 이중 소재의 간격을 비교 분석할 수 있었고, Y축 변위 변화를 통해 스트로크 변화가 1/2의 골마다 약 4.3mm 증가함을 확인하였다.

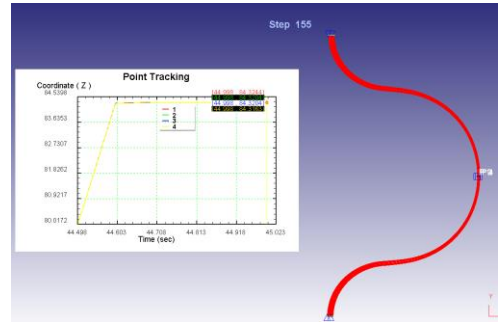


Fig. 3 Point tracking for Y-axis displacement

4. 결론

본 연구에서는 튜브 하이드로포밍 성형해석한 결과를 통해 이중튜브의 성형의 형상에측 및 성형특성을 분석하였고, 성형공정에 따라 잔류응력에 대한 분석을 수행할 수 있었다. 또한 스프링백 해석을 수행하여 이중튜브의 형상 변화를 예측 및 분석 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 조완제, 이상영, 김영석, 이상용, 2003, 알루미늄 튜브 하이드로포밍의 성형한계, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp244.
- [2] 권승오, 이해경, 장정환, 전동현, 문영훈, 2007, 이중튜브 강관의 액압 성형 특성 연구, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp306.
- [3] 교육자료, DEFROM 성형교육, (주)솔루션랩, pp5A

AL 열간단조 공정의 H/W 성형 한계 예측을 위한 소재유동 연구

김민우¹ · 박종현² · 박준일³ · 윤여웅⁴ · 이동진[#]

A Study on the H/W Forgeability of AL Hot Forging Process

M. W. Kim¹, J. H. Park², J. I. Park³, Y. W. Yoon⁴, D. J. Lee[#]

Abstract

To predict forming limitation about “H” shape which is representative in AL hot forging process, length of the product which ignore effect of the material exiting with flash was selected. The H(height) value was fixed and the W(width) value was varied, and the H/W ratio was designed in four stages. The FEA was performed with the designed model which allowed us to analyze the material flow and confirm the material flow to predict the forming limit.

Key Words : AL, Hot Forging, Forgeability, FEA, H Shape, H/W, Friction effect

1. 서 론

자동차 업계에서는 경량화를 목적으로 Steel로 사용되었던 부품들이 AL소재로 대체하려는 시도를 끊임 없이 하고 있다.[1] AL 소재는 Steel 대비 낮은 강도를 가지지만 Steel 대비 34% 비중으로 같은 체적이 적용된다면 66%, 같은 강성을 만족하는 조건으로 비교시 약 50%의 경량화가 가능하다.

AL의 상대적으로 낮은 기계적 물성치를 보완하기 위해 단련 효과가 있는 단조 공법을 적용하여 제품을 개발하는데 많은 시도를 하고 있지만, Steel 대비 낮은 연신율과 성형성으로 소성가공에 어려움이 따른다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 냉간 소성가공법 보다 열간단조 공법이 주로 연구되고 있다.

본 논문은 AL 열간단조 공법시 주로 적용되는 형상인, 양끝에 Rib 형상에 Web으로 연결되는 H 형상에 대해 성형성 한계를 예측하기 위한 연구가 목적으로 상용 유한요소해석 프로그램인 Forge를 이용하였다. 성형성을 정량적으로 평가하기 위해 H(높이)/W(폭)의 비율을 이용하여 성형 한계를 예측하였다.

2. 본 론

2.1 H/W 설계

Fig.1 은 AL 열간단조 공법시 주로 사용되는 H 형상과 H와 W를 표시하여 나타내었다.

성형성을 판단하기 위한 모델의 L(길이)는 Flash로 빠져나가는 유동을 고려하여 선정하였으며, H/W 비율은 현재 안정적으로 생산 가능한 비율 A, 불안하지만 작업은 가능한 비율 B, 작업이 불가능한 비율인 C, D 총 4가지를 선정하였으며, H값은 고정하고 W값을 가변 하여 H/W 비율을 조절하여 설계하였다.

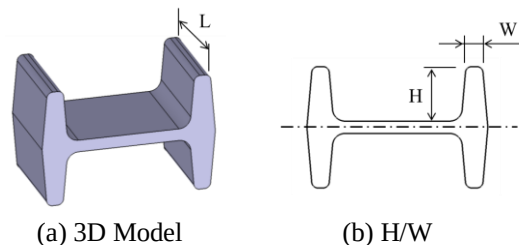


Fig. 1 Typical ‘H’ shape of Al hot forging for FEM

1. 센트랄모텍 R&D Center

이동진 : 센트랄모텍 R&D Center, E-mail : dongjin.lee@ctr.co.kr

2.2 해석조건 및 FEA

일반적 열간단조는 예비 성형인 Blocker 공정과 제 품의 목표형상으로 성형하기 위한 Finisher 공정으로 이루어져 있으며, 각 H/W 비율의 수준에 맞는 Blocker 공정과 Finisher 공정을 설계 하였으며, 수율은 일반적으로 생산 시 적용되는 수율을 적용하였 으며 각 공정별 소재 사양은 Table 1. 과 같다.

Table 1. H/W grade material specification for FEA

HW	Project Area			Volume		
	Finisher (mm ²)	Blocker (mm ²)	소재 직경	Finisher (mm ³)	Blocker (mm ³)	수율
A	1,647	2,603	Φ 59	2.E+05	3.E+05	56%
B	1,587	2,512	Φ 58	2.E+05	3.E+05	56%
C	1,467	2,319	Φ 56	1.E+05	3.E+05	56%
D	1,382	2,188	Φ 54	1.E+05	2.E+05	56%

유한요소해석 시 Blocker 공정은 모두 완전 충전의 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 Finisher 성형시 필 요한 체적과 각 부분의 단면적에 대한 목표치를 만 족하여 소재유동만이 Finisher의 성형에 영향을 주는 조건을 만족한다.

Finisher 공정 성형해석 시 내부 충전의 조건이 모두 만족되지만 오로지 성형성의 한계를 확인하기 위해 길이 방향에 Stopper와 같은 유동 억제 형상을 제거 한 개폐된 형상으로 인해 Fig.2 와 같이 형상의 길 이방향 양 끝단부가 결육이 발생하는 현상을 확인 할 수 있었다

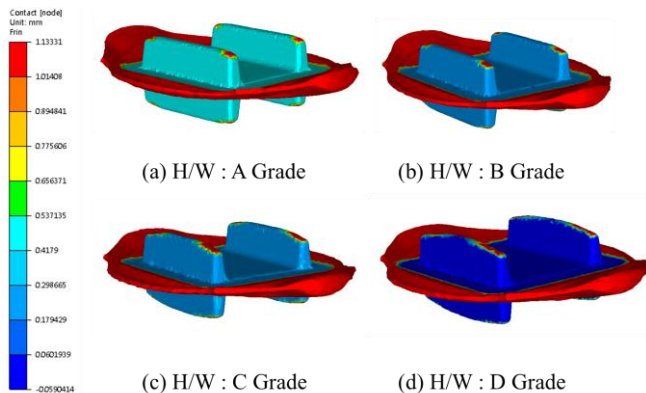


Fig. 2 Height to width ratio FEA results for grades A-D

형상에 중앙 지점은 A~D 모든 비율에 대해 충전

되는 결과를 얻을 수 있었지만, 중앙부로부터 벗어 날수록 H/W의 비율이 낮은, 즉 H에 비해 W이 좁은 형상일수록 급격히 결육현상이 진행되는 현상을 확 인 할 수 있었다.

이러한 현상은 좁은 부위에서의 소재유동은 마찰로 인해 높이 방향의 소재 유동이 억제되고 비교적 마찰이 작은 Flash를 통해 소재가 빠져나가는 현상 이 원인으로 분석된다.

3. 결 론

AL 열간단조 공정에 대표적인 형상인 H형상에 대해 성형 한계 예측을 위해 Flash로 소재가 빠져나 가는 요인이 무시되는 제품 길이를 선정하였으며, H 값은 고정하고 W값을 가변하여, H/W 비율을 총 4단 계로 설계하였다. 설계된 모델로 FEA 를 수행 하 였으며, 그로인해 소재 유동에 대해 분석 할 수 있 었으며 성형한계 예측을 위한 소재 유동을 확인 할 수 있었다.

- (1) H/W 비율이 높을수록 Rib의 양끝단에서 결육 의 정도가 심하게 일어나는 현상을 확인 할 수 있었다.
- (2) 결육의 정도 차이는 Rib의 폭이 좁을수록 마 찰이 증대되어 소재 유동이 H(높이) 방향보다 비교적 마찰이 적은 Flash 부로 빠져나가는 유 동이 원인으로 분석된다.
- (3) 모든 조건이 이상적인 제품의 중심부에서는 오로지 Blocker의 체적비에 따라 성형이 진행 되는 경향을 확인할 수 있었으며, 중심부의 유동은 Web과 수평한 방향의 Flash로 빠져나 가는 유동으로 길이에 대한 유동손실이 적어 결육이 없는 완전 충진을 보인다.
- (4) H/W 비를 높이기 위해 마찰조건과 Flash부로 빠져나가는 유동을 억제 하기 위한 조건 등 요인에 대한 영향력을 분석하기 위한 추가적 인 연구가 필요하며, 추가 진행될 예정이다.

REFERENCES

- [1] K. G. Jung, J. S. Kim, J. B. Jung, J. Y. Choi, K. Y. Eum, J. S. Lee, H.J. Bae, D. O. Kim, 2019, The Study of Hot Forming Process of Al6061 sheet, KSTP Spring Meeting 2019, 245-246

유한요소해석을 이용한 Rotor Shaft 냉간 포머 공정 성형예측

박준일¹ · 김민우² · 이동진[#]

Prediction of Cold Former Process for Rotor Shaft by using FEA

J. I. Park, M. W. Kim, D. J. Lee

Abstract

Shaft Rotor is a component of Rotor Shaft Ass'y. It is the main item that transmits power from the motor to the main shaft by receiving power through the spline connection of the transmission. In order to develop the shaft rotor, the cold former process was simulated using FEA, and the FEA resulted in the folding, under fill and the deviation of forming load was high. Further research is needed to solve these problems.

Key Words : Cold Forging, Former process, Finite Elements Analysis, Rotor Shaft

1. 서 론

Shaft Rotor는 Rotor Shaft Ass'y에 구성되는 부품으로 모터에서 발생된 동력을 변속기의 스플라인 연결을 통해 동력을 전달받아 주축으로 동력을 전달하는 주요 아이템이다.[1]

현재 생산되고 있는 Shaft Rotor는 성형성으로 인해 열간단조공법으로 생산되고 있다. 열간단조공법은 냉간단조에 비해 생산 난이도가 쉽다는 장점이 있으나, 가공덧살과 제품정도에 단점이 있어, 제조단가의 상승과 품질에 많은 문제를 야기하고 있다.

따라서, 현재 열간단조 공법을 이용해서 생산되고 있는 Shaft rotor의 단점을 해소하기 위해 냉간단조 공법 중 하나인 Former 공정을 유한요소해석프로그램인 Forge@NxT을 통해 성형해석을 수행하였다. 성형 하중 분포를 고려하여 Former 프레스를 구현하여 시뮬레이션 하였으며, 가공덧살의 최소화와 냉간 포머 공정시 성형성을 목표로 수행하였다.

2. 본 론

2.1 Former 프레스 공정 설계(4공정)

소재 유동과 성형하중의 분산을 이유로 공법은 냉간 Former 프레스 공법을 적용하였으며[2], Fig.1과 같이 총 4개의 공정으로 나누어 설계 하였다.[3]

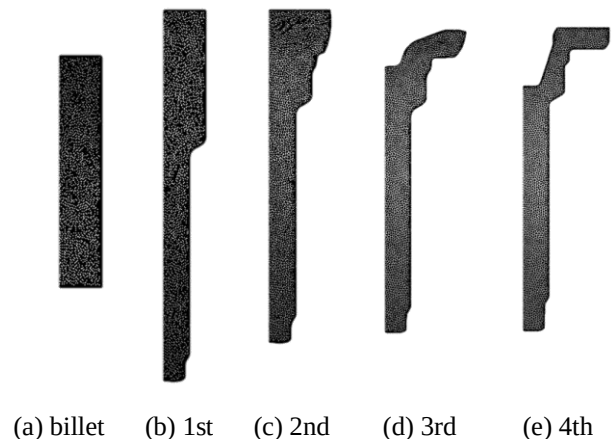


Fig. 1 Former press process (4 stage)

1. 센트랄 모텍 R&D Center

이동진 : 센트랄 모텍 R&D Center, E-mail : donjin.lee@ctr.co.kr

2.2 해석결과

4공정 Former Press 해석 결과, Fig. 2와 같이 플랜지 상단부에 0.8mm 깊이의 Folding이 발생 하였으며, 2부위의 Under fill이 발생되었지만 해당부위는 가공부위로 가공 후 완제품 기준 문제가 되지 않는 것을 확인 하였다.

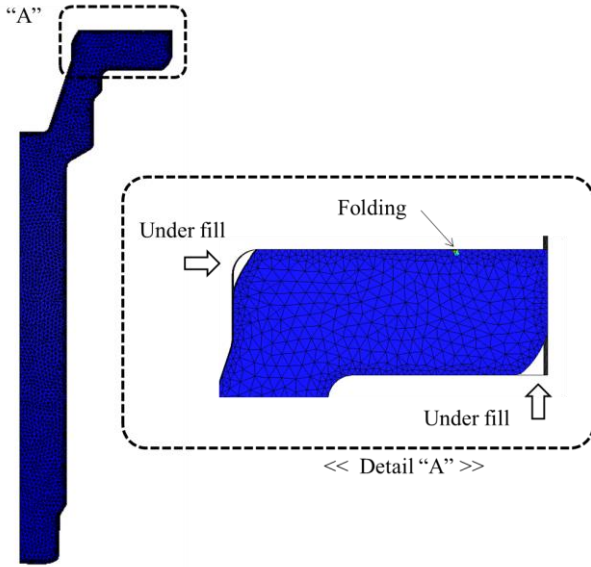


Fig. 2 Expected defects in FEA of cold former process

각 공정 별 성형하중은 Fig.3 과 같이 예상되며, 최대성형하중은 768.97Ton, 전체성형하중은 1,395.4ton 평균성형하중은 348.85Ton으로 최대성형하중과 평균하중의 편차로 크게 예상되며, 추후 공정 추가 또는 성형 형상 최적화 진행이 필요하다.

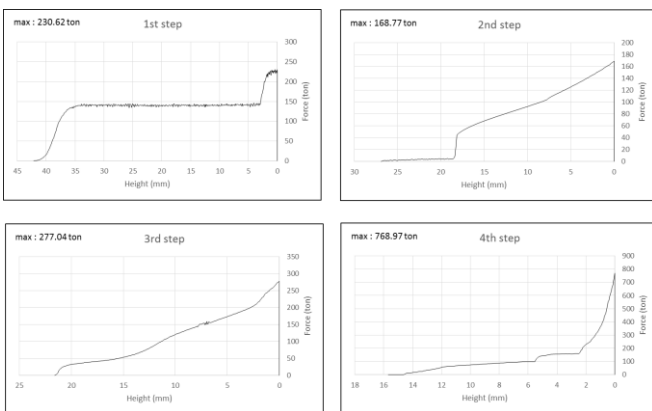


Fig. 3 Forming load for each step (Height Vs Load)

4. 결 론

Rotor Shaft 성형시 발생하는 소재 유동과 성형하중을 고려하여 다단성형이 가능한 Former 공정을 냉간으로 설계하였다.

초기 성형성 판단을 위해 임의로 총 4단계로 이루어진 냉간 Former 공정을 적용하였으며, 유한요소 해석을 이용하여 성형시 발생하는 소재 유동과 성형하중을 예측을 할 수 있었다.

- (1) 최종 단계 성형 후 Flange 부에 부분적인 결속과 결속 현상이 발견되었지만, 가공부위로 가공 후 완제품 기준 문제가 없었다..
- (2) 성형하중은 1st : 260.6 Ton, 2nd : 168.7 Ton, 3rd : 277 Ton, 4th : 768.97 Ton으로 전체 성형하중은 1,395.4 Ton, 평균 성형하중은 348.85 Ton, 최대 성형하중 : 768.9 Ton 으로 평균 성형하중과 최대성형하중의 편차가 크게 나타남을 볼 수 있었다.
- (3) 성형하중의 분산과 Metal flow의 개선을 위하여 Fording 현상 개선, 소재의 가공 여유량을 최적화하기 위한 Under fill 현상 개선 등 추후 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] E. S. Park, B. J. Kim, W. K. Joo, 2019, Study on the forming technology of the automatic transmission parts by using incremental forming process, KSTP Spring Meeting 2019, 128
- [2] K. M. Kim, J. D. Yoo, M. S. Joun, 2019, FE prediction of temperature variation of material and dies with number of strokes in aluminum yoke cold forging, KSTP Spring Meeting 2019, 105-106
- [3] M.A. Lee, M. Y. Lyu, 2017, Computational Study on the Extrusion of Annular Saped Product Considering Viscoelastic Characteristics, Polymer (Korea), Vol. 41, No2, 227-234

강소성 Warm Caliber Rolling 공정으로 제조된 과공정강의 미세조직 및 인장, 고주기 피로 특성

김규식¹ · 김영균¹ · 김현진² · 이기안^{1, #}

Effect of Strain Accumulation on Microstructure and Tensile, High Cycle Fatigue Properties of Severely Deformed Hypereutectoid Steel Fabricated by Warm Caliber Rolling

K. S. Kim¹, Y. K. Kim¹, H. J. Kim², K. A. Lee^{1, #}

Abstract

과공석강 (hypereutectoid steel)은 고강도 및 내마모 특성을 요구하는 Railroad rail, 스프링, 타이어 코드 등에 적용되는 중요한 소재로 인식되고 있다. 그러나 공석점 이상의 높은 탄소 함량은 소재 강도를 크게 향상시킬 수 있으나 결정립계에 그물 형태의 초석 세멘타이트를 형성시켜 연성과 인성이 저하되는 문제를 발생시킨다. 이러한 이유로 과공석강의 미세조직을 제어하여 연성, 인성, 그리고 우수한 기계적 특성을 확보하기 위한 공정 개발이 진행되고 있다. 본 연구에서는 warm caliber rolling을 이용하여 우수한 강도, 연성을 확보하기 위하여 과공정강의 미세조직을 제어하였다. 이 때 소성 변형량에 따른 미세조직의 변화를 관찰하였으며 인장 및 고주기 피로 특성을 평가하였다. 소성 변형이 증가함에 따라서 초기 lamellar 구조(페라이트)가 동적 재결정(dynamic recrystallization) 거동을 통하여 구형의 세멘타이트 + 수백 나노미터 크기의 페라이트로 미세조직이 변화하였다. 구형의 세멘타이트는 수백 nm 이하로 균일하게 제어되었다. 과공석강은 warm caliber rolling을 수행함에 따라서 최대 1381 MPa의 항복강도, 1604 MPa의 인장강도, 그리고 7.1%의 연신율을 가지는 것으로 측정되었다. 고주기 피로 시험의 결과, 최대 850 MPa의 피로한(fatigue limit)을 나타내었다. 피로 균열은 시험편의 표면에서 시작되었으며 초기 과공석강에서는 페라이트를 자르고 지나가는 경향이 있었으며 warm caliber rolling을 수행한 과공석강은 응력 방향의 수직으로 피로 균열이 전파되었다. 이 거동을 해석하기 위하여 페라이트 크기, 시멘타이트의 형태 등의 미세조직학적 인자를 연계하여 규명하고자 하였다.

Key Words : Hypereutectoid steel, Warm caliber rolling, Severe plastic deformation, Microstructure evolution, Mechanical properties, High cycle fatigue

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 포스코

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

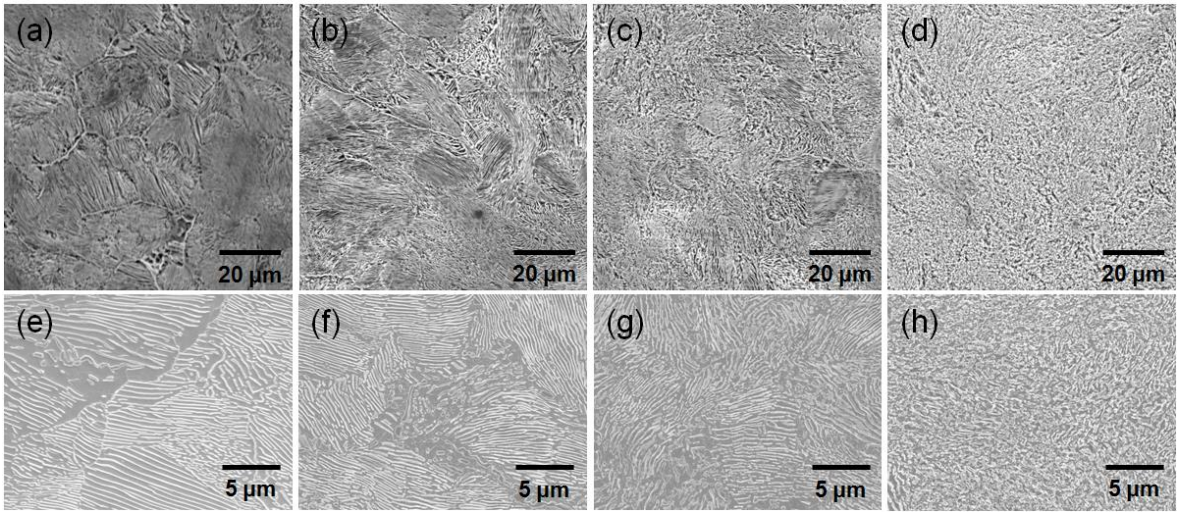


Figure 1 Microstructure evolution (cross section) of caliber rolled hypereutectoid steel followed by strain accumulation; (a, e) initial microstructure, (b, f) 38%, (c, g) 57% and (d, h) 81% of reduction of area.

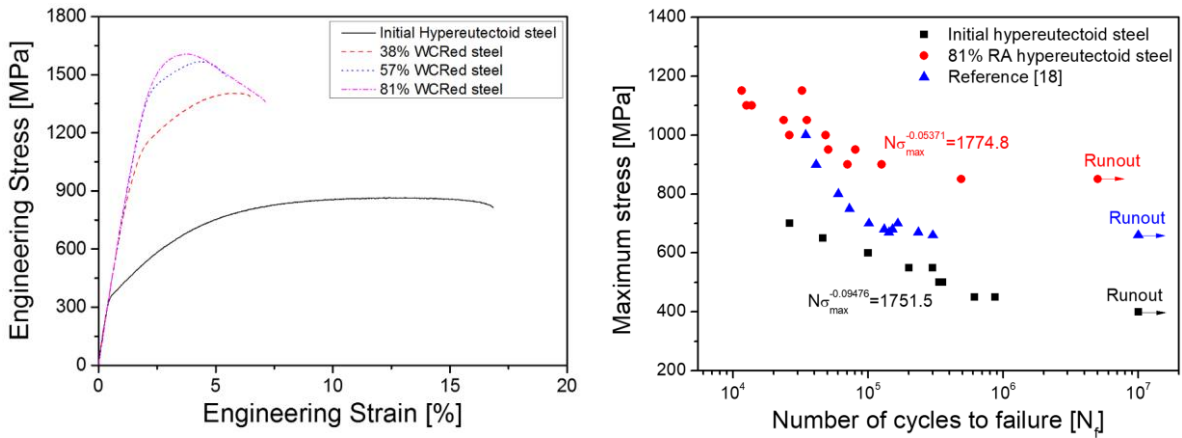


Figure 2 Tensile properties of initial and caliber rolled hypereutectoid steels; typical stress-strain curves (left) and high cycle fatigue properties of initial hypereutectoid steel vs. warm caliber rolled hypereutectoid steel (right)

판재점진성형의 단면변형저감에 대한 실험 및 수치적 연구

정규석¹, 이창환², 정완진[#]

An Experimental and Numerical study on the reduction of section deflection in Incremental sheet metal forming

K. S. Jung¹, C. W. Lee², W. J. Chung[#]

Abstract

판재점진성형은 판재에 국부적인 변형을 점차적으로 가하여 판재 전체를 변형시켜 성형하는 판재성형 기술이다. 일반적인 판재성형은 편치와 다이가 필수적이다. 하지만 판재점진성형은 판재를 고정시킬수 있는 장치와 등근 원형의 공구를 사용하여 성형하기 때문에 금형 제작 비용을 줄일 수 있다. 또한 일반적으로 사용하는 CNC가공기에 공구를 장착하여 성형하기 때문에 제품을 제작하기 위한 설계 및 수정에 용이하다. 따라서 일반적인 판재성형보다 비용적, 시간적 측면에서 성형을 하기에 더 유리하다.

판재점진성형은 기존의 판재성형과 달리 더 많은 변형을 할 수 있어 복잡한 형상이나 많은 변형을 필요하는 제품의 제작이 가능하다. 하지만 판재의 탄성회복으로 인해 단면변형이 발생하여 원하는 형상을 정확히 성형하기 어려운 문제점이 있다.

본 연구에서는 판재점진성형을 이용하여 원뿔형상을 성형하였을때 발생하는 단면변형을 저감하기 위한 실험을 진행하였다. 소재는 알루미늄(Al50052)를 사용하였고 측정은 3D스캐너를 이용하였다. 단면변형을 저감하는 실험으로 성형 높이의 변화와 두께분포를 실험적으로 분석하였다.

위의 실험을 ABAQUS를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 점진성형해석 단계에서는 동적외연적유한요소해석을 이용하고 스프링백 해석 단계에서는 정적내연적유한요소해석을 이용했다. 또한 솔리드 요소를 이용하여 해석을 진행하였다. 점진성형해석에서의 판재와 공구사이의 접촉현상을 원활하게 해석하기 위하여 적절한 Mass scaling과 Penalty contact method를 사용하였다. 위의 성형해석으로 성형 높이의 변화와 두께분포를 수치적을 분석하였다. 그리고 위의 실험 결과와 성형 해석 결과를 비교 분석하였다.

Key Words: Incremental Sheet Forming, Section deflection, Finite Element Analysis(FEA)

1. 서울과학기술대학교 대학원 기계디자인금형공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, E-mail: wjchung@seoultech.ac.kr

폴리프로필렌 카테터 그립부의 휨변형 최소화를 위한 사출성형해석 연구

이종현¹ · 이인규¹ · 정명식¹ · 황선광¹ · 박동용¹ · 이상곤¹ · 조용재¹, 차경제^{1#}

A Study on Injection Molding Analysis for Deflection Minimization of Catheter Grip

J. H. Lee, I. K. Lee, M. S. Jung, S. K. Hwang, D. Y. Park, S. G. Lee, Y. J. Cho, K. J. Cha

Abstract

Residual stresses arise from the tensile stress at the beginning of cooling and solidification and the compressive stress at a later start. In addition, due to the pressure drop, the near portion of the gate is contracted at a high pressure, and the contraction increases with distance from the gate. These types of residual stresses cause warpage and deformation of the product. In this study, finite element analysis was carried out to find the gate design and processing condition for the decreasing deflection. The deflection of parts was decreased when the pressure in the cavity was divided by the additional gate and the injection velocity was increased.

Key Words : Warpage, Polypropylene, Pressure drop, Element Analysis, Injection molding

1. 서론

사출성형공정은 일반적으로 고분자 재료의 가소화, 충전, 보압, 냉각, 취출 과정으로 진행된다. 이러한 과정에서 냉각 및 고화가 시작되는 캐비티 벽면은 인장의 힘을 받게 되고 늦게 고화가 진행되는 캐비티 내부의 응력은 압축을 받게 되어 고화 후 잔류응력으로 발생한다. 또한 압력강하에 의해 게이트 가까운 부분은 높은 압력으로 수축이 작으며, 게이트에서 멀어질수록 수축은 증가한다. 이러한 형태의 잔류응력들은 제품의 휨과 같은 변형을 발생시킨다. 특히 PP 수지의 경우 다른 수지에 비해 비중이 낮고(0.9~0.91), 성형 수축률이 1.2~2.2% 정도로 변형이 생기기 쉬운 수지이다. 본 연구에서는 수술용 카테터 그립부의 사출성형공정에 대한 성형해석 연구를 수행하였다. 추가 사출주입으로 캐비티내 압력을 분할하고, 선단속도를 증가시켜 수지의 유동성을 증가시켰을 때 잔류응력감소에 따른 휨변형 영향을 확인하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 제품을 2 캐비티, 1 게이트로 설계하였으며, 사출조건은 용융온도 215°C, 금형 온도 40°C, 충전시간 4.25sec, 보압 155MPa, 로 설정하였다. CAE 를 위한 S/W 로는 Coretech system 사의 Moldex 3D 를 활용하였으며 유한요소 해석을 위해 솔리드매쉬 16 만개, 파트매쉬 14 만개, 냉각채널 1 만개로 분할하였다. 수지는 LG Chemical 사의 Lupol TE-505 PP 로 해석을 진행하였다. 해석은 사출속도를 증가시켜 선단속도를 높여 수지의 유동성을 증가시키고, 압력강하에 따른 압력손실을 줄이고자 압력강하지점에 게이트를 추가 설치하여 변화량을 검토하였다.

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

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

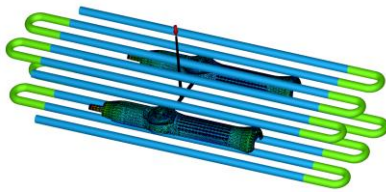


Figure. 1 Finite element mesh

Item Name	Item Data	Unit
Mesh Type	eDesign	
Solid Mesh Element Count	160,588	
Part Elements	143,644	
Cold runner Element	12,944	
Part Dimension	209.85x131.49x18.49	mm x mm x mm
Mold Dimension	450x450x450	mm x mm x mm
Part Volume	35.99	cc
Cold runner Volume	1.01	cc

Filling	Item Data	Unit
Filling Time	1.30	sec
Melt Temperature	215	°C
Mold Temperature	40	°C
Max Injection Pressure	155	MPa
Injection Volume	37.01	cc
Packing	Item Data	Unit
Packing Time	4.25	sec
Max Packing Pressure	155	MPa
Cooling	Item Data	Unit
Cooling Time	11.50	sec
Mold Open Time	5	sec
Ejection Temperature	89	°C
Air Temperature	25	°C
Cycle Time	22.05	sec

Figure. 2. Injection molding condition

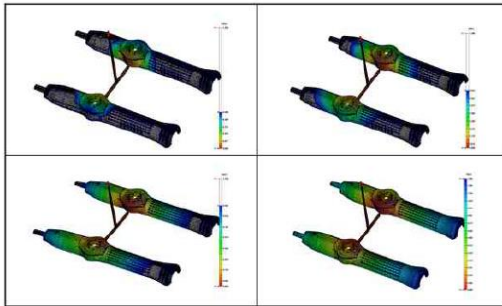


Figure. 3 Melt front time

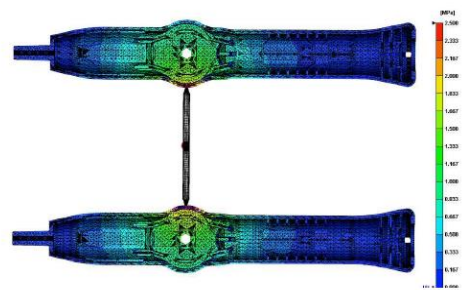


Figure. 4. 1gate-injection pressure

3. 결과 및 고찰

충진시간 및 압력을 고려하여 압력강하현상을 줄일 수 있는 지점에 게이트를 추가하였고 Figure 5와 6의 (A), (B)와 같이 변형이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 사출속도를 증가시켜 수지 유동을 원활히 하였을 때 Figure 5와 6의 (C), (D)와 같이 변형량이 감소함을 확인하였다.

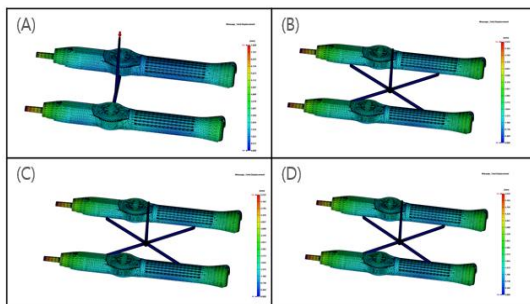


Figure. 5 Result of warpage analysis

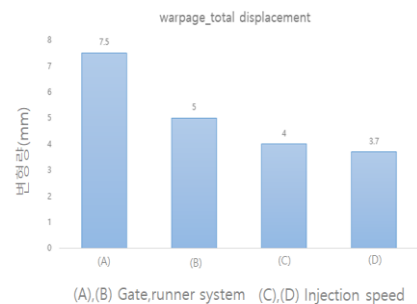


Figure 6. Warpage of total displacement

4. 결론

본 논문에서는 수술용 카테터 그립부에 대한 사출성형해석 연구를 수행하였다. 2 캐비티, 1 게이트 금형의 PP수지 제품의 휨 변형 최소화를 위해 게이트를 추가(압력분할) 및 사출속도를 조절하여 기존 금형 대비 휨 변형량을 7.5mm에서 3.9mm로 40% 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

AISI4340강의고온변형거동에측

손영일¹

Prediction of Hot Deformation Behavior of AISI4340

Y. I. Son

Abstract

We investigated the hot deformation behaviors of AISI 4340 steel using isothermal compression tests by Gleeble. We carried out the high temperature deformation tests with the temperature range from 850 to 1100°C and a strain rate from 0.01 to 10 s⁻¹. It was analyzed that the flow stress decreased with increasing compression temperature, but the flow stress increased as increasing strain rate. Also it was observed that the dynamic softening related to the dynamic recrystallization during hot deformation. In order to predict the hot deformation behavior depending on different isothermal temperatures and strain rates, we proposed a constitutive model based on Arrhenius-typed equation using the Zener-Hollomon parameter and the process map of AISI 4340 steel.

Key Words : Hot Deformation, Constitutive Model, Process Map, AISI4340

1. 서론

AISI 4340 강은 고장력강으로서 강도, 인성 및 내마모성의 밸런스가 좋다. 따라서 AISI 강은 주로 자동차의 crankshaft 와 차축, 항공기의 착륙용 기어, 기계류, 구조물 등에 널리 사용되고 있다. 이러한 제품들은 열간 단조 공정을 통해 제조된다. 열간 단조 시 소재에 균열이 생기지 않게 하기 위해서 고온성형성을 예측하는 여러 가지 시험법이 개발되었다. 대표적으로 업세팅 시험법이 있다. 업세팅 시험은 원통의 시편을 압축하여 배가 나온 옆면에 균열이 생기는 지를 관찰하는 시험이다. 균열이 생길 때까지 시편이 많은 변형을 받을수록, 시편의 고온성형성이 우수하다고 할 수 있다. 이러한 실험들을 통해서 현재까지 열간 단조 공정의 최적화는 경험적으로 단조 조건을 적절히 조절함으로써 진행되어 왔다. 그러나 공정 조건에 대한 효율적인 관리를 위하여 보다 철저한 단조 공정 조건을 알기 위해서는 소재의 고온 변형 거동을 먼저 파악하고 예측하는 일이 필요하다. Processing map 은 열간 단조 공정의 최적화를 목표로 금속과 합금의 고온 변형 거동을 연구하는데 널리 사용되고 있다[1,2]. Processing map 은 최근에 Ti 합금[3], Al 합금[4], Nickel-based superalloy[5] 그리고 철강[6]의 고온 변형 거동을 파악하기 위해 많이 사용되었다. 따라서 본 연구에서는 4340 강에 대해 고온압축시험을 수행하고 Processing map 을 적용하여 재료의 고온변형거동을 파악하여, 이를 통해 소성변형유동의 안정 및 불안정 공정조건을 분석하였다. 이를 통해 최적의 고온 단조 조건을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

Gleeble 장비를 이용하여 고온압축 실험을 실시하였다. 시편은 직경 10mm, 높이 12mm의 원통형 규격을 사용하였다. 고온압축시험은 시편을 10°C/sec의 가열속도로 1200°C까지 가열한

1. 국방과학연구소

후 5분간 유지한 후 압축 온도인 850~1100℃ 의 범위에서 50℃ 간격으로 압축하였다. 변형률 속도는 0.01~10 1/s으로 일정한 변형률 속도 조건으로 수행하였으며, 압축이 완료된 후에는 급냉하였다. 압축이 완료된 이후에는 공정변형지도의 타당성을 비교하기 위해 시편 연마후 미세조직을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

유동응력은 온도가 증가하거나 변형률 속도가 감소할 때 감소한다. 변형초기에 유동응력은 strain 이 증가하면서 빠르게 증가한다. 이것은 전위의 형성과 증식에 의한 가공경화가 일어났기 때문이다. 유동응력의 기울기는 어느 순간부터 감소하기 시작하는데 이는 동적 회복이 발생해서 전위의 수를 감소시켰기 때문이다. 하지만 여전히 유동응력은 증가한다. 유동응력은 최고점에 도달한후 감소하고, 이후 유지하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 동적 재결정에 의한 가공연화 때문이다. 재료가 고온압축 될 때, 주어진 온도와 변형률로부터 파워분산효율과 소성 불안정 인자를 얻을 수 있다. 파워분산 효율 값인 η 가 높은영역에서는 동적인 변형이 용이하고, η 이 낮은 영역에서는 국부적으로 변형이 집중되어 전위 밀도가 증가하고, 소성불안정성이 상승하여 결함이 발생하기 쉽다[7]. 또한 Ziegler[5]는 소성불안정 인자의 값이 음의 값을 가지는 변형 조건에서는 불안정한 소성변형이 나타난다고 하였다. 모든 변형률 구간에서 공정변형 지도를 봤을 때, 변형속도가 느리고, 온도가 높을수록 소성 불안정영역이 나타나지 않았다. 실제로 온도가 1100℃이고, 변형속도가 0.01/s 일 때, 공공과 같은 크랙이 발생하지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 AISI4340 의 합금에 대해 고온압축시험을 수행하고, 유동응력곡선과 동적재료 모델을 기초로 변형공정지도를 분석하였다. 공정온도와 변형속도의 함수로부터 변형공정지도를 도출한 결과 변형속도가 빠를수록 소성 불안정영역이 나타났다. 변형속도가 1/s 일 때 전체 변형률 범위에서 소성 불안정 영역 이었다. 이에 반면 변형속도가 느리고 온도가 높은 0.01/s, 1100℃에서는 소성 불안정 영역이 나타나지 않았다. 또한 미세조직을 관찰한 결과 소성불안정 영역에서는 크랙의 원인인 공공이 발생한 것을 알 수 있었고, 안정영역에서는 크랙이 발생하지 않았다. 따라서 도출한 공정변형지도의 결과와 미세조직이 잘 부합함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. Dong, C. Zhang, G. Zhao, Y. Guan, A. Gao and W. Sun, Mater. Des. 92 (2016) 983-997.
- [2] L. Ou, Z. Zheng, Y. Nie and H. Jian, Journal of Alloys and Compounds 648 (2015) 681-689.
- [3] H. Chen, X. Liu, G. Liu, X. Tang, J. Luo, Y. Feng, J. Li and H. Fu, Rare metal Materials and Engineering 45(4) (2016) 901-906.
- [4] L. Guo, S. Yang, H. Yang and J. Xhang, Chinese Journal of Aerinautics 28(6) (2015) 1774-1783.
- [5] D. He, Y.C. Lin, M. Chen, J. Chen, D. Wen and X. Chen, Journal of Allots and Compounds 649 (2015) 1075-1084.
- [6] S.K. Rajput, G.P. Chaudhari and S.K. Nath, Journal of Materials Processing Technology 237 (2016) 113-125.
- [7] Y. V. R. K. Prasad and S. Sasidhara, Hot Working Guide; A Compendium of Processing Maps, ASM International, United States of America (1997).

차량 경량화를 위한 알루미늄 카울 크로스 바 포트홀 압출 공정 설계

이성윤^{1,2}, 이인규¹, 이성민¹, 정명식¹, 고대철², 이상곤[#]

Design of Porthole Extrusion Process for Aluminum Cowl Cross Bar

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

Abstract

최근 기후변화 협약으로 인한 환경규제에 대응하기 위하여 자동차 시장은 차량 에너지 효율 향상을 위해 경량화 소재인 알루미늄, 마그네슘, 고강도 강판, 탄소복합소재 등을 이용한 차량 경량화 연구가 활발히 이루어지고 있다. 알루미늄은 비강도와 성형성이 우수하여 차량부품으로 적용이 확대되고 있으며, 대표적으로 트렁크 리드, 루프, 도어, 충격 흡수용 프레임 등에 적용되고 있다.

카울 크로스 바(cowl cross bar)는 차량의 좌우 휨 및 뒤틀림을 방지하고 차량 충돌 시 탑승자의 안전을 확보하는 중요 부품 중 하나이다. 카울 크로스 바는 일반적으로 중공형 파이프 형상을 가지며 내구성(부식성·강도)확보를 위해 스틸(steel)로 제조되고 있으나 중량이 무거운 문제점이 있다. 따라서 내구성을 고려한 카울 크로스 바 경량화를 통해 차량 에너지 효율증대가 필요하다. 본 연구에서는 내구성 확보 및 중량 감소를 위해 비강도가 높은 알루미늄을 적용한 카울 크로스 바 성형에 관한 연구를 수행하였다. 단면이 복잡하고 길이가 긴 카울 크로스 바의 특징을 고려하여 포트홀 압출공정을 적용하였으며, 알루미늄 물성 분석 및 유한요소해석을 통해 최적 공정 설계를 수행 하였다. 적용된 알루미늄 합금은 Al6063으로 고온 압축 시험을 통해 물성을 확보 하였으며 이를 토대로 유한요소해석을 수행하였다. 최종적으로 설계된 공정조건으로 압출시험을 수행하였다.

Key Words : Aluminum, Cowl Cross Bar, Porthole Extrusion, FE analysis



Fig.1 Porthole extrusion products and assembled cowl cross member

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. 부산대학교 대학원 융합학부 그린수송시스템설계전공

교신저자: 한국생산기술연구원 극한가공기술 그룹, E-mail: skee@kitech.re.kr

자동차 에어 서스펜션 부품 개발을 위한 Al6061 빌렛의 다단 후방충격압출 성형공정 연구

김현성¹ · 손원식² · 임성한[#] · 김동욱⁴ · 정경근⁵ · 윤영태⁶ · 이재은⁷

A Study on the Multi-stage Backward Impact Extrusion Process of Al6061 Billets for the Development of Automotive Air Suspension Parts

H. S. Kim¹, W. S. Son², S. H. Rhim[#], D.O. Kim⁴, K.G Jung⁵, Y. T. Yun⁶, J. E. Lee⁷

Abstract

서스펜션은 불규칙적인 노면의 상태에서부터 차량의 주행성능과 접지력을 향상시키는 역할을 한다. 그 중에서도 에어 서스펜션은 다양한 주행환경에 따라 유동적으로 서스펜션의 움직임을 변화시킬 수 있다. 본 연구에서는 전방(Front) 에어 서스펜션 알루미늄 빌렛의 다단 성형 공정을 연구하였다. 짧은 시간동안 이루어지는 대변형을 고려하여 강소성체 해석을 적용하였으며 소재 물성과 공정단계에 따라 Case별로 분류하였다. 연구 결과로 Al6061-0 소재의 2단공정 성형해석 결과가 가장 낮은 유효응력, 데미지, 하중이 발생하여 후방 충격 압출 성형 공정에 적용하였다.

Key Words : Backward impact Extrusion (후방 충격 압출), Rigid-Plastic (강소성체), Finite Element Analysis (유한요소 분석법), Effective-Stress(유효응력),

1. 서론

차량의 주행 성능을 결정하는 다양한 요인 중 서스펜션은 스프링, 속업소버, 서스펜션 암 등으로 구성되어진다. 최근 고급차량의 수요 증가에 따라 차량 주행성능을 높이기 위해 다양한 주행환경에 맞게 유동적으로 서스펜션 특성을 변화시킬 수 있는 에어 서스펜션의 개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 에어 서스펜션 알루미늄 빌렛 소재 물성에 따른 1,2차 다단 공정별로 분류하였고, 강소성체 해석 프로그램 DEFORM 2D성형해석을 진행하였다.

2. 유한요소해석을 통한 다단경사면 피스톤 성형해석

알루미늄 빌렛 성형해석은 Al6061-0, T4, T6 총3개의 물성치와 1,2단공정을 Case별로 분류하여 총 6개의 Case에 대해 성형해석을 진행하였다. 원형 봉재의 형태로 소결하는 빌렛(Billet)의 특징에 대한 소재에서 결정립은 랜덤방위(Random Orientation)를 갖고 있어 등방성으로 가정하였다.^[1] 후방 충격압출 성형은 짧은 시간동안 발생하는 대변형이 일어나므로 해석의 수렴성을 감안하여 상용 해석 프로그램 DEFORM (v11.3)의 강소성체 해석으로 진행하였다.

Table.1 Front Air Suspension 성형해석 Case분류

Case	성형 소재	공정 종류	Case	성형 소재	공정 종류
Case1	Al6061-0	1단공정	Case4	Al6061-0	2단공정
Case2	Al6061-T4	1단공정	Case5	Al6061-T4	2단공정
Case3	Al6061-T6	1단공정	Case6	Al6061-T5	2단공정

Table.2 Front Air Suspension 해석조건

	Top Die	Bottom Die	Work Piece
성형 재질	강체	강체	강소성체
성형 온도	25℃	25℃	25℃
성형 속도	17.5mm/s	고정	고정

1. 단국대학교 대학원 기계공학과

2. 단국대학교

임성한: 단국대학교 기계공학과, E-mail: shrhim@dankook.ac.kr

3. 다단 경사면 피스톤 후방충격 압출 성형해석 결과

성형소재와 공정종류별로 분류된 총 6개의 Case에 대해 성형해석을 진행하였다. 유한요소해석결과, Case4(Al6061-0, 2단 성형)의 경우, 가장 낮은 유효 응력(315MPa)과 데미지(0.38)를 확인하였다. 후방충격 압출성형이 이루어지는 1단공정이 2단공정에 비해 20Mpa정도 높은 유효응력이 발생하였다. 또한 동일한 성형공정내에서 Al6061-0, T4, T6 물성데이터 중 Al6061-T4의 유효응력, 데미지 값이 높게 확인되었다. 이는 Al6061-T4 물성데이터가 다른 물성데이터보다 높은 유동응력을 지니므로 더 높은 응력이 발생하는 것으로 판단하였다. Fig.1의 (a)유효응력결과를 통해 알루미늄 빌렛 하단부에 응력이 집중된다는 것을 확인하였다.

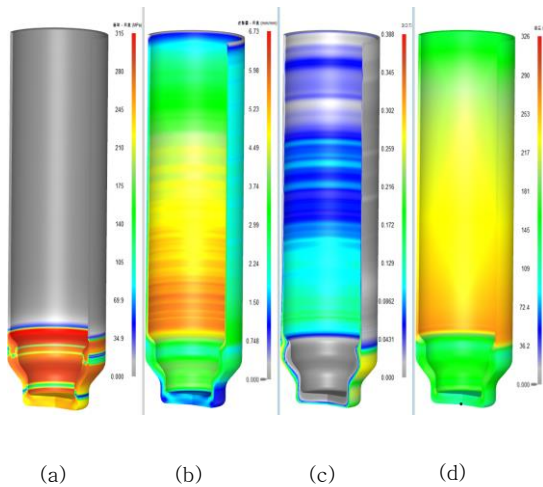


Fig. 1 후방충격압출 해석 결과

(a)유효응력, (b)유효 변형률, (c)데미지, (d)온도

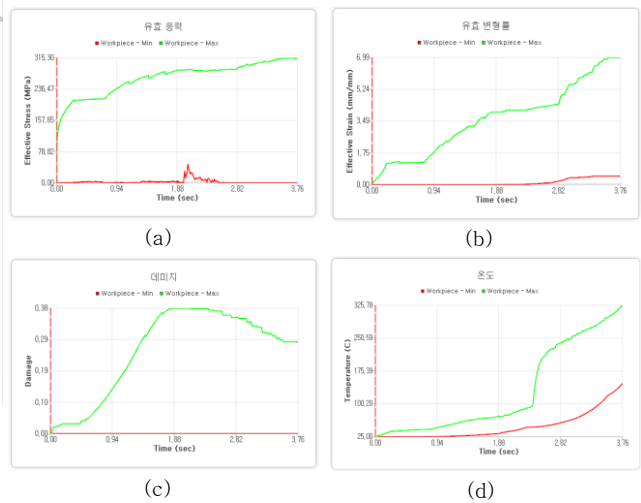


Fig. 2 후방충격압출 해석 결과 그래프

(a)유효응력, (b)유효 변형률, (c)데미지, (d)온도

4. 결론

본 연구에서는 적합한 후방 충격 압출 공정설계를 진행하기 위해 소재 물성과 다단공정에 따른 성형해석을 진행하였다. 연구결과에 의하여 Case4(Al 6061-0, 2단 공정)를 후방충격압출 공정에 적용하는 것이 적절하다는 결과를 도출하였다.

참고문헌

[1] J. H. Lee, 2005, "A Study on the Deformation Characteristics of Forward and Backward Can Extrusion Process Using a Hollow-Shaft, Master's thesis of Education at Inha university

FCEV의 연료 충-방전에 따른 연료 파이프 메탈 씰링부의 피로수명 예측

오준석¹ · 한은수² · 전문수³ · 이형욱[#]

Prediction of Fatigue Life of the Metal Sealing Part according to Charge-discharge of Hydrogen Fuel in FCEV

J. S. Oh, E. S. Han, M. S. Chon, H. W. Lee

Abstract

A metal sealing is utilized to the connecting part between fuel pipes and other parts in order to prevent hydrogen fuel leakage. The metal sealing induces plastic deformation of the connecting part and is subjected to alternating loads during 700 bar charging (pressuring stage) and discharging (fastening stage) of hydrogen fuel. A fatigue analysis was carried out with the fastening and pressurizing stage in order to predict the fatigue life. The minimum fatigue life cycle is calculated to be about 231,000 cycles. Although it is a fatigue phenomenon in the plastic deformation state, it corresponds to the high cycle fatigue (HCF). The stress on the pipe end during charge-discharge is mainly compressive stress, which would be increase fatigue life.

Key Words : FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle), Low Cycle Fatigue, Charge-discharge, Metal Sealing, Maximum Principal Strain

1. 서론

최근의 FCEV의 수소연료의 충전 압력은 700bar 이며, 수소기밀성의 확보를 위하여 고무씰링보다는 메탈씰링 방식을 적용하고 있다. 메탈씰링은 체결 시 너트의 잠금 토오크으로 인하여 파이프에 소성변형을 발생시킨다. 내부압력 700bar로 충-방전 시 메탈씰링부는 수소연료압력에 따른 변동응력을 받게 되고 이는 피로현상을 발생시킬 수 있고, 피로수명 예측이 필요하다. 소성변형이 동반됨에 따라 저되돌이수피로(Low Cycle Fatigue) [1] 상태로 간주하였다.

2. 실험방법

연료파이프는 체결 후 충전되고 방전되는데, 방전된 상태를 체결 시의 상태라 할 수 있다. 체결과정은 탄소성 기법을 이용하여[2] 해석하고, 연료배관 내부에 700 bar를 가압하여 충전 상태를 전산모사하였다. 체결 시와 가압 시의 상태를 각각 방전, 충전 상태로 보고 두 상태의 변화에 따른 피로수명을 예측하였다. 파이프의 재료인 STS 316의 피로특성은 FE-Safe[3]의 데이터베이스를 사용하였고, 최대 주변형률을 기준으로 피로수명을 예측하였다. 탄소성 변형을 하기 때문에 탄소성 이력을 피로해석에 적용하였다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 비록 주로 압축에 의한 소성변형이 주도적이기는 하지만 소성변형량이 크고 주변형률을 기준으로 볼 때 인장에 대한 영향도 있기 때문에 변형률을 기반으로 한 피로해석을 수행하였다.

1. 한국교통대학교 자동차공학과 석사과정

2. ㈜ 한일튜브

3. 한국교통대학교 자동차공학과

교신저자: 한국교통대학교 자동차공학과, E-mail:hwlee@ut.ac.kr

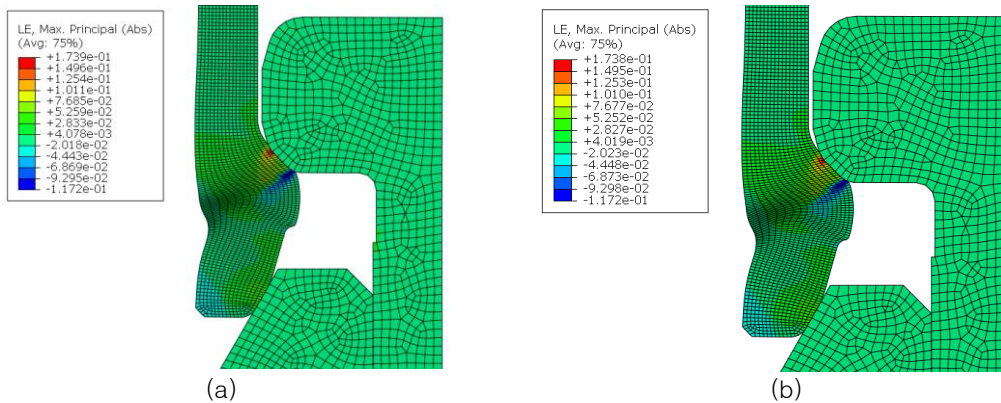


Fig. 1 Distributions of maximum absolute principal strain: (a) after fastening stage; (b) pressuring stage

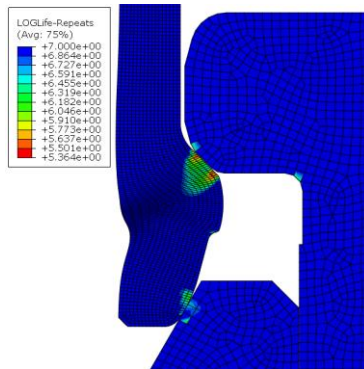


Fig. 2 Distributions of the fatigue life cycles in log scale

3. 결과 및 고찰

피로수명을 나타내는 Fig. 2에서 최저수명은 로그 기준으로 5.364이며, 약 23만회 정도에 해당된다. 변형률-수명 선도에서 탄성선과 소성선이 교차되는 점이 수명은 사용한 STS316재료의 경우 로그기준으로 4.915로 약 82,278회이며 최소수명으로 계산된 23만회를 고려하면 고되돌이수피로(High Cycle Fatigue)로 판단할 수 있다. 너트와 달아 변형하는 부위를 분석하면 최대 변형부는 소성변형이 주로 압축에 기인하고 있으며, 충-방전 시에 인장-압축 상태로 변동되는 것이 아니라 최대와 최소가 동일 부호를 유지하는 상태이고 진폭이 거의 없는 상태이다. 즉 평균응력은 높지만 응력진폭은 작기 때문에 피로수명 측면에서는 유리한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원한 산업핵심기술(No.10070218)과제와 2019년 한국교통대학교의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] H. J. Song, C. Y. Kim, 2016, Fundamentals of Fatigue Analysis, 1st ed., Knowledge and Sensibility, Seoul pp.132-139
- [2] J. M. Lee, 2019, MS Thesis, Korea National University of Transportation, Chungju, pp.17-38
- [3] FE-Safe Materials Database User Manual, 2019

반복 굽힘 변형 시 연성 동박 적층판(FCCL)의 변형 및 파괴거동에 미치는 미시집합조직의 영향 연구

박기성*, 최시훈*

Effect of microtexture for deformation and failure behavior of flexible copper clad laminate under cyclic bending

Ki-Seong Park*, Shi-Hoon Choi*

Abstract

연성 동박 적층판(flexible copper clad laminate, FCCL)의 굽힘 피로 변형 시 Cu층에 미치는 변형 및 파괴거동이 전기적 특성에 미치는 영향을 이해하기 위한 기존의 연구에서는 반복 굽힘 시험(cyclic-bend testing)을 통하여 구리 층의 전기 저항(electrical resistance) 특성과 Cu층의 변형 및 파괴와의 상관관계를 실험적으로 관찰하였으며, 유한요소해석(finite element analysis, FEA)을 이용하여 반복 굽힘 변형 시 Cu층의 변형 거동(deformation behavior)을 이론적으로 모사하였다. 그 결과 Cu층 내 미소 균열(microcrack)의 전파 메커니즘은 결정립계(grain boundary, GB) 및 쌍정계(twin boundary, TB)와 같은 미세조직 특성과 밀접한 관련이 있음을 이해할 수 있었다. 또한, 반복 굽힘 변형 시 Cu층에 발생하는 응력 및 변형률 분포 (stress/strain distribution)를 이론적으로 이해할 수 있었다. 그러나 굽힘 피로 변형 시 Cu층의 결정립 형상(grain morphology), GB와 TB와 같은 미세조직 특성이 Cu층에 발생하는 균열 생성 및 전파에 미치는 영향을 보다 정확히 이해하기 위해서는 3차원 미세조직 기반으로 실험 및 해석을 수행해야 한다. 따라서 본 연구에서는 EBSD기법을 활용하여 Cu층의 결정학적 방위를 통계적, 정량적으로 분석하였으며, 이를 바탕으로 DREAM.3D 활용하여 3차원 미세조직(3D microstructure)을 생성하여 대표체적요소(representative volume element, RVE)로 활용하였다. 하지만, 3차원 FEA를 수행하기 위해 생성한 3차원 미세조직 기반의 RVE를 활용할 경우 요소 수(number of element)와 해석에 필요한 자유도(Degree of freedom)가 미세 조직의 복잡성 및 크기를 반영하는데 상당히 긴 계산 시간이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 3차원 미세조직 기반의 RVE를 활용하여 기존 FEA의 단점을 보완할 수 있는 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT) 기반 다결정 모델(Polycrystal model)을 사용하여 FCCL의 Cu층의 미소역학적 변형 및 파괴거동에 미치는 미시집합조직(microtexture)의 영향을 이해 하고자 한다.

Key Words : Flexible copper clad laminate, Fracture, 3D microstructure, Fast fourier transform, microtexture

BIS 시트 백프레임 단면 구조 설계에 관한 연구

차승훈^{1#} · 소범식¹ · 이찬희¹ · 김중희¹

A study on the cross-sectional geometry design for BIS

S. H. Cha, B. S. So, C. H. Lee, J. H. Kim

Abstract

최근 북미, 유럽 및 일본 등 자동차 선진국에서는 충돌 안전성이 강화되고 있는 추세이고, 특히 신경사 충돌 시험에서 기존 안전벨트를 사용한 경우 벨트가 더미를 지지하지 못하며 더미헤드가 에어백을 벗어나 충격을 완화 시키지 못하는 결과가 나타났지만, 벨트 일체형 시트(Belt In Seat, BIS) 적용된 시트의 경우 더미헤드가 안전하게 에어백에 안착 되는 결과를 나타내었다. 하지만 BIS의 특성상 충돌 시 충격 하중이 전부 시트로 집중되기 때문에 고강도 설계가 적용되지 않으면 탑승자의 안전을 보장하기 어려운 문제점을 지니고 있다. 본 연구에서는 BIS 프레임에서 핵심이 되는 백프레임의 단면 형상 설계를 위해 시트 벨트 앵커리지 시험을 모사한 해석 모델을 설정하였고 구조 해석을 통해 단면 형상에 따른 강성을 평가하였다

Key Words : English Key Word: Times New Roman 9pt (한글 바탕체9pt), Carbon Fiber, Cutting Force , Carbon Fiber , Cutting Force



그림 1 기존 시트 프레임과 BIS 프레임 비교 그림 2 백사이드멤버 및 베이스 플레이트 형상

후기

본 연구는 소재부품기술개발사업의 R&D과제 (과제번호 : 20004983, 과제명 : 시트 벨트 일체형 경량 로테이션 시트 프레임 기술 개발)의 지원으로 진행되었습니다.

1. 경북테크노파크

교신저자: 경북테크노파크, E-mail:shcha@gbtp.or.kr

등가응력 접근법을 통한 SLS 3D 프린팅으로 제작 된 PA2200 폴리머코어의 피로 특성에 관한 연구

박준수^{1,2} · 정의철^{1,3} · 최한솔^{1,3} · 김미애¹ · 윤언경¹ · 김진수¹ · 김용대¹ · 원시태² · 이성희^{1,#}

A Study on Fatigue Characteristics of PA2200 Polymer Cores Fabricated by SLS 3D Printing Using Equivalent Stress Approach

J. S. Park, E. C. Jeong, H. S. Choi, M. A. Kim, E. G. Yun, J. S. Kim, Y. D. Kim, S. T. Won, S. H. Lee

Abstract

본 연구에서는 사출성형공정 중 사출압력 및 보압력에 의해 폴리머코어에 발생하는 응력집중이 폴리머 코어 파손에 미치는 영향을 알아보기 위하여 피로시험 및 CAE해석을 수행하였다. SLS 3D 프린팅 소재 PA2200의 피로시험을 진행하기 위하여 ASTM E466 표준에 맞추어 PA2200의 판상시편을 제작하였으며, 단 순하중상태에서 크로스헤드 속도 1, 10, 100, 500mm/min에 따른 탄성계수 및 인장강도를 측정하였다. ASTM E468 표준에 따라 표준시편의 Self-heating이 발생하지 않는 가장 빠른 시험 속도인 100mm/min(0.33Hz)으 로 인장-인장(R=0) 반복하중시험을 진행하였으며, 상온상태에서 PA2200의 피로수명곡선을 얻었다. CAE 해 석에서 구해진 사출성형공정 중 사출압력 및 보압력을 폴리머코어에 외력으로 적용하여 폴리머코어의 다 축 응력상태를 확인하였다. 폴리머코어에서 응력집중을 받는 부분은 런너의 시작부분 및 게이트부분으로 확인하였으며, 인장-인장 응력상태인 것을 확인하였다. CAE 해석과정에서 PA2200의 피로수명곡선 결과를 등가응력 접근법으로 폴리머코어의 응력수준에 따른 피로수명을 예측하였다.

Key Words : Polymer-Core, ASTM E466, ASTM E468, S-N Curve, PA2200, Fatigue analysis, Equivalent stress-life approach, Monotonic and cyclic loading

1. 한국생산기술연구원 금형기술그룹

2. 서울과학기술대학교 기계디자인금형공학과

3. 단국대학교 기계공학과

교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹, E-mail: birdlee@ketech.re.kr

러너 크기 변화에 따른 SLS 폴리머 코어 적용 사출 성형품의 두께 방향 수축에 관한 연구

최한솔^{1,2} · 정의철^{1,2} · 신성현^{1,2} · 박준수^{1,3} · 김미애¹ · 손정언¹ · 김상윤¹ · 김용대¹ ·
윤경환² · 이성희^{1,#}

A Study on Thickness Shrinkage of Injection Molded Parts with SLS Polymer Core according to the Variation of Runner Size

H. S. Choi, E. C. Jeong, S. H. Shin, J. S. Park, M. A. Kim, J. E. Soun, S. Y. Kim, Y. D. Kim,
K. H. Yoon, S. H. Lee[#]

Abstract

본 연구에서는 SLS 방식 3D 프린터로 제작된 사출 금형 코어로 사출성형 시 러너의 직경 변화가 제품의 두께 수축에 미치는 영향을 살펴보았다. 3D 프린터로 제작된 코어의 재질은 파우더 PA2200 소재이며, 선택적 레이저 소결 방식을 통해 제작된다. PA2200은 나일론 계열 소재로써 금속으로 제작된 코어와 비교해 강성과 열전달률이 낮고 높은 비열을 가지고 있다. 사출 성형 시 코어의 변형 및 손상이 최소화 될 수 있도록 성형수지 및 성형 조건을 선정하였다. 러너의 직경은 각각 Ø2, Ø3, Ø4 mm로 선정하였고, 단면적이 2 mm² 인 반원 형상의 동일한 게이트를 적용시켜 결과를 비교하였다. 수축 경향성 확인을 위해 각 러너 별 게이트가 고화된 이후 시점인 10초를 기준으로 게이트로부터 일정한 간격으로 평균 온도 분포를 확인하였다. 해석 결과 Ø3 mm 러너에서의 게이트 앞 단은 80°C, 끝 단은 85°C의 선형 분포를 보였다. Ø2 mm 러너는 성형품 앞 단의 온도가 70°C로 감소되어 Ø3 mm 대비 12.5% 낮은 경향을 보였고, Ø4 mm는 온도가 90°C로 증가되어 Ø 3mm 대비 12.5% 높은 경향을 보였다. 보압 과정 이후에는 온도의 영향으로 제품의 수축이 발생하게 되고 러너 직경을 변경하였을 때 성형품 온도 분포 차이가 발생하여 수축이 달라질 수 있음을 확인하였다. 따라서 폴리머 코어를 이용한 사출성형 시 성형품의 균일한 두께를 확보하기 위해서는 러너 크기의 변화를 고려한 해석도 중요함을 알 수 있었다.

Key Words : 3D Printing, Polymer Core, SLS, Injection molding, Temperature, Gate size, Runner size, Thickness shrinkage

1. 한국생산기술연구원

2. 단국대학교 기계공학과

3. 서울과학기술대학교 기계디자인공학부

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

CAE 해석을 통한 사출성형 중 용융 수지의 압력과 금형의 변형량에 대한 비교

이준한¹, 양동철¹, 김종선[#]

A comparative study on pressure history of melt resins and mold deformation during injection molding using CAE analysis

J. H. Lee¹, D. C. Yang¹, and J. S. Kim[#]

Abstract

본 연구에서는 CAE 해석을 통해 사출성형 중 금형의 변형량 변화와 사출압력 변화 사이의 관계를 분석하였다. 5 inch LGP 금형과 PP(J-150)를 사용하여 Moldflow에서 유동해석을 진행하였으며 시간에 따른 사출압력 결과를 금형에 매핑(mapping)하여 추출하였다. 추출한 사출압력 데이터는 ANSYS의 구조해석에서 금형의 경계조건으로 적용하였으며 사출성형기의 형체력도 경계조건으로 사용하였다. 해석 결과, 사출성형 중 수지가 금형 내로 충전될수록 금형의 변형량이 증가하는 것을 확인하였으며 사출압력과 비교하였을 때, 유사한 경향을 가지고 변화가 생기는 것을 확인하였다. 따라서, 사출압력과 유사하게 금형의 변형량도 사출성형 중 용융 수지의 정보를 나타내는 지표로서의 가능성이 있음을 확인하였다.

Key Words : Injection molding, Injection pressure, Mold deformation, Computer-aided engineering(CAE)

1. 서론

최근 Industry 4.0에 발맞추어 사출성형 분야에서도 인공지능을 성형공정에 접목시켜 향상된 생산성, 효율성, 편의성을 얻고자 하는 연구들이 수행되고 있다. 대표적으로 용융 수지의 특정 정보를 이용한 성형 조건의 유지 및 제어가 있으며, 주로 용융 수지의 압력을 측정하여 제어 기반으로 사용한다. 그러나 용융 수지의 압력을 측정하기 위해서는 압력 센서가 고온(200℃ 이상), 고압의 환경에서 견딜 수 있어야 하고 복잡한 금형 구조 내에 설치가 가능해야 하므로 비용적이나 실용적인 측면에서 사용하기에 제한적인 부분들이 있다. 따라서 보다 효율적으로 성형 조건을 제어하기 위해서는 용융 수지의 정보를 확인할 수 있는 대안적인 측정

시스템을 찾을 필요가 있다. 본 연구에서는 사출압력의 대안적인 방법으로 사출성형 중 금형의 변형량을 고려하였다. 시뮬레이션을 통해 사출성형 중 용융 수지의 압력을 금형에 적용하여 변형량을 해석하고 이를 사출압력과 비교하여 두 인자의 상관관계를 분석하였다.

2. 실험방법

Figure 1의 5 inch LGP 금형과 제품을 사용하여 유동해석을 진행하였다. 해석에는 Moldflow를 사용하였으며 PP(J-150, Lotte chemical) 수지로 사출온도 210℃, 금형온도 40℃, 사출시간 0.5 sec에서 해석을 진행하였으며 보압은 전체 체적의 98% 지점에서 절환압력의 80%의 크기로 1 sec 동안 적용하였다. 해석 결과에서 압력 프로파일을 추출하고 ANSYS의 구조해석에서 금형의 경계조건으로 적용하였으며 사출성형기의 형체

1. 한국생산기술연구원 금형기술그룹
교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹,
E-mail: libra74@kitech.re.kr

력도 경계조건으로 적용하였다. 구조해석에는 실제 220톤 사출성형기의 형판과 타이바도 구현하여 형체력이 금형에 작용하는 매커니즘을 실제와 유사하게 구성하였다.

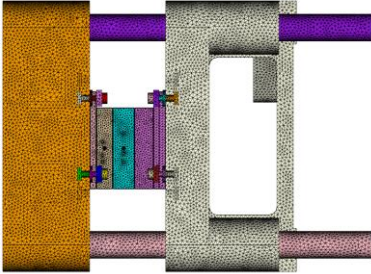


Figure 1. 5 inch LCP mold with tie bar and platen of injection molding machine

금형의 변형량은 사출방향과 동일한 축에 대한 값(directional deflection)을 고찰하였으며 Fig.2의 가동측 베이스 후면에서의 변형량을 유동해석의 사출압력 결과(pressure at injection location)와 비교하였다.

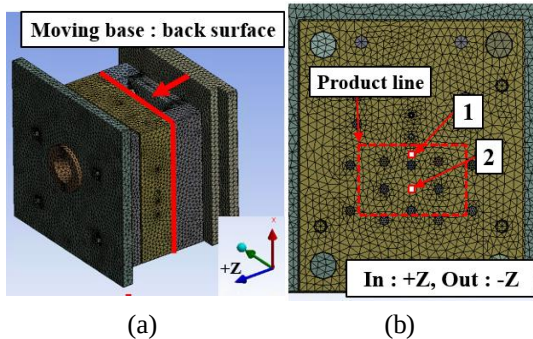


Figure 2. Measurement (a) surface and (b) point (back surface of moving base)

3. 결과 및 고찰

Figure 3은 가동측 베이스 후면의 두 지점에 대한 변형량을 나타내고 있으며 (+)은 고정측, (-)는 가동측 방향을 나타낸다. 초기에는 형체력으로 인해 (+) 방향으로 변형량이 발생하였으나 사출성형이 진행되면서 (-) 방향으로 변형이 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 감소 경향은 Fig. 4의 사출압력의 시간에 따른 증가 경향과 방향성만 다를 뿐 유사한 것을 확인할 수 있다.

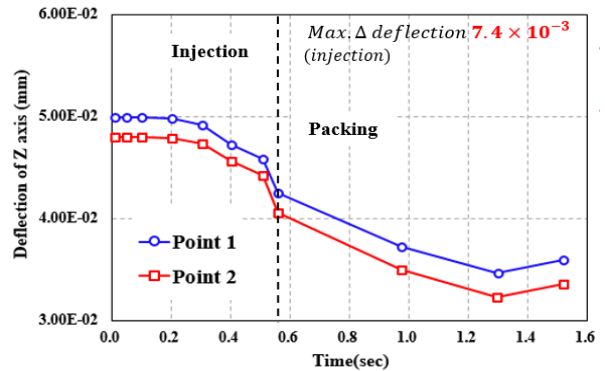


Figure 3. Mold deflection of Z axis(injection direction)

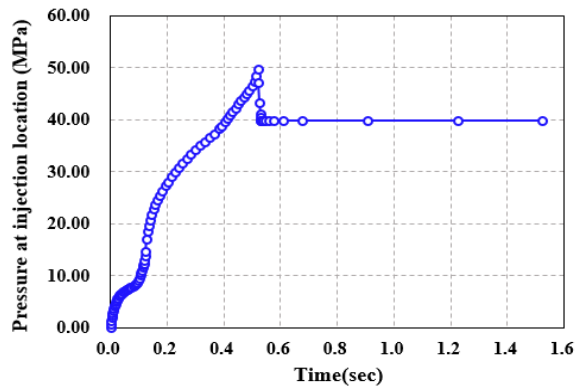


Figure 4. Pressure at injection location

4. 결론

본 연구에서는 CAE 해석을 통해 5 inch LCP 금형에서 사출성형 중 금형의 변형량 변화와 사출압력 변화를 비교하여 두 인자의 상관관계를 분석하였다. 해석 결과, 시간에 따른 금형의 변형량은 사출압력의 변화와 완전히 일치하지는 않지만 유사한 경향을 가지고 변하는 것을 확인하였다. 따라서, 금형의 변형량에 대해 사출성형 중 응용 수지의 정보를 나타내는 지표로의 활용 가능성을 확인하였으며, 향후 실제 금형의 변형량을 측정하여 사출압력과 비교하는 과정이 필요하다.

후기

본 연구는 산업통산자원부의 기계산업핵심기술개발사업의 지원으로 진행되었습니다. (Project No. KM190170, 10067766)

아레니우스 타입 구성식을 통한 알루미늄 합금의 고속 변형거동 예측

정대관^{1,2}, 최호준¹, 신영철^{1#}

Prediction of High Strain Rate Flow Behavior of 7175 Aluminum Alloy Based on Arrhenius-type Constitutive Equations

D. K. Joung, H. J. Choi, Y. C. Lee

Abstract

유한요소해석을 통해 온간 또는 열간성형 과정에서 재료 거동을 예측하기 위해서는 온도와 변형률 속도에 따른 재료의 유동응력에 대한 정확한 모델링이 필요하다. 일반적으로 소성가공 공정은 생산성 확보를 위해 빠른 속도에서 성형이 이루어지므로 이러한 조건에 적합한 재료의 유동응력을 얻기 위해 실린더 형태의 압축시편을 사용하여 고속 압축시험을 실시하게 된다. 하지만 고속압축시험기를 사용하더라도 높은 변형률 속도의 정확한 구현이 어렵고, 고속 압축과정에서 발생하는 변형열로 인해 재료의 온도가 상승하여 등온 변형 조건을 유지할 수 없다는 한계가 존재한다. 재료의 온도상승과 변형률 속도의 변동으로 인해 발생하는 근본적인 데이터의 오류와 이를 통해 재료의 유동 거동을 구성식으로 모델링 했을 때의 불가피한 예측 오류를 최소화하기 위하여, 본 연구에서는 아레니우스 타입 구성방정식을 기반으로, 오류가 포함되지 않은 유동응력 데이터들만을 활용하여 고속 변형에서의 유동응력을 예측하는 유동거동 모델링 절차를 제안한다. 본 연구에 사용된 소재는 Aluminum 7175 합금이며, Gleeble 3500 장비를 통해 변형률 속도 (0.005/s, 0.05/s, 0.5/s, 5/s), 온도 (250℃, 350℃, 450℃)의 조건에서 압축시험을 수행하였다. 시험결과를 통해 5/s에서 압축된 재료에서 다른 변형률 속도 대비 비정상적으로 큰 유동응력 저하가 발생함을 확인하였다. 압축시험기의 센서들을 통해 실측된 값들을 확인해본 결과 변형률 속도 5/s 실험들에서는 변형률 속도가 제대로 구현되지 않고 있음을 확인하였다. 또한 소재의 온도도 최대 40℃ 정도까지 상승함을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 절차를 통해 7175 알루미늄의 유동거동을 모델링하고 고속 변형에서의 유동응력을 예측해본 결과 등온-등변형률속도에서의 정상적인 유동거동을 추정해볼 수 있었으며, 예측 곡선과 실험치와의 비교결과도 적은 오차를 보여 높은 신뢰성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Flow stress(유동응력), Constitutive equation(구성방정식), Aluminum alloy(알루미늄), Arrhenius-type equation(아레니우스 타입 구성식), High strain rate flow behavior(고속 변형거동)

1. 한국생산기술연구원

2. 국민대학교 자동차공학전문대학원

교신저자: 신영철, E-mail: ycshin@kitech.re.kr

금속 3D 프린팅 공정을 활용한 댐퍼 샤프트 보수 연구

이호진¹· 이윤선¹· 이민규¹· 이동욱¹· 김우성¹· 손용²· 안석³· 성지현^{1, #}

Investigation into the Repair of Damper Shaft using Metal 3D Printing

H. J. Lee, Y. S. Lee, M. G. Lee, D. W. Lee, W. S. Kim, Y. Son, J. H. Sung

Abstract

3D 프린팅 장비 및 기술이 보급됨에 따라 다양한 응용기술 개발에 대한 관심이 증대되고 있다. 금속 3D 프린팅을 활용한 손상 부품 수리 및 재생산은 제작 일정 단축, 제작 단가 절감 및 노후부품 재사용 등의 이유로 기계 산업에서 관심이 매우 높다. 본 연구에서는 금속 3D 프린팅 공정을 활용하여 댐퍼 샤프트를 보수하고 특성을 고찰하고자 한다. 대상 부품은 반복된 슬라이딩 접촉에 의한 표면부가 일부 손상된 댐퍼 샤프트 이다. 부품 보수를 위하여 적용된 금속 3D 프린팅 공정은 Direct energy deposition (DED) 공정이다. DED 공정으로 대상 부품을 보수하기 위하여 적층 공정 변수 영향성 분석 실험을 수행하고 그 결과를 고찰하였다. 적층 공정 변수 영향성 분석 결과로부터 대상 부품을 보수하기 위한 공정조건을 선정하였으며 이를 활용하여 대상 부품의 손상부를 보수하였다. 최종적으로 금속 3D 프린팅으로 보수된 부품의 결함 특성을 분석 한결과 적층부 바리, 치수 및 형상변화와 같은 결함들은 발견되지 않았으며 성공적으로 적층 및 보수되었음을 알 수 있었다.

Key Words : 3D printing (3D 프린팅), Direct energy deposition (직접식에너지증착 공정), Repair (보수) , Damper shaft (댐퍼 샤프트), 3D printing application (3D 프린팅 활용)

1. 서론

3D 프린팅 장비 및 기술이 보급됨에 따라 다양한 응용기술 개발에 대한 관심이 증대되고 있다. 금속 3D 프린팅을 활용한 손상 부품 수리 및 재생산은 제작 일정 단축, 제작 단가 절감 및 노후부품 재사용 등의 이유로 기계 산업에서 관심이 매우 높다. DED 공정은 Laser 열원 및 분말재료를 사용하여 재료를 쌓아 올린다. DED 공정은 용접 공정과 유사하지만 재료공급 방식 및 열원의 크기 등의 차이로 인하여 열영향 부가 작아 용접공정과 제품의 잔류응력 차이가 크다. DED 공정은 적층 중 국부적으로 급속 가열 및 냉각이 반복되어 적층부의 금속조직이 조밀하기 때문에 기계적특성이 우수하다. 또한 DED 공정은 다른 금속 3D 프린팅 공정 대비 제품 크기에 대한 제약이 적어 다양한 기계산업에서 제품 보수 및 개발에 자주 사용되고 있다. 본 연구에서는 본 연구에서는 DED 타입 금속 3D 프린팅 공정을 활용하여 댐퍼 샤프트를 보수하고 특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

DED 공정을 활용한 댐퍼 샤프트의 보수를 위하여 손상부의 손상 원인 및 크기 분석하였다.

1.극한가공기술그룹, 한국생산기술연구원

2.디지털제조그룹, 한국생산기술연구원

3.특수기계가공팀, 해군정비창

교신저자: 극한가공기술그룹, 한국생산기술연구원 KITECH, E-mail: jsung@kitech.re.kr

적층에는 DMT (INSSTECK 사) 장비를 사용하였다. 적층 재료는 S45C 이며 부품 보수에 앞서 기본 형상 적층 실험을 통하여 적정 적층 조건을 도출 하였다. 실험에 사용된 분말은 구형이며 크기는 70 – 120 μm 이다. 기본 형상 적층 실험 변수는 레이저 출력 및 분말공급량이다. 실험을 통하여 도출된 적정 조건을 이용하여 댐퍼 샤프트 표면에 1 mm 두께의 적층 레이어를 Fig. 1 과 같이 생성한 후 부품 치수에 맞게 후가공을 수행하였다. 최종적으로 제품의 표면 및 경계부에서 결함발생여부를 고찰하고 이 결과로부터 금속 3D 프린팅 공정의 댐퍼 샤프트 보수 특성을 고찰하였다.

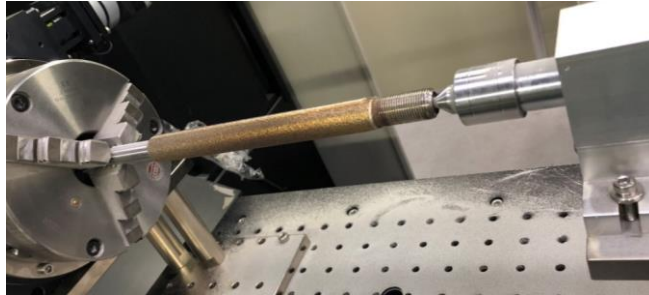


Fig. 1 Deposition result of damper shaft using DED process

3. 결과 및 고찰

댐퍼 샤프트의 손상부 분석을 수행하여 표면 손상 깊이는 0.2 mm 이하 수준임을 확인하였다. 적층부의 경계면 형상을 고려하여 표면으로부터 Offset 가공을 진행하여 손상부를 제거하고 수평한 적층 경계면을 생성하였다. 기본형상 적층 실험을 통하여 S45C 재료의 레이저 출력 및 분말공급량에 따른 형상을 제작하였다. 이 결과로부터 레이저 출력 및 분말공급량 조합에 따라 기공이 많은 불안정한 형상으로 적층되거나 과도하게 용융되어 형상이 무너지게됨을 확인할 수 있었다. 실험을 통하여 제시된 적정 조건은 레이저 출력 및 분말공급량이 각각 300 W 및 4.5 g/min 이다. 이 조건을 활용하여 댐퍼 샤프트 표면을 보수한 후 후가공을 진행한 결과 제품의 표면 및 경계부 등에 경계부분리, 기공발생, 미적층 및 과도용융과 같은 결함이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 금속 3D 프린팅 공정을 통하여 댐퍼 샤프트의 손상부 보수가 가능함을 알 수 있었다.

4. 결론

금속 3D 프린팅 공정을 활용하여 댐퍼 샤프트를 보수하고 특성을 고찰하였다. DED 공정으로 대상 부품을 보수하기 위하여 적층 공정 변수 영향성 분석 실험을 수행하고 이 결과로부터 댐퍼 샤프트를 적층하기 위한 적정 레이저 출력 및 분말공급량을 도출하였다. 댐퍼 샤프트의 손상부를 금속 3D 프린팅 공정을 통하여 보수한 후 결함발생 여부를 고찰하였다. 최종적으로 금속 3D 프린팅으로 보수된 부품의 결함 특성을 분석 한결과 적층부 박리, 치수 및 형상 변화와 같은 결함들은 발견되지 않았으며 성공적으로 적층 및 보수되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Schneider-Maunoury, C., Weiss, L., Perroud, O., Joguet, D., Boisselier, D., & Laheurte, P., 2019, An application of differential injection to fabricate functionally graded Ti-Nb alloys using DED-CLAD® process. J. Mat. Processing Tech., Vol 268, pp 171-180.

적층 방향에 따른 Maraging steel의 기계적 물성치 연구

김선형^{1,2} · 안지섭^{1,2} · 조아라^{1,2} · 정명식¹ · 이상곤¹ · 차경제¹ · 박동용¹ · 황선광^{1,#}

The Effect of Building Direction of Additive Manufacturing on Mechanical Properties of Maraging Steel

S. H. Kim, J. S. An, A. R. Jo, M. S. Jeong S. K. Lee, K. J. Cha, D. Y. Park, S. K. Hwang

Abstract

최근 Additive Manufacturing(AM)을 활용하여 고강도, 고경도 소재를 활용한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그 중 Maraging steel의 경우 고온에서의 강도와 인성이 뛰어나 열간 금형, 로켓 및 항공기용 부품으로 널리 사용되고 있다. 그러나 Maraging steel을 복잡 정교한 부품으로 제조하기 위해서 공정 단가 상승은 불가피하며 이에 따라 형상자유도가 매우 높은 AM 기술을 적용하고자 한다. 하지만 공정의 특성상 Building direction에 따라 기계적 물성치의 차이가 있는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 AM으로 적층하였을 때 Building direction이 Maraging steel의 기계적 물성치에 어떠한 영향을 끼치는지에 대해 연구하려 한다. Maraging steel 분말을 적층 후 인장, 압축(상온 및 고온), 경도시험을 진행하여 Building direction에 따른 기계적 물성치를 비교 분석하였다. 시험 결과, 700°C 고온압축에서는 Horizontal 방향으로 적층한 시편이 더 높은 강도와 인성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. Maraging steel의 경우 고온에서 일정 강도 및 인성 물성이 필요 시 적층 방향에 대한 기계적 물성치 평가가 중요함을 알 수 있었다.

Key Words : Additive Manufacturing(적층 가공), Selective Laser Melting(선택적 레이저 소결), Maraging steel(마레이징 강), Building Direction(적층 방향), Gleeble(글리블)

1. 서론

금속 3D 프린팅 분야(AM)는 금속 분말을 도포 후 선택적인 영역을 용융시켜 원하는 3차원 형태를 제조하는 Powder Bed Fusion(PBF) 방식과 분말, 레이저를 동시에 분사, 조사하여 제조하는 Direct Energy Deposition(DED) 방식으로 나뉘어 지고 있다. 본 연구에서는 PBF 방식 중 하나인 Selective Laser Melting(SLM) 공정을 이용하여 Maraging steel을 활용한 Building direction에 따른 기계적 물성치를 비교 분석 해보고자 한다[1]. 마레이징 강은 탄소강을 마르텐사이트화 시켜 만드는 대표적인 초고강도 강이다. 하지만 고가의 소재이고, 고경도 특성으로 인해 가공에 있어서 적합하지 않아 3D 프린팅에서 많이 적용되고 있다. AM에서 Building direction의 결정은 공정에 따라 다를 수 있으나 기본적으로 단면적층을 바탕으로 하는 모든 3D 프린팅 공정에서 가장 중요한 조형변수 중 하나이다[2]. 따라서 본 연구에서는 Maraging steel 분말을 Building direction을 다르게 하여 인장, 압축, 경도 시험을 통한 기계적 물성치를 비교하고자 한다. 또한 Maraging steel은 주로 고온환경에서 사용되므로 열간 물성치의 확보를 위해 온도별 기계적 물성치도 비교해 보고자 한다.

1. 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한가공기술그룹

2. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템 전공

교신저자: 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한가공기술그룹, E-mail: skhwang@kitech.re.kr

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 3D 프린터는 Fig. 1의 3D-systems사의 DMP 320으로 Fig. 2와 같이 가로, 세로 방향으로 적층한 시편들을 시편규격에 따라 가공한 후 인장, 압축, 경도 시험을 진행하였다. 인장시편의 경우 ASTM-E8/E8M, 압축 시편의 경우 ASTM-E9을 참고하였으며, 경도는 HRC 평가로 진행하였다. 냉간 압축 시편의 사이즈는 직경 5 mm, 높이 7.5 mm으로 만능재료시험기로 수행하였으며, 고온 압축 시편은 직경 10 mm, 높이 15 mm으로 제작하여 Gleeble 3800-GTC 장비로 실험하였다.



Fig. 1 The AM equipment

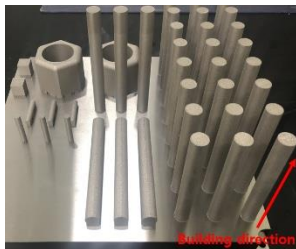


Fig. 2 The AMed specimens

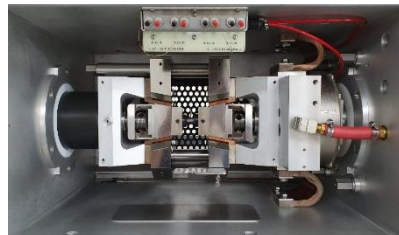
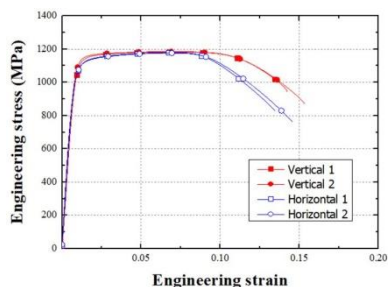


Fig. 3 The hot compression test

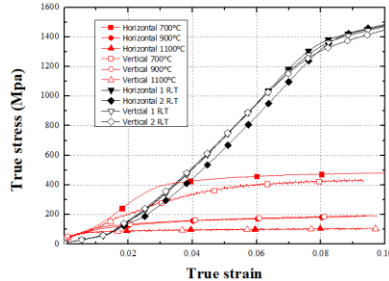
3. 결과 및 결론

Fig. 4 (a)는 상온 인장시험 결과로 Vertical이 Horizontal 방향에 비해 최대인장강도, 항복강도, 연신을 및 인성, 그리고 경도값이 다소 높음을 확인할 수 있었다. Fig. 4 (b)는 상온 및 700, 900, 1100°C에서 압축시험을 한 결과이며, 다른 조건과 다르게 700°C에서 Horizontal 방향으로 적층한 시편에서 더 높은 응력값을 보임을 확인하였다. 따라서 위의 결과를 토대로 필요한 물성에 따라 Building direction을 다르게 하여 제품의 강도 및 인성 등의 기계적 물성치를 고려함과 동시에 적층에 필요한 공정시간 등을 고려하여 경제적인 이익을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



(a)

Mechanical properties	Vertical	Horizontal
Ultimate strength (MPa)	1183.5	1177.7
Yield strength (MPa)	1035.1	1018.7
Elongation at break (%)	14.979	14.566
Hardness, Rockwell C	34.6	33.7



(b)

Fig. 4 The (a) tensile (room temp.) and (b) compression (room & hot temp.) test results.

참고문헌

- [1] Y. K. Kim, J. H. Yu, S. H. Park, K. A. Lee, 2016, Microstructure, High Temperature Compression, Creep Properties of Ti-6Al-4V alloy Manufactured by 3D-Printing Selective Laser Melting Process, J. Kor. Soc. Tech. Plast. PP. 113-114
- [2] C. Park, M. H. Kim, S. M. Hong, J. S. Go, B. S. Shin, 2015, A Study on the Comparison Mechanical Properties of 3D Printin Prototypes with Laminating direction, J. Kor, Soc, Manuf. Tech. PP. 334-341

연속주조용 턴디쉬에서 댐 및 독에 의한 용탕 및 개재물의 유동에 미치는 영향

최창영¹ · 이재욱² · 이상곤¹ · 차경제¹ · 황선광¹ · 김다혜¹ · 정유현¹ · 이진모² · 조용재^{1, #}

Effect of Dam and Wier on Molten Metal Flow and Inclusion Flow in Continuous Casting Tundish

C. Y. Choi, J. W. Lee, S. K. Lee, K. J. Cha, S. K. Hwang, D. H. Kim, Y. H. Jung, J. M. Lee, Y. J. Cho

Abstract

금속부품의 소재로 사용되는 Bloom, Slab 등은 연속주조공정을 통해 생산되고 있으며, 이들 소재에 대한 품질요구는 점점 높아지고 있는 실정으로, 제조사들은 고품질 소재를 개발하기 노력하고 있다. 특히 턴디쉬 설계는 연속주조공정기술에서 가장 중요한 분야중에 하나로, Tundish 내에 Dam, Weir, baffle, Tunflow, 및 난류억제장치 등을 설계하여 용탕의 거동을 제어하고, 용탕내에 혼입되어 있는 개재물 및 재산화물을 분리부상을 시켜주는 중요한 역할을 수행한다. 본 연구는 T-type 의 Tundish 내에 Dam, Weir, Baffle 설치 및 설치위치에 따른 용탕거동에 대해 분석하였으며, 용탕거동에 따른 재산화 및 개재물의 분리부상에 대해서도 분석을 하였다. 설계결과 Dam, Weir, Baffle 이 설계되었을 경우 용탕의 체류시간이 증가하였고, 분리부상이 증가하는 것을 관찰 할 수 있었고, 최종 제품을 통해 청정도를 분석하였다.

Key Words : Wire Drawing, Rhodium, Finite Element Analysis, Drawing Experiment

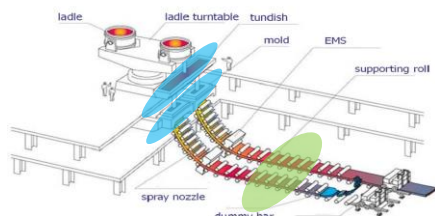


Fig. 1 Schematic of continuous casting process

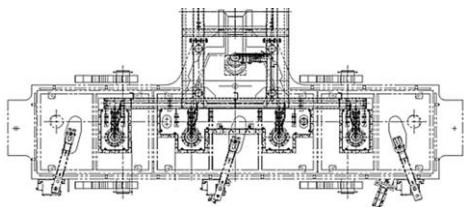


Fig. 2 Drawing of continuous casting process

Table 1 Condition of Tundish Design

Tundish Type	T-type(Nozzle 3ea)
Temperature	1630°C
Tunflow	None, Circle, Rectangle
Location	Dam, Weir
Molten Metal High	600mm, 900mm
Inclusion Density	3.965g/cm ³

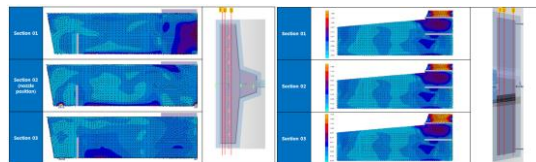


Fig. 3 Flow of molten metal in Tundish

* 본 연구는 산업기술핵심개발사업의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. ㈜태웅 기업부설연구소

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

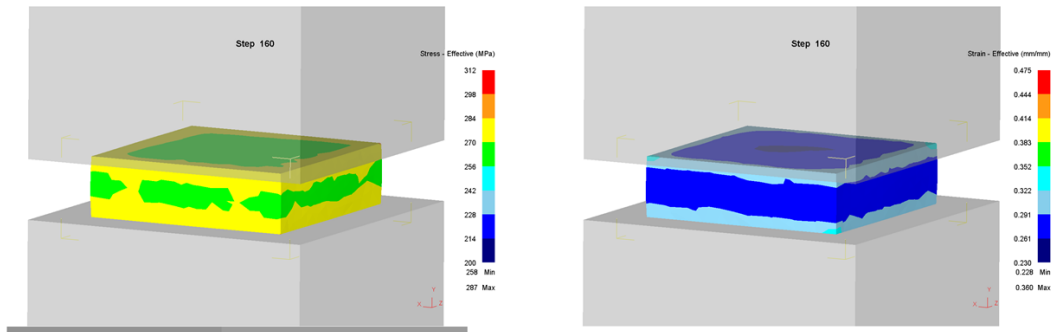
다공체 재료의 기계적거동 평가방법에 관한 고찰

조재형¹, 이건영¹, 이준호¹, 나종주¹

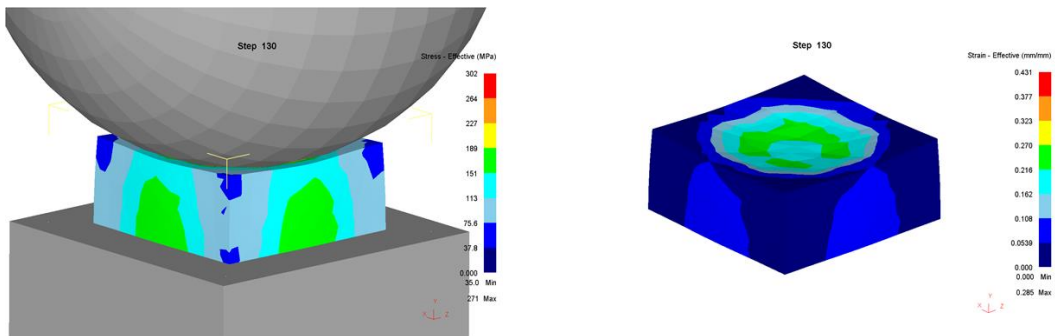
Abstract

일반적인 벌크소재에 비해서 다공체는 경량화효과와 더불어 큰 표면적으로 다양한 공업적 활용성을 가진다. 다공체 재료의 기계적 거동은 여러 가지 변수들 즉 공극률, 공극의 형상 및 분포 등의 인자에 따라서 본래 소재가 가지는 벌크 물성과는 다른 거동을 보인다. 다공체 재료의 기계적 물성의 하나로 압축변형시 탄성계수와 응력-변형 거동을 평가하였다. 평가한 다공체는 상용소재인 Ni다공체와 여러개의 판상을 결합하여 만든 구조체를 이용하였다. 압축시험을 위해서 다공체를 절단하여 압축시편을 만들고, 평판형태의 지그와 구형의 지그를 각각 이용하였다. 지그의 경우 평판의 지그와 구형의 지그에 의한 다공체의 압축거동을 각각 평가하고 유한요소해석을 이용한 결과와 비교하였다.

Key Words : 다공체, 기계적 물성, 압축변형거동, 유한요소해석



<평판지그를 이용한 유한요소해석>



<구형지그를 이용한 유한요소해석>

대형 단조품의 링 압연 시 Band Structure에 미치는 열처리의 영향에 관한 연구

윤선룡¹ · 이재훈¹ · 허상현¹ · 주병돈¹ · 김남용¹ · 이진모¹

A study on the effect of heat treatment on the band structure during ring rolling of large forged products

Sunryong Yoon, Chaehun Lee, Sanghyun Heo, Byeongdon Joo, Namyong Kim, Jinmo Lee

Abstract

링 압연 공정이 적용된 링 단조품의 경우 압연 방향으로 페라이트와 펄라이트가 교대로 반복되는 줄무늬 형태의 Band structure가 관찰된다. 링 단조품에서 나타나는 Band structure는 다양한 인자에 의해 좌우되는데, 1) 화학조성, 2) 응고 시 편석, 3) 가공도, 4) 오스테나이트화 온도, 5) 오스테나이트화 이후의 냉각 속도 등이 지배적인 인자로 알려져 있다. 과도한 Band structure의 존재는 재료물성에 대한 이방성을 나타낼 수 있고, 특히 대형품의 경우 편석 및 열처리에 대한 여러 제약사항으로 Band structure의 제어가 쉽지 않다. 본 연구에서는 오스테나이트화 온도 및 오스테나이트화 이후의 냉각속도가 Band Structure에 미치는 영향을 알아보기 위해 1,755(OD)*1,175(ID)*112(H) 크기의 대형 Ring 단조품을 대상으로 열처리 시험을 진행하였다. 실험 조건은 가열온도 870℃, 890℃, 910℃, 930℃, 유지시간 1hr, 2hr, 3hr, 냉각방법은 Air Blow, Water Spray, Air Cooling으로 열처리 하였으며, 각 열처리 조건에 따라 압연방향과 압연방향에 수직한 방향으로의 인장강도, 항복강도 등 기계적 특성을 측정하였으며, Band structure 형상의 변화를 확인하기 위해 미세조직을 관찰 하였다

Key Words : Ring Rolling, Mass effect, Ferrite-pearlite Band, Band Structure

1. ㈜태웅 기업부설연구소

2단 비틀림 시험을 이용한 Mg-Zn-Y 합금 고온거동 분석

김용재¹ · 손현우¹ · 이재철¹ · 조창희¹ · 현승균[#]

Hot deformation behavior of Mg-Zn-Y alloy during 2-pass torsion test

Y. J. Kim, H. Y. Son, J. C. Lee, C.H. Cho, S. K. Hyun.

Abstract

In order to investigate SRX, MDRX and DRX behavior, 2-pass torsion test of as-cast Mg-Zn-Y alloys was implemented. The torsion test was performed with variables ; the temperature of 300-500℃, strain rate(/sec) of 0.05, interrupted time(sec) of 30-300 and pass strain of 0.25-1 of peak strain. Before torsion test, heat treatment at 300, 400, 500℃ for 6 hours had been carried out to obtain efficient phase fraction of I and W phase. It has been well known that heat treatment at 300℃ promotes precipitates of I phase and 500℃ of W phase. Precipitates of each phase was confirmed by XRD patterns, Thermodynamic analysis - Jmatpro and SEM-EDAX which of them indicate appropriate amount of I and W phase was formed at corresponding temperature. Flow curves at 300-500℃ represent I and W phase has different deformation behavior at high temperature. OM and SEM images are also attached showing different microstructural evolution followed by flow curves. To quantify the fraction of softening It was calculated in flow curves by 0.2% offset method. The results show that the alloy with I-phase pre-heated at 300℃ exhibits lower SRX and DRX behavior and faster SRV and DRV behavior compared to alloy with W-phase pre-heated at 400℃ which is thought to be the low interface energy of I-phase. The dependence of temperature and stain rate is additionally discussed.

Key Words : Torsion, Mg alloys, Hot deformation, multi pass

1. 인하대학교 신소재공학과

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

에어 서스펜션 부품의 성형성 평가를 위한 변형률 속도에 따른 Al6061 소재의 유동 응력 예측에 대한 연구

지은구¹, 손원식², 황종일³, 이진규³, 이상효⁴, 임성한[#]

A Study on the Flow Stress Prediction of Al6061 According to Strain Rate for Air Suspension Formability Evaluation

E. G. Ji¹, W. S. Son², J. I. Hwang³, J. G. Lee³, S. H. Lee⁴, S. H. Rhim[#]

Abstract

Air suspension is a part that plays an important role in securing driving performance and driving stability of the car by using the elastic effect of the air. Because of its importance, formability evaluations must be made in the manufacture of air suspensions. Formability evaluation takes into account the molding parameters used in the manufacture of the air suspension, and the molding parameters include strain rate and temperature. However, in order to obtain the flow stresses of the material according to the forming parameters and to use in the evaluation of the formability, there is a limit to know all the forming variables through experiments. In this paper, the trends were identified by the change of flow stresses according to the change of forming parameters, and the flow stress model considering the forming parameters was proposed and examined for applicability. The flow Stresses were confirmed by obtaining strain-stress curve through uniaxial tensile test, and the forming parameters used were strain rate and were applied by modifying the Hollomon model, which is the existing flow stress model.

Key Words : Tensile test(인장시험), Stress(응력), Strain(변형률), Strain rate(변형률 속도), Formability(성형성), Flow Stress(유동응력), Forming parameter(성형 변수)

1. 서론

서스펜션 내 속업소버(Shock absorber)는 서스펜션 모듈의 핵심 구성 부품으로써, 충격 완화의 목적으로 사용된다. 공기의 압축과 팽창을 이용하는 에어 속업소버(Shock absorber)는 적은 반동으로 보다 편안한 승차감을 만들어내는 장점이 있어 최근 많은 차량에 채택 및 적용되고 있다. 차량을 지지하는 만큼 에어 서스펜션에 가해지는 압력이 매우 높아 가이드 튜브 제작에 있어 정확한 성형성 평가를 기반으로 연구되어야 한다. 본 논문에서는 에어 서스펜션 부품의 성형성 평가를 위해 에어 서스펜션에 성형에 사용되는 Al6061 소재의 유동 특성을 확보하고 성형 변수의 변화가 유동 특성에 미치는 영향을 파악하여 그 경향성을 확인하였다.

2. Al6061 소재 인장시험

Al6061 소재의 유동 응력을 확보하기 위해 상온 상태(25℃)에서 인장시험을 진행하였다. 실험 기기로 만능인장시험기 MTS810을 사용하였으며 시편의 재질은 Al6061-F와 Al6061-T4 채택하였고 인장시험 시편규격은 ASTM E8을 적용하였다. 실험 변수로는 Table. 1과 같이 Strain rate를 3가지로 나누어 진행하였고 인장시험의 결과는 Fig. 1과 같다. Fig. 1 에서 소재 열처리에 의하여 Al6061-T4의 유동응력 분포가 높게 나타남을 확인하였다.

1. 단국대학교 대학원 기계공학과

3. LMS

2. 단국대학교

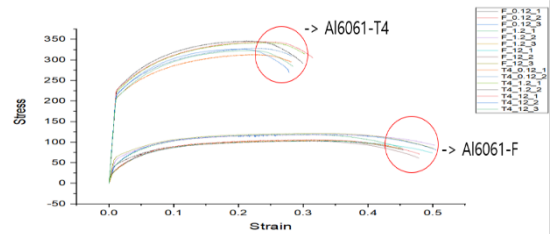
4. 일성테크

임성한: 단국대학교 기계공학과, E-mail: shrhim@dankook.ac.kr

Table. 1 Al6061 인장시험 조건

Material	Al6061
Gage Length(mm)	15
Gage diameter(mm)	Ø6
Radius of fillet(mm)	R38.75
Heat treatment	F, T4
Strain rate(s^{-1})	$10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}$
Specimen Temperature	Room temperature(25°C)

Figure. 1 인장시험 결과



3. 유동응력 모델 제안

실험을 통해 얻은 Stress-Strain Curve의 데이터를 기반으로 유동응력을 수식으로 정리하였다. 유동응력은 기존의 모델 중 중 Hollomon 모델을 적용하여 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

K와 n은 재료상수로서 각각 강도계수(Strength Coefficient), 가공경화지수(Work Hardening Exponent)이다. 실험 변수를 적용해 도출한 재료상수는 최소자승법에 바탕을 둔 곡선피팅법으로 계산하여 Table. 2에 정리하였다.

Table. 2 Hollomon 모델을 통한 계산한 실험 변수에 따른 재료 상수

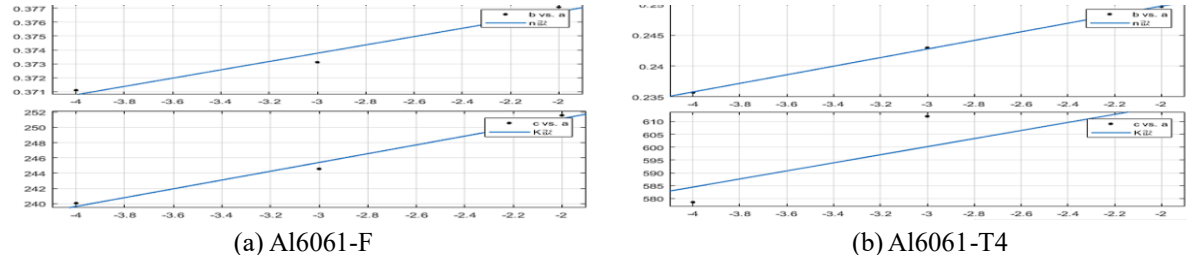
Strain rate(s^{-1})	10^{-2}		10^{-3}		10^{-4}	
재료 상수	K	n	K	n	K	n
Al6061-F	251.581	0.377	244.559	0.373	240.056	0.371
Al6061-T4	609.995	0.250	611.988	0.243	578.581	0.236

도출된 재료상수들을 활용하여 변형률 속도와와의 연관관계를 분석하였고 Fig. 2와 같이 변형률 속도와 선형에 근접한 관계를 가지는 것을 확인하여 이를 통해 Al6061의 유동응력 변화의 경향성을 파악해 수정된 유동응력 모델을 아래 식으로 제안하였다.

$$\bar{\sigma}_{Al6061-F} = (5.762 \log_{10} \dot{\epsilon} + 262.7) \epsilon^{0.002993 \log_{10} \dot{\epsilon} + 0.3827} \quad (2)$$

$$\bar{\sigma}_{Al6061-T4} = (15.71 \log_{10} \dot{\epsilon} + 647.3) \epsilon^{0.006952 \log_{10} \dot{\epsilon} + 0.2636} \quad (3)$$

Figure. 2 재료상수와 변형률속도(Strain rate)의 관계



4. 결론

본 연구에서는 에어 서스펜션 가이드 튜브의 성형성 평가를 위해 성형 변수의 변화가 유동특성에 미치는 영향을 파악하고 그 경향성을 확인해 성형 변수를 고려한 유동응력 모델을 제안하였다. 그 결과 재료상수와 성형 조건의 관계가 선형에 근접한 관계를 가져 1차 식으로 표현할 수 있었다. 하지만 변수의 다양성이 부족하여 실험을 통해 더 많은 데이터를 확보하여 더욱 정확한 예측이 가능하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

[1] E. T. Park, B. E. Lee, 2015, Evaluation of The Temperature Dependent Flow Stress Model for Thermoplastic Fiber Metal Laminates, Trans. Mater. Process, Vol. 24, No. 1, pp. 52~61

**한국소성가공학회
2019 년도 추계학술대회**

◎ 조 직 위 원 장 : 한 홍 남 조직위원장 (서울대)