

2018년도 한국소성가공학회
춘계 학술대회 초록집

일 시 : 2018년 5월 17일(목)~18일(금)

장 소 : 메이필드 호텔(서울)

주 최 : 한국소성가공학회

후 원 : 한국과학기술단체총연합회



사단
법인

한국소성가공학회

제 1 발표회장

2018. 5. 17(목)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸1

○ 특별세션－ 체결공정의 시뮬레이션

(13:00~15:15)

좌 장 : 홍석무(공주대)

13:00~13:15	핀치볼트요크 냉간단조 펀치의 파손에 대한 원인 분석	송하늘*, 황태민, 김광민, 이운학(㈜성진포머), 변종복, 전만수(경상대)
13:15~13:30	셀프피어싱 리벳팅 공정의 탄소성 유한요소해석	정승원*, 엄재근, 정석환(㈜엠에프알씨), 전만수(경상대)
13:30~13:45	항공기용 리벳팅 공정의 시뮬레이션과 결과의 검증	R. Sekar*(㈜엠에프알씨), 정완진(서울과학기술대), 전만수(경상대)
13:45~14:00	항공기용 튜브 및 피팅 조립용 네킹공정의 축대칭 탄소성 유한요소해석	한월영*, 유재동, 전만수(경상대), 김형익(한국생산기술연구원)
14:00~14:15	Coffee Break	
14:15~14:30	허브 조립체의 조립용 회전단조 공정의 시뮬레이션	유재동*, 전만수(경상대), 김민철, 문호근(MFR C)
14:30~14:45	다단 정밀 중공 튜브 제품의 스웨이징 공정 해석	문호근*(㈜엠에프알씨), 정성훈, 이희원(이래CS㈜), 정완진(서울과학기술대), 전만수(경상대)
14:45~15:00	체적성형과 관재성형이 동시에 적용된 프로그레시브 공정의 유한 요소 해석	김예은*, 노은솔, 홍석무(공주대)
15:00~15:15	3차원 다물체 성형공정의 유한요소해석	정석환*, 정승원(㈜엠에프알씨), 정완진(서울과학기술대), 전만수(경상대)
15:15~15:30	Coffee Break	
15:30~16:45	포스터 발표 (1층 로비)	
16:45~17:00	Coffee Break	
17:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제17회 논문상 수상식 - 제15회 기술상 수상식 - 제7회 신진학술상 수상식 - 특별회원사패 전달식 - 2017년도 결산승인 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회 [초청강연] - 고영건 교수(영남대) 이속압연법을 통한 결정립 미세화 - 김수영 박사(㈜아마나가) 볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화	메이필드 볼룸1
18:30~	만찬	메이필드 볼룸2, 3

제 2 발표회장

2018. 5. 17(목)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸2

○ 특별세션- 800 MPa급 고강도 스테인리스강의 인발 기술

(13:00~15:15)

좌 장 : 이광석(KIMS)

13:00~13:15	STS304 합금의 고하중 마찰계수평가 연구	남궁정(포항산업과학연구원)*, 이광석(재료연구소)
13:15~13:30	2단 인발공정 단면 형상 제어를 통한 고강도 fuel rail pressure sensor의 잔류응력 저감 공정기술 개발	김세종*, 정중은, 배성준, 이광석(KIMS), 홍성박, 홍성규(부곡스테인레스), 남궁정(포항산업과학기술연구원), 김병민, 김정훈(부산대)
13:30~13:45	발전기용 코일 웨지의 인발 공정에 따른 미세조직 및 특성 변화	정중은*, 김세종, 배성준, 이광석(KIMS), 남궁정(포항산업과학연구원), 김성민, 김성인(주광진산업)
13:45~14:00	소재 휨 결함 개선을 위한 다단 이형 인발 금형 설계	김정훈*, 김병민(부산대)
14:00~14:15	Coffee Break	

○ 일반발표- 경량금속

(14:15~15:15)

좌 장 : 황병철(서울과학기술대)

14:15~14:30	열간 단조공정에서 열전달계수가 원통형 알루미늄의 온도 및 치수에 미치는 영향	전효원*, 서창희, 박준달(대구기계부품연구원), 전진호, 최현열(주화신전공), 강경필(솔루션랩)
14:30~14:45	레이저를 이용한 금속과 CFRP 이종재질 접합 및 사진산화막 처리 영향 연구	김정환*, Barton Mensah Arkhurst, 이연승(한밭대), 설재복(포항공대), 한상배(유로비전)
14:45~15:00	알루미늄 복합체의 통계 기반 3차원 미세조직 구현 및 열-기계적 특성 모사	이목영(포항산업과학기술원), 박형근*, 정재면, 김형섭(포항공과대)
15:15~15:30	Coffee Break	
15:30~16:45	포스터 발표 (1층 로비)	
16:45~17:00	Coffee Break	

17:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제17회 논문상 수상식 - 제15회 기술상 수상식 - 제7회 신진학술상 수상식 - 특별회원사패 전달식 - 2017년도 결산승인 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회 [초청강연] - 고영건 교수(영남대) 이속압연법을 통한 결정립 미세화 - 김수영 박사(주야마나가) 볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화	메이필드 볼룸1
18:30~	만찬	메이필드 볼룸2, 3

제 3 발표회장

2018. 5. 17(목)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸3

○ 특별세션 - 가변 단면 튜브 적용 경량화를 30%이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형기술 개발		
(13:00~14:15) 좌 장 : 강성훈(KIMS)		
13:00~13:15	성형 공정에 따른 중공축 단조품 및 열처리 제품의 조직학적 분석	손승우*, 이종훈(울산과학기술원), 신승만(한국프랜지)
13:15~13:30	차량 장구동축 일체화 설계를 위한 스웨이징 공정 연구	김용배*, 정선호, 이상교, 임성주, 이종섭(한국생산기술연구원)
13:30~13:45	롤 포밍에 의한 변형 잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석	임수범*, 이영석(중앙대학교)
13:45~14:00	가변단면 튜브를 이용한 중공 장구동축 개발	이호원*, 오영석, 강성훈(재료연구소) 이종섭(한국생산기술연구원), 신승만(한국프랜지), 이재현(성우하이텍 기술연구소)
14:00~14:15	가변단면튜브 롤포밍 기술 개발	박상언*, 정윤성, 김동범, 이재현, 이문용(㈜성우하이텍)
14:15~14:30	Coffee Break	
○ 일반발표 - 플라스틱 가공		
(14:30~15:30) 좌 장 : 이호원(KIMS)		
14:30~14:45	등통로각압축공정을 통한 결정립의 균질한 초미세립화	김우열*, 이학현, 김형섭(포항공과대), 서승재, 이재근(풍산), 윤태식(방위산업기술지원센터)
14:45~15:00	고온전사를 통한 초소수성 폴리머 표면 제작	문인용*, 이호원, 오영석, 강성훈(한국기계연구원)
15:00~15:15	결정소성 유한요소 해석을 통한 저방사화강 마이크로필러 압축실험 분석	정우진*(고려대), 권홍록, 장동찬(KAIST), 이명규(서울대)
15:15~15:30	상변화 마스크를 이용한 나노 리소그래피에 관한 연구	성중현*, 김민수, 정명기, 강신일(연세대)
15:30~16:45	포스터 발표 (1층 로비)	
16:45~17:00	Coffee Break	
17:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제17회 논문상 수상식 - 제15회 기술상 수상식 - 제7회 신진학술상 수상식 - 특별회원사패 전달식 - 2017년도 결산승인 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회 [초청강연] - 고영건 교수(영남대) 이속압연법을 통한 결정립 미세화 - 김수영 박사(㈜야마나가) 볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화	메이필드 볼룸1
18:30~	만찬	메이필드 볼룸2, 3

제 4 발표회장

2018. 5. 17(목)

▶▶ 2층 아이리스1

○ 일반발표 - 박판성형

(13:00~14:00)

좌 장 : 박춘달(대구기계부품연구원)

13:00~13:15	미세구조 기반 유한요소해석을 활용한 강재의 구멍 확장 성 예측	박시욱*, 정진욱, 김정일, 이명규, 한홍남(서울대), 김성일(POSCO 기술연구원)
13:15~13:30	관상금속재료의 신장플랜지성 지배인자	윤재익*, 정재면, 김형섭(포항공과대)
13:30~13:45	전자기 성형을 이용한 알루미늄 관재와 관재 사이의 기계적 체결 거동	박현일*, 이진우, 이영선, 김대용(재료연구소), 김지훈(부산대)
13:45~14:00	금형 변형을 고려한 초고강도 강판의 스프링백 해석	서성현*, 권구관, 김형중(강원대), 조준행(㈜세원물산), 송정환(한국생산기술연구원)
14:00~14:15	Coffee Break	

○ 일반발표 - 박판성형

(14:15~15:15)

좌 장 : 김대용(KIMS)

14:15~14:30	Hydroforming 공정을 이용한 telescopic tube screw 제작	나재현*, 정희석, 한상욱, 문영훈(부산대)
14:30~14:45	가변물성형 시 원형 홀이 관재의 뒤틀림에 미치는 효과	강필규*, 우영윤, 문영훈(부산대)
14:45~15:00	핫스탬핑 공정에서 가열조건에 따른 금형 보상	심규호*, 박철진(에코플라스틱㈜), 김병민, 김재홍(부산대)
15:00~15:15	알루미늄 합금 관재를 이용한 자동차 히트 프로텍트 부품 개발	박동환* 김진봉, 탁윤학(경북하이브리드부품연구원), 이용운, 서준혁(㈜영진)

포스터 발표 (1층 로비)

16:45~17:00 Coffee Break

17:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제17회 논문상 수상식 - 제15회 기술상 수상식 - 제7회 신진학술상 수상식 - 특별회원사패 전달식 - 2017년도 결산승인 - 기타 토의 사항 - 연구 윤리 관련 규정 - 폐회 [초청강연] - 고영건 교수(영남대) - 이속압연법을 통한 결정립 미세화 - 김수영 박사(㈜야마나가) - 볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화	메이필드 볼륨1
18:30~	만찬	메이필드 볼륨2, 3

제 5 발표회장

2018. 5. 17(목)

▶▶ 2층 아이리스2

○ 특별세션 - 뿌리기술연계 항공부품 제조기술

(13:00~14:15)		좌장 : 고세현(KITECH)
13:00~13:25	뿌리기술연계 항공부품 · 소재 제조기술 및 발전동향 분석	최호준*, 신영철, 김봉환, 정민수, 이정민(한국생산기술연구원), 이기영(주케이피씨엠)
13:25~13:45	항공기 재료 및 공정 인증체계에 관한 고찰	이은석*, 이강이(항공안전기술원)
13:45~14:05	항공MRO 사업과 IT 솔루션에 대한 분석	김상돈*, 이찬호(주부품디비)
14:05~14:15	Coffee Break	

○ 특별세션 - 뿌리기술연계 항공부품 제조기술

(14:15~15:35)		좌장 : 이기안(인하대)
14:15~14:35	항공부품용 고강도 알루미늄 합금 개발	양승윤*, 김봉환, 김세광(KITECH)
14:35~14:55	항공우주용 대형 빌렛 & 슬라브 제조 시스템 구축	백창현*(동양에이케이코리아)
14:55~15:15	항공부품용 알루미늄 소재의 단조특성 평가 기술	신영철*, 최호준, 김봉환, 하성호(KITECH), 정택균, 현승균(인하대)
15:15~15:35	QPL연계 항공기 유압 시스템용 21,000kPa급 Fitting 개발	정우석*, 김영우, 이동건(디케이락), 김형익, 이찬주(KITECH)
15:35~15:45	Coffee Break	

○ 특별세션 - 뿌리기술연계 항공부품 제조기술

(15:45~17:25)		좌장 : 이은석(KAIST)
15:45~16:05	고성능 PPS prepreg 부품성형 기술	김동연*(KITECH)
16:05~16:25	가스터빈 고온부품 열차폐코팅 기술	이성훈*, 변응선, 유연우(KIMS)
16:25~16:45	3D 프린팅용 금속분말 제조기술	양상선*, 유지훈, 김용진(KIMS), 김상권(주케이앤케이메탈)
16:45~17:05	금속 3D 프린팅 기술개발 동향	최한신*(KITECH)
17:05~17:25	항공산업 3D 프린팅 기술	임수창*(씨이피테크)
17:25~17:35	Coffee Break	

○ 특별세션 - 뿌리기술연계 항공부품 제조기술

(17:35~17:55)		좌장 : 최호준(KITECH)
17:35~17:55	금속 3D 프린팅 산업육성 전략	임영목(한국산업기술평가관리원)*, 박태규(산업자원통상부)
18:30~	만찬	메이필드 볼룸2, 3

제 6 발표회장 - 포스터 발표

※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.(포스터 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표논문을 심사합니다.)
 ※ 포스터판 사이즈 : 가로 1m×세로 1.2m (논문 1편당 1개), 포스터는 발표자가 준비합니다.

2018. 5. 17(목)

▶▶ 1층 로비

(15:30~16:45)

좌 장 : 최시훈(순천대), 권혁홍(대진대)

15:30~16:45	P 01	고Mn 헤드필드(Hadfield)강의 미끄럼마멸과 침식 마멸 거동	구본우*, 김용석(국민대)
	P 02	6082 알루미늄 주조재 및 압연재의 열간단조 후 시효시간에 따른 조직 및 기계적 특성 변화	전효원*, 서창희, 권태하, 오상균(대구기계부품연구원), 전진호, 최현열(화신정공)
	P 03	Ti-6Al-4V 판재의 SPF 공정을 이용한 항공기 부품 성형 기술 개발	김성욱*, 김경환, 이용남(대화항공산업㈜), 권용남(재료연구소)
	P 04	ECO Mg(with CaO)을 첨가한 고강도·고연신 Al-Mg(7.9wt.%) 합금의 미세조직 및 인장 변형 거동	백민석*, 김영균, 이기안(인하대), 김세광, 김봉환(한국생산기술연구원)
	P 05	가열금형을 사용하는 마그네슘 Z31 합금판재의 전기저항 이중스폿용접	Sun Xiaoguang*, 진인태(부경대)
	P 06	Al-Si-Cu 합금의 인장 및 마모 특성에 미치는 미세화 원소 첨가의 영향	강연지*, 허준영, 윤상일, 이기안(인하대)
	P 07	Ti-6Al-4V 합금 판재의 고온 성형 한계에 관한 연구	유동훈*, 이진우, 권용남, 김대용(재료연구소)
	P 08	선체 외판용 자동 열간성형에 관한 연구	이상익*, 박성진, 공형열, 공경열(기득산업㈜)
	P 09	7xxx계 급 알루미늄 압출재 평가를 위한 미세조직 및 강도 특성 분석	우영호*, 이상용(안동대)
	P 10	FCEV용 고압 연료 탱크 연결 파이프의 성형형상을 고려한 체결력 해석	이정민*, 박준수, 전문수, 이형욱(한국교통대), 정화정, 추성화(㈜한일튜브)
	P 11	2차전지용 고밀도 전극 가공 Retainer 변형 및 경향성 분석	김정웅*, 김민호((재)한국화학융합시험연구원), 신재오, 유관영(나이프코리아㈜), 유준일(㈜유디엠), 서영진(금오공과대)
	P 12	자동차 조향 시스템의 인너 세레이션 중공 샤프트 냉간 성형공정 연구	이상교*, 최호준, 임성식, 신영철, 임성주(한국생산기술연구원), 김연구, 신익철(㈜대림엔티아이)
	P 13	1500MPa 급 강판을 사용한 차량 Sill-side의 롤 포밍 공정 설계에 관한 연구	최선용*, 이종섭, 이상교, 노우람(한국생산기술연구원), 김근호(㈜아산)
	P 14	레이저 용융 기술로 적층된 AISI H13의 고온경도 및 미세 조직 분석	손종윤*, 윤희석(전남대), 이기용(한국생산기술연구원), 심도식(한국해양대)
	P 15	PBF방식으로 제조된 SUS316L 부품의 DED공정 보수 후 인장 특성 분석	오욱진*, 김민섭, 이욱진(한국생산기술연구원), 심도식(한국해양대)
	P 16	QForm VX를 사용한 헬리컬 롤링 밀의 피어싱 공정 해석	송가형*, 광호택(㈜씨에이이테크놀로지), Paul Mordvintsev(Quantorform Ltd).
15:30~16:45	P 17	Heat plate의 알루미늄 압출 해석	송가형*, 광호택(㈜씨에이이테크놀로지)
	P 18	조선해양플랜트용 T-bar 벤딩 성형 공정 변수에 관한 연구	홍순곤*, 이진우, 이정환(재료연구소), 윤종현(한양대), 공경열, 이상익(기득산업㈜)
	P 19	알루미늄 온간 U 드로벤딩의 스프링백 예측에 대한 연구	김우진(홍익대)*, 김홍규(국민대)
	P 20	자동차 부품의 버링 성형성 향상을 위한 공정변수 최적화	노재동*, 박종규(㈜화신)
	P 21	심한 전단 변형한 강 of 특정 우선방위 발달	이철우*, 김인수(금오공과대), 이동녕(서울대)
	P 22	AA1000 계열 알루미늄의 열간 비대칭 압연	보보무로드*, 이철우, 김인수(금오공과대)
	P 23	열간 비대칭 압연한 AA3000 계열 알루미늄 합금의 집합조직	보보무로드*, 이철우, 김인수(금오공과대)
	P 24	후속 열처리에 의한 Al 7075-T6 합금의 기계적 물성 변화	손영일*(국방과학연구소), 이석재(전북대)
	P 25	마그네슘 합금 판재의 온간 급형 공정에서 시간에 따른 스프링백 특성 분석	유제형*, 김현우, 이창환(서울과학기술대)

15:30~16:45	P 26	다단 딥드로잉 공정에서 아이어닝 곡률부 면적 예측에 대한 연구	이창희*, 홍석무(공주대)
	P 27	가열조건에 따른 보론강 Al-Si 코팅층의 결함분석	민두식*, 김승현, 권순덕(아진산업㈜)
	P 28	Actuator Ball Nut 냉간 단조 금형 수명에 관한 연구	이윤혁(경상대)*, 김동환(한국국제대)
	P 29	스프링백 정확성 향상에 관한 연구	김승현*, 민두식, 권순덕(아진산업)
	P 30	오스테나이트계 스테인리스 Forged Ball의 열간 단조 기술 개발	이채훈*, 김남용, 이진모, 장희상(㈜태웅), 이인환, 김광표,(㈜태상), 노현철((재)대구기계부품연구원),
	P 31	MART1470 판재 냉간 프레스 성형용 금형 코팅의 마모량 비교	손민규*, 윤재웅, 김세호(대구대), 송정한(한국생산기술연구원)
	P 32	SPS 성형된 Bi-Sb-Te 합금의 미세조직 및 열전 특성	신동원, 이명원, 윤석민, 이태행, 김경식, 구자명, 송기안, 홍순직(공주대)
	P 33	압출 가공된 Al-Si 합금의 미세조직 및 기계적 특성	안수성, 구자명, 유현정, 홍순직, 송기안(공주대), 백창현(동양 AK 코리아)

제 1 발표회장

2018. 5. 18(금)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸1

○ 특별세션 - 단조 시뮬레이션 기술의 신적용 사례 (09:00~11:00)

좌 장 : 정석환(엠에프알씨)

09:00~09:15	베어링 외륜 열간단조품의 경도 예측	정석환*(MFRC), 이라니 미짬, 전만수(경상대), 이광오(부산대)
09:15~09:30	알루미늄의 냉간단조 시 유동특성에 관한 고찰	유재동*, 전만수(경상대), 송하늘, 김광민, 황태민(㈜성진포머)
09:30~09:45	난형상 단조공정의 정밀해석 및 단류선 평가	이지언*, 이요셉, 이민철(㈜엠에프알씨), 전만수(경상대)
09:45~10:00	진동부과 편치에 의한 스플라인 제조 공정의 탄소성 유한요소해석	문호근*(MFRC), 정성훈, 이희원(이래CS(주)), 정완진(서울과학기술대), 전만수(경상대)
10:00~10:15	Coffee Break	
10:15~10:30	이방성을 고려한 2차원 솔리드요소를 이용한 금속성형 유한요소해석	조성민*, 이창환, 정완진(서울과학기술대)
10:30~10:45	관재성형 및 단조공정에서 삼축응력 파단곡면에 대한 실험적 고찰 및 유한요소해석	김준영(MFRC 기술연구소)*, 홍석무(공주대)
10:45~11:00	장구형 박벽 튜브 성형공정의 유한요소해석	이윤혁*, 전만수(경상대), 배선민(GV엔지니어링), 김동환(한국국제대)
	점심	2층 아이리스2

제 2 발표회장

2018. 5. 18(금)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸2

○ 일반발표 - 박판성형 (09:20~11:00)

좌 장 : 송우진(부산대)

09:00~09:15	마그네슘 합금 판재의 온간 V-굽힘에서 변형률 속도를 고려한 굽힘 변형 특성 분석	김현우*, 유제형, 이창환(서울과학기술대)
09:15~09:30	구경방정식 특성화를 위한 결정소성 모델 활용	정영웅*(창원대)
09:30~09:45	후판 곡률 성형을 위한 열간/냉각 다점성형기술	이인규*, 이성윤, 정명식, 이상곤(한국생산기술연구원), 김병민(부산대)
09:45~10:00	핫스탬핑 성형한계도 적용의 온도 조건 연구	심성용*, 김홍규*(국민대)
10:00~10:15	Coffee Break	

○ 일반발표 - 박판성형, 금형가공 (10:15~11:30)

좌 장 : 윤종현(한양대)

10:15~10:30	자동차용 센터필러를 대상으로 한 국부연화 핫스탬핑 공정에서의 후변형 예측	권태하, 서창희, 전효원, 박춘달(대구기계부품연구원), 김용식, 안중현(화신테크)
10:30~10:45	유압별지시험을 이용한 순타이타늄 판재의 물성거동 평가	팜콕투안*, 김진재, 김영석(경북대), 박기철(POSCO)
10:45~11:00	열간 성형 후 급냉한 AI 7075 판재 부품의 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구	김민석*, 권용남, 이동준(재료연구소)
11:00~11:15	레이저 용융 적층 기술을 이용한 HWS 적층부의 기계적 특성 관찰	백경윤*, 신광용, 이기용(한국생산기술연구원), 심도식(한국해양대학교)
11:15~11:30	고강도 금형 소재 사용에 따른 열간금형 수명 연장에 대한 코팅층이 고려된 금형응력 해석 연구	이승열*, 이경훈(솔루션랩)
	점심	2층 아이리스2

제 3 발표회장

2018. 5. 18(금)

▶▶ 1층 메이필드 볼룸3

○ 일반발표 - 경량금속

(09:00~10:15)

좌 장 : 고영건(영남대)

09:00~09:15	용체화 처리 시간이 Al7075합금의 성형품 강도에 미치는 영향에 대한 연구	최연택*, 이종섭(한국생산기술연구원)
09:15~09:30	마그네슘 합금 판재 동적인장물성의 측정불확도 평가	김민기*, 허훈(KAIST)
09:30~09:45	Mini V-bending 시험 시 Mg합금의 굽힘성에 미치는 이방성의 영향	김민성*, Jaiveer Singh, 이성음, 최시훈(순천대), 박준호, 김재중(POSCO)
09:45~10:00	Lightweight Duplex Steel의 일축인장 시 구성상에 발생하는 미소역학적 변형 및 상변태 거동 예측	김은영*, 최시훈(순천대), 우완측, 김동규(한국원자력연구원), 박재현(POSCO 기술연구원)
10:00~10:15	마그네슘 합금의 인장 거동에 미치는 이차상의 영향	백승미*, 박형근, 이석규, 윤재익, 문지현, 이성학, 김형섭(포항공과대)
10:15~10:30	Coffee Break	

○ 특별세션 - 설계기반 미래 성형기술

(10:30~11:30)

좌 장 : 구태완(부산대)

10:30~10:45	비정형틀판재성형 공정 실험과 유한요소해석 결과의 성형성 비교에 관한 연구	길민규*, 박지우, 윤준석, 강범수(부산대)
10:45~11:00	Numerical Simulation of the Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process: the Sensitivity of FE Results to Various Process and Simulation Parameters	하디 기아바클루*, 길민규, 박지우, 김정, 강범수(부산대)
11:00~11:15	Multi-objective Optimization of Multi-point forming process with Uncertainties	바예 미스가나 아베베*, 강범수(부산대)
11:15~11:30	Cohesive Zone Model을 이용한 PET 코팅 강판의 박리 예측	윤수환*, 정재봉, 김지훈(부산대), 정지용(LG일렉트로닉스)
	점심	2층 아이리스2

제 4 발표회장

2018. 5. 18(금)

▶▶ 2층 아이리스1

○ 일반발표 – 압출 및 인발, 압연 (09:00~10:15)		좌 장 : 김영득(두산중공업)
09:00~09:15	소재의 기계적 물성을 고려한 인발 공정 자동 최적설계 프로그램 개발	조동혁*, 백인호, 이영석(중앙대)
09:15~09:30	유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브 압출 금형 설계	최병진*, 강성훈, 오영석, 이호원(한국기계연구원)
09:30~09:45	인발 가공 공정을 이용한 In-situ-MgB ₂ 초전도 선재 개발 현황	장세훈*, 김효성, 임재덕, 황덕영(KAT) 강성훈, 오영석(KIMS)
09:45~10:00	고강도 초세립 선재 제조를 위한 하이브리드 인발 공정 개발	조동혁*, 백인호, 유상빈, 이영석(중앙대)
10:00~10:15	두방향 두께 편차를 가지는 Tailor Rolled Blanks	한상욱*, 우영윤, 황태우, 문영훈(부산대)
10:15~10:30	Coffee Break	
○ 일반발표 – 단조 (09:00~10:15)		좌 장 : 정기호(KITECH)
10:30~10:45	실험계획법을 적용한 라이너 단조 공정의 유한요소해석	김용관*, 강경필, 이경훈(주솔루션랩), 서승재, 이재근(주풍산), 윤태식(방산기술지원센터)
10:45~11:00	알루미늄 5083 합금을 이용한 블레이드 실린더 루트의 열간자유단조공법에 관한 연구	권용철*, 윤영섭(한국건설생활환경시험연구원), 김상석(주피에스엠 기술연구소)
11:00~11:15	Ni기 초합금 CEDM Nozzle 개발을 위한 열간 단조공정 해석 및 특성 연구	김영득*, 배현나(두산중공업 기술연구원), 박승희(SIMECS)
11:15~11:30	Voce 유동응력 모델의 고찰	모하마드카스완디라자리*, 이라니 미쌈, 전만수(경상대)
11:30~11:45	베어링 외륜 열간단조 중의 결정 진화 예측을 위한 재료상수의 획득 및 실험적 검증	이라니 미쌈*, 임수근, 전만수(경상대학교)
	점심	2층 아이리스2

“이 발표일정집은 2018년도 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”

목 차

1. 초청강연

- 이속압연법을 통한 결정립 미세화
..... 고영건 / 23
- 볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화
..... 김수영 / 24

2. 특별세션 – 체결공정의 시뮬레이션 (제 1 발표회장)

- 편치볼트요크 냉간단조 편치의 파손에 대한 원인 분석
..... 송하늘*, 황태민, 김광민, 이운학, 변종복, 전만수 / 29
- 셀프피어싱 리벳팅 공정의 탄소성 유한요소해석
..... 정승원*, 엄재근, 정석환, 전만수 / 31
- 항공기용 리벳팅 공정의 시뮬레이션과 결과의 검증
..... R.Sekar*, 정완진, 전만수 / 33
- 항공기용 튜브 및 피팅 조립용 네킹공정의 축대칭 탄소성 유한요소해석
..... 한월영*, 유재동, 전만수, 김혁익 / 35
- 허브 조립체의 조립용 회전단조 공정의 시뮬레이션
..... 유재동*, 전만수, 김민철, 문호근 / 37
- 다단 정밀 중공 튜브 제품의 스웨이징 공정 해석
..... 문호근*, 정성훈, 이희원, 정완진, 전만수 / 39
- 체적성형과 판재성형이 동시에 적용된 프로그레시브 공정의 유한 요소 해석
..... 김예은*, 노은솔, 홍석무 / 41
- 3 차원 다물체 성형공정의 유한요소해석
..... 정석환*, 정승원, 정완진, 전만수 / 42

3. 특별세션 – 단조 시뮬레이션 기술의 신적용 사례 (제 1 발표회장)

- 베어링 외륜 열간단조품의 경도 예측
..... 정석환*, 이라니 미쌌, 전만수, 이광오 / 47
- 알루미늄의 냉간단조 시 유동특성에 관한 고찰
..... 유재동*, 전만수, 송하늘, 김광민, 황태민 / 49
- 난형상 단조공정의 정밀해석 및 단류선 평가
..... 이지언*, 이요셉, 이민철, 전만수 / 51
- 진동부과 편치에 의한 스플라인 제조 공정의 탄소성 유한요소해석
..... 문호근*, 정성훈, 이희원, 정완진, 전만수 / 53

- 이방성을 고려한 2 차원 솔리드요소를 이용한 금속성형 유한요소해석
.....조성민*, 이창환, 정완진 / 55
- 판재성형 및 단조공정에서 삼축응력 파단곡면에 대한 실험적 고찰 및 유한요소해석
..... 김준영*, 홍석무 / 56
- 장구형 박벽 튜브 성형공정의 유한요소해석
.....이윤혁*, 전만수, 배선민, 김동환 / 57

4. 특별세션 – 800MPa급 고강도 스테인리스강의 인발 기술 (제 2 발표회장)

- STS304 합금의 고하중 마찰계수평가 연구
..... 남궁정*, 이광석 / 61
- 2 단 인발공정 단면 형상 제어를 통한 고강도 fuel rail pressure sensor의 잔류응력 저감 공정기술 개발
..... 김세종*, 정중은, 배성준, 이광석, 홍성박, 홍성규, 남궁정, 김병민, 김정훈 / 63
- 발전기용 코일 웨지의 인발 공정에 따른 미세조직 및 특성 변화
..... 정중은*, 김세종, 배성준, 이광석, 남궁정, 김성민, 김성인 / 64
- 소재 휨 결함 개선을 위한 다단 이형 인발 금형 설계
..... 김정훈*, 김병민 / 65

5. 일반 논문 발표 (제 2 발표회장)

○ 경량금속

- 열간 단조공정에서 열전달계수가 원통형 알루미늄의 온도 및 치수에 미치는 영향
..... 전효원*, 서창희, 박춘달, 전진호, 최현열, 강경필 / 69
- 레이저를 이용한 금속과 CFRP 이종재질 접합 및 사전산화막 처리 영향 연구
.....김정환*, Barton Mensah Arkhurst, 이연승, 설재복, 한상배, 이목영 / 70
- 알루미늄 복합체의 통계 기반 3 차원 미세조직 구현 및 열-기계적 특성 모사
.....박형근*, 정재면, 김형섭 / 72

○ 박판성형

- 마그네슘 합금 판재의 온간 V-굽힘에서 변형률 속도를 고려한 굽힘 변형 특성 분석
.....김현우*, 유제형, 이창환 / 74
- 구정방정식 특성화를 위한 결정소성 모델 활용
..... 정영웅* / 75
- 후판 곡률 성형을 위한 열간/냉각 다점성형기술
.....이인규*, 이성윤, 정명식, 이상곤, 김병민 / 76
- 핫스탬핑 성형한계도 적용의 온도 조건 연구
..... 심성용*, 김홍규 / 77
- 자동차용 센터필러를 대상으로 한 국부연화 핫스탬핑 공정에서의 후변형 예측
..... 권태하*, 서창희, 전효원, 박춘달, 김용식, 안중현 / 78

- 유압벌지시험을 이용한 순타이타늄 판재의 물성거동 평가
.....팜콕투안*, 김진재, 김영석, 박기철 / 79
- 열간 성형 후 급냉한 A1 7075 판재 부품의 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구
.....김민석*, 권용남, 이동준 / 81

○ 금형가공

- 레이저 용융 적층 기술을 이용한 HWS 적층부의 기계적 특성 관찰
.....백경운*, 신광용, 이기용, 심도식 / 82
- 고강도 금형 소재 사용에 따른 열간금형 수명 연장에 대한 코팅층이 고려된 금형응력 해석 연구
.....이승열*, 이경훈 / 83

6. 특별세션 – 가변 단면 튜브 적용 경량화율 30% 이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형 기술 개발 (제 3 발표회장)

- 성형 공정에 따른 중공축 단조품 및 열처리 제품의 조직학적 분석
.....손승우*, 이종훈, 신승만 / 87
- 차량 장구동축 일체화 설계를 위한 스웨이징 공정 연구
.....김용배*, 정선호, 이상교, 임성주, 이종섭 / 88
- 롤 포밍에 의한 변형 잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석
.....임수범*, 이영석 / 89
- 가변단면 튜브를 이용한 중공 장구동축 개발
.....이호원*, 오영석, 강성훈, 이종섭, 신승만, 이재현 / 90
- 가변단면튜브 롤포밍 기술 개발
.....박상언*, 정윤성, 김동범, 이재현, 이문용 / 91

7. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

○ 플라스틱 가공

- 등통로각압축공정을 통한 결정립의 균질한 초미세립화
.....김우열*, 이학현, 김형섭, 서승재, 이재근, 윤태식 / 95
- 고온전사를 통한 초소수성 폴리머 표면 제작
.....문인용*, 이호원, 오영석, 강성훈 / 97
- 결정소성 유한요소 해석을 통한 저방사화강 마이크로필러 압축실험 분석
.....정우진*, 권홍록, 장동찬, 이명규 / 98
- 상변화 마스크를 이용한 나노 리소그래피에 관한 연구
.....성중현*, 김민수, 정명기, 강신일 / 99

○ 경량금속

- 용체화 처리 시간이 Al7075 합금의 성형품 강도에 미치는 영향에 대한 연구
..... 최연택*, 이종섭 / 101
- 마그네슘 합금 판재 동적인장물성의 측정불확도 평가
..... 김민기*, 허훈 / 102
- Mini V-bending 시험 시 Mg합금의 굽힘성에 미치는 이방성의 영향
..... 김민성*, Jaiveer Singh, 이성음, 최시훈, 박준호, 김재중 / 103
- Lightweight Duplex Steel의 일축인장 시 구성상에 발생하는 미소역학적 변형 및 상변태 거동 예측
..... 김은영*, 최시훈, 우완측, 김동규, 곽재현 / 104
- 마그네슘 합금의 인장 거동에 미치는 이차상의 영향
..... 백승미*, 박형근, 이석규, 윤재익, 문지현, 이성학, 김형섭 / 105

8. 특별세션 – 설계기반 미래 성형기술 (제 3 발표회장)

- 비정형롤판재성형 공정 실험과 유한요소해석 결과의 성형성 비교에 관한 연구
..... 길민규*, 박지우, 윤준석, 강범수 / 109
- Numerical Simulation of the Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process: the Sensitivity of FE Results to Various Process and Simulation Parameters..... 하디 기아바클루*, 길민규, 박지우, 김정, 강범수 / 110
- Multi-objective Optimization of Multi-point forming process with Uncertainties
..... 바예 미스가나 아베베*, 강범수 / 111
- Cohesive Zone Model을 이용한 PET 코팅 강판의 박리 예측
..... 윤수환*, 정재봉, 김지훈, 정지용 / 112

9. 일반 논문 발표 (제 4 발표회장)

○ 박판성형

- 미세구조 기반 유한요소해석을 활용한 강재의 구멍 확장성 예측
..... 박시욱*, 정진욱, 김경일, 이명규, 한홍남, 김성일 / 115
- 판상금속재료의 신장플랜지성 지배인자
..... 윤재익*, 정재면, 김형섭 / 116
- 전자기 성형을 이용한 알루미늄 판재와 판재 사이의 기계적 체결 거동
..... 박현일*, 이진우, 이영선, 김대용, 김지훈 / 118
- 금형 변형을 고려한 초고강도 강판의 스프링백 해석
..... 서성현*, 권구관, 김형중, 조준행, 송정환 / 119
- Hydroforming 공정을 이용한 telescopic tube screw 제작
..... 나재현*, 정희석, 한상욱, 문영훈 / 120
- 가변롤성형 시 원형 홀이 판재의 뒤틀림에 미치는 효과
..... 강필규*, 우영윤, 문영훈 / 122

- 핫스탬핑 공정에서 가열조건에 따른 금형 보상
.....심규호*, 박철진, 김병민, 김재홍 / 124
- 알루미늄 합금 판재를 이용한 자동차 히트 프로텍트 부품 개발
.....박동환*, 김진봉, 탁윤학, 이용운, 서준혁 / 125

○ 압출 및 인발

- 소재의 기계적 물성을 고려한 인발 공정 자동 최적설계 프로그램 개발
.....조동혁*, 백인호, 이영석 / 127
- 유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브 압출 금형 설계
.....최병진*, 강성훈, 오영석, 이호원 / 128
- 인발 가공 공정을 이용한 In-situ-MgB₂ 초전도 선재 개발 현황
.....장세훈*, 김효성, 임재덕, 황덕영, 강성훈, 오영석 / 129
- 고강도 초세립 선재 제조를 위한 하이브리드 인발 공정 개발
.....조동혁*, 백인호, 유상빈, 이영석 / 130

○ 압연

- 두방향 두께 편차를 가지는 Tailor Rolled Blanks
.....한상욱*, 우영윤, 황태우, 문영훈 / 131

○ 단조

- 실험계획법을 적용한 라이너 단조 공정의 유한요소해석
.....김용관*, 강경필, 이경훈, 서승재, 이재근, 윤태식 / 133
- 알루미늄 5083 합금을 이용한 블레이드 실린더 루트의 열간자유단조공법에 관한 연구
.....권용철*, 윤영섭, 김상석 / 135
- Ni기 초합금 CEDM Nozzle 개발을 위한 열간 단조공정 해석 및 특성 연구
.....김영득*, 배현나, 박승희 / 136
- Voce 유동응력 모델의 고찰
.....모하마드카스완디라자리*, 이라니 미쌈, 전만수 / 138
- 베어링 외륜 열간단조 중의 결정 진화 예측을 위한 재료상수의 획득 및 실험적 검증
.....이라니 미쌈*, 임수근, 전만수 / 140

10. 특별세션 – 뿌리기술연계 항공부품 제조기술 (제 5 발표회장)

- 뿌리부품연계 항공부품 소재 제조기술 및 발전동향 분석
.....최호준*, 신영철, 김봉환, 정민수, 이정민, 이기영 / 145
- 항공기 재료 및 공정 인증체계에 관한 고찰
.....이은석*, 이강이 / 146
- 항공MRO 사업과 IT 솔루션에 대한 분석
.....김상돈*, 이찬호 / 147

• 항공부품용 고강도 알루미늄 합금 개발	양승윤*, 김봉환, 김세광 / 148
• 항공우주용 대형 빌렛 & 슬라브 제조 시스템 구축	백창현* / 149
• 항공부품용 알루미늄 소재의 단조특성 평가 기술	신영철*, 최호준, 김봉환, 하성호, 정택균, 현승균 / 151
• QPL연계 항공기 유압 시스템용 21,000kPa급 Fitting 개발	정우석*, 김영우, 이동건, 김형익, 이찬주 / 152
• 고성능 PPS prepreg 부품성형 기술	김동연* / 153
• 가스터빈 고온부품 열차폐코팅 기술	이성훈*, 변응선, 유연우 / 154
• 3D 프린팅용 금속분말 제조기술	양상선*, 유지훈, 김용진, 김상권 / 156
• 금속 3D 프린팅 기술개발 동향	최한신* / 158
• 항공산업 3D 프린팅 기술	임수창* / 159
• 금속 3D 프린팅 산업육성 전략	임영목*, 박태규 / 161

11. 포스터 발표 (제 6 발표회장)

• 고Mn 헤드필드(Hadfield)강의 미끄럼마멸과 침식마멸 거동	구본우*, 김용석 / 165
• 6082 알루미늄 주조재 및 압연재의 열간단조 후 시효시간에 따른 조직 및 기계적 특성 변화	전효원*, 서창희, 권태하, 오상균, 전진호, 최현열 / 167
• Ti-6Al-4V 판재의 SPF 공정을 이용한 항공기 부품 성형 기술 개발	김성욱*, 김경환, 이용남, 권용남 / 168
• ECO Mg(with CaO)을 첨가한 고강도 · 고연신 Al-Mg(7,9wt.%) 합금의 미세조직 및 인장 변형 거동	백민석*, 김영균, 이기안, 김세광, 김봉환 / 169
• 가열금형을 사용하는 마그네슘 Z31 합금판재의 전기저항 이중스프팅접	Sun Xiaoguang *, 진인태 / 171
• Al-Si-Cu 합금의 인장 및 마모 특성에 미치는 미세화 원소 첨가의 영향	강연지*, 허준영, 윤상일, 이기안 / 173
• Ti-6Al-4V 합금 판재의 고온 성형 한계에 관한 연구	유동훈*, 이진우, 권용남, 김대용 / 175

• 선체 외판용 자동 열간성형에 관한 연구	이상익*, 박성진, 공형열, 공경열 / 176
• 7xxx계 급 알루미늄 압출재 평가를 위한 미세조직 및 강도 특성 분석	우영호*, 이상용 / 177
• FCEV용 고압 연료 탱크 연결 파이프의 성형형상을 고려한 체결력 해석	이정민*, 박준수, 전문수, 이형욱, 정화정, 추성화 / 178
• 2 차전지용 고밀도 전극 가공 Retainer 변형 및 경향성 분석	김정웅*, 김민호, 신재오, 유관영, 유준일, 서영진 / 179
• 자동차 조향 시스템의 인너 세레이션 중공 샤프트 냉간 성형공정 연구	이상교*, 최호준, 임성식, 신영철, 임성주, 김연구, 신익철 / 181
• 1500MPa 급 강판을 사용한 차량 Sill-side의 롤 포밍 공정 설계에 관한 연구	최선용*, 이종섭, 이상교, 노우람, 김근호 / 182
• 레이저 용융 기술로 적층된 AISI H13 의 고온경도 및 미세 조직 분석	손중윤*, 윤희석, 이기용, 심도식 / 183
• PBF방식으로 제조된 SUS316L 부품의 DED공정 보수 후 인장 특성 분석	오욱진*, 김민섭, 이욱진, 심도식 / 184
• QForm VX를 사용한 헬리컬 롤링 밀의 피어싱 공정 해석	송가형*, 곽호택, Paul Mordvintsev / 185
• Heat plate의 알루미늄 압출 해석	송가형*, 곽호택 / 187
• 조선해양플랜트용 T-bar 벤딩 성형 공정 변수에 관한 연구	홍순곤*, 이진우, 이정환, 윤종현, 공경열, 이상익 / 189
• 알루미늄 온간 U 드로벤딩의 스프링백 예측에 대한 연구	김우진*, 김홍규 / 190
• 자동차 부품의 버링 성형성 향상을 위한 공정변수 최적화	노재동*, 박종규 / 191
• 심한 전단 변형한 강의 특정 우선방위 발달	이철우*, 김인수, 이동녕 / 192
• AA1000 계열 알루미늄의 열간 비대칭 압연	보보무로드*, 이철우, 김인수 / 193
• 열간 비대칭 압연한 AA3000 계열 알루미늄 합금의 집합조직	보보무로드*, 이철우, 김인수 / 194
• 후속 열처리에 의한 Al 7075-T6 합금의 기계적 물성 변화	손영일*, 이석재 / 195
• 마그네슘 합금 판재의 온간 굽힘 공정에서 시간에 따른 스프링백 특성 분석	유제형*, 김현우, 이창환 / 197
• 다단 딥드로잉 공정에서 아이어닝 곡률부 면적 예측에 대한 연구	이창희*, 홍석무 / 198
• 가열조건에 따른 보론강 Al-Si 코팅층의 결합분석	민두식*, 김승현, 권순덕 / 199
• Actuator Ball Nut 냉간 단조 금형 수명에 관한 연구	이윤혁*, 김동환 / 200

- 스프링백 정확성 향상에 관한 연구
.....김승현*, 민두식, 권순덕/ 201
- 오스테나이트계 스테인리스 Forged Ball의 열간 단조 기술 개발
.....이채훈*, 김남용, 이진모, 장희상, 이인환, 김광표, 노현철/ 202
- MART1470 판재 냉간 프레스 성형용 금형 코팅의 마모량 비교
.....손민규*, 윤재웅, 김세호, 송정환/ 203
- SPS 성형된 Bi-Sb-Te 합금의 미세조직 및 열전특성
.....신동원, 이명원, 윤석민, 이태행, 김경식, 구자명, 송기안, 홍순직 / 204
- 압출 가공된 Al-Si 합금의 미세조직 및 기계적 특성
.....안수성, 구자명, 유현정, 홍순직, 송기안, 백창현 / 205

1. 초 청 강 연

이속압연법을 통한 결정립 미세화

- 고영건 교수(영남대학교) -

볼트형 하중센서를 이용한 제조
공정의 가시화

- 김수영 박사(주)야마나가 -

이속압연법을 통한 결정립 미세화

고영건^{1, #}

Nanostructuring by Differential Speed Rolling

Young Gun Ko

Abstract

In the recent years, considerable research has been devoted to the development of nanostructured grain metallic materials fabricated by various severe plastic deformation techniques. Among these techniques, a differential speed rolling (DSR) has considered the continuous forming method where bulk sheet materials went through two identical rolls with different speeds of the rolls, imposing intense plastic straining effectively based on the shear deformation. The presentation describes the principles of DSR process including strain imposed by DSR, processing routes, and macro-shear characteristics associated with the processing routes, and this also outlines the processing factors affecting grain refinement, such as thickness reduction, rolling speed, roll speed ratio, number of operations, and rolling temperature. The essential features of the resultant microstructural variables including the grain size, grain boundaries, deformation textures, and dislocation density developed in materials with bcc, fcc, and hcp crystals deformed by DSR process are also summarized. In addition, the structural properties of materials processed by DSR including strength, hardness, and ductility at room and elevated temperatures are reviewed.

Key Words : Metal, Differential Speed Rolling, Nanostructured Grain, Mechanical Response

서론

전세계적인 이산화탄소 규제와 더불어 수송기기의 연비향상에 대응하기 위한 소재 경량화에 관한 많은 연구결과들이 보고되고 있으며, 특히 강소성 변형을 통해 금속소재에 극심한 변형을 부과함으로써 초미세 결정립 제어를 통한 기계적 특성을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 종래 소성가공의 연속성과 기계적 물성을 향상시킬 수 있는 전단가공의 장점을 결합한 이속압연법을 적용하여 결정립 미세화 현상에 관해 연구하였다.[1,2]

감사의 글

본 연구는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 나노소재기술개발사업의 나노팹시설활용지원사업의 지원을 받아 수행하였기에 감사드립니다. (# 2009-0082580)

참고문헌

- [1] Y. G. Ko, 2016, A Cross-Shear Deformation for Optimizing the Strength and Ductility of AZ31 Magnesium Alloys, Sci. Rep., Vol. 6, p. 29954.
- [2] Y. G. Ko, 2018, Structural Features and Mechanical Properties of AZ31 Mg Alloy Warm-Deformed by Differential Speed Rolling, J. Alloy. Compd., Vol. 744, pp. 96-103.

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

볼트형 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화

김수영[#]

Visualization of Manufacturing Process Using Bolt Type Piezo-sensor

S. Y. Kim

Abstract

The objective of this study is to introduce the new possibility of sensing technology based on the bolt type piezo-sensor proposed by Technical University of Darmstadt to visualize and monitor the status of manufacturing process in mass production. Several application examples including the closed-die cold forging process were introduced in order to explain the effectiveness of proposed sensing technology.

Key Words : Bolt type piezo-sensor, Visualization, Process monitoring, Forging process, Machining process

1. 서론

정보통신기술의 비약적인 발전과 함께, 최근 IoT (Internet of Things)와 4차산업혁명(Industrie4.0)으로 대표되어지는 새로운 개념을 도입한 제조 공정 혁신에 대한 기대가 한층 높아지고 있다. 이러한 제조 공정 혁신의 구현을 지향한 기술 개발을 지원하는 요소 기술의 하나로 중요하게 여겨지고 있는것이 센서를 이용한 계측 기술이다. 제조 설비 및 관련 장치에 대한 센서 적용 요구가 높아짐에 따라, 성능과 내구성을 겸비하면서도 센서 설치를 위한 설계 변경을 최소화하는 편의성을 갖춘 센서 제품에 대한 관심이 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 독일의 벤처기업이 개발한 볼트형 압전식 하중센서를 소개하고 이를 활용한 제조 공정의 가시화 방안에 대하여 구체적인 적용 사례에 기반하여 설명하였다.

2. 볼트형 하중센서를 사용한 가시화방법

본 연구에서는 독일의 다름슈타트 공과대학 (TU Darmstadt)에서 개발한 Sensoric Fastener Technology^{1), 2)}에 기반하여 ConSenses사가 제품화³⁾한 볼트형 압전식 하중센서 PiezoBolt를 사용하였다. PiezoBolt의 외관을 Fig. 1에 기재하였다. 본 센서는 압전소자를 이용한 고감도 센서 유닛을 통상적으로 사용되는 볼트의 내부에 장착하여, 볼트의 하중 변화를 민감하게 계측할 수 있도록 설계되어진 제품이다. 소성가공에 기반한 기계적 접합방법을 이용하여 센서 유닛을 장착하기 때문에, 일반적인 볼트와 동일한 방식으로 사용 가능한 내구성을 가지며, 기존의 볼트를 대신하여 사용 가능하기 때문에 센서 적용을 위한 설계 변경을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Fig. 2에는 본 센서를 사용한 제조 공정의 가시화의 개념을 설명하였다. 제조 공정 중 볼트가 경험하고 있는 하중의 변화를 가시화 하여 모니터링 함으로 인해, 양호한 생산조건에 대한 차이를 평가하여 공정중의 이상 유무를 판단하는 것이 가능하다.

[#] 교신저자: Yamanaka Eng Co., E-mail: sykim@yamanaka-eng.co.jp



Fig. 1 Exterior of PiezoBolt and connector

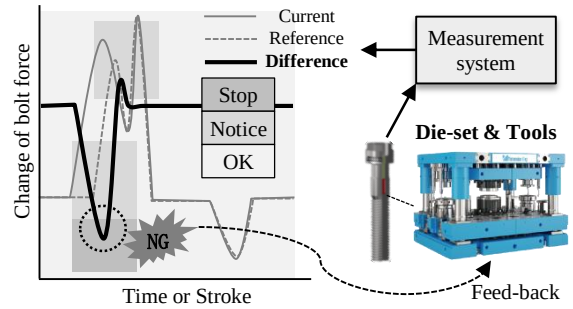


Fig. 2 Concept of monitoring using PiezoBolt

3. 적용 사례

본 연구에서는 냉간 폐쇄단조 공정용 다이세트의 상태를 가시화 하기위하여 볼트형 압전식 하중센서를 적용한 사례를 소개한다. 다이세트 외측 가이드포스트 접합부, 상하 동기 (synchronization) 장치 접합부, 상하 금형의 스페이서 고정 볼트, 상하 금형 외측 탄성변형 가시화를 위한 링형 측정장치 등, 총 20개의 센서를 적용하여 양산 공정시의 볼트 하중의 변화를 가시화 하였다. Fig. 3에 다이세트의 형상 및 센서 적용 내용을 포함한 계측 조건 및 주요 계측 결과를 기재하였다. 양산 공정중의 폐쇄하중의 변화 추이, 가이드포스트의 변형 모드, 금형 외측의 탄성 변형 추이 등, 공정의 상태를 평가하는데 있어서 유용한 정보의 가시화가 가능함을 확인할 수 있다.

Closed-die Cold Forging Die-set

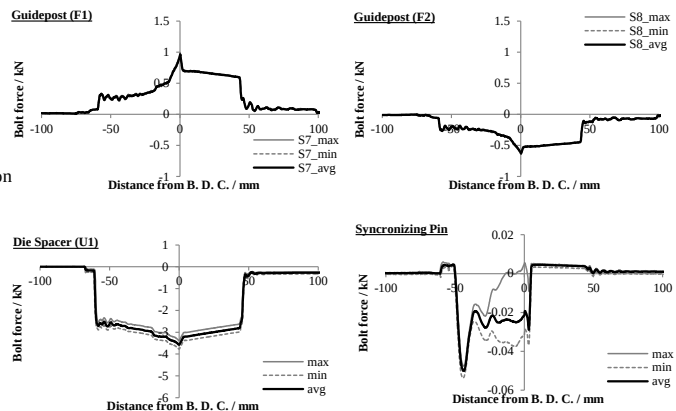
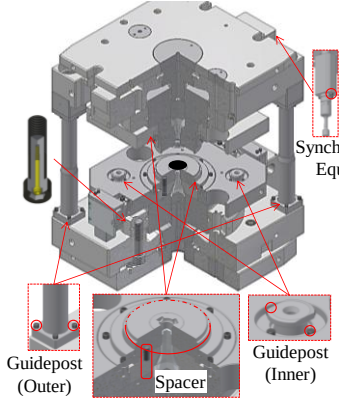


Fig. 3 Application of PiezoBolt in closed-die cold forging process

4. 결론

본 연구에서는 볼트형 압전식 하중센서를 이용한 제조 공정의 가시화 및 이를 이용한 모니터링 사례를 소개하였다. 향후 제조 공정 전반과 산업 인프라 분야 등에서 폭넓게 활용되어 지기를 기대하는 바이다.

참고문헌

- [1] P. Groche, M. Brenneis, Measurement, 53 (2014) 136-144.
- [2] P. Groche, M. Brenneis, DE-20121005614-A1, 2012-03-22.
- [3] J. Stahlmann, M. Brenneis, New Development in Forging Technology 2017, (2017) 257-266.

2. 특 별 세 셴

체결공정의 시뮬레이션
(제 1 발표회장)

핀치볼트요크 냉간단조 펀치의 파손에 대한 원인 분석

송하늘^{1,2}, 황태민¹, 김광민¹, 이운학¹, 변종복², 전만수^{2*}

Causes of premature punch fracture in automatic multi-stage cold forging of a pinch bolt yoke

H. N. Song, T. M. Hang, K. M. Kim, U. H. Lee, J. B. Byun, M. S. Joun

Abstract

In this paper, causes of premature fracture of punch in automatic multi-stage cold forging of a pinch bolt yoke is analyzed using an elastoplastic finite element method with elastic deformation of dies considered. The comparison between predictions and experiments exhibits a qualitatively good agreement with each other, revealing that the die fracture is a kind of fatigue fracture due to repetitive stresses in tension after compression..

Key Words: Cold forging(냉간단조), Die Fracture(금형 파손), Elastoplastic Finite Element Analysis(탄소성 유한요소해석), Pinch Bolt Yoke(핀치 볼트 요크)

1. 서론

소성가공 중 금형 수명은 생산성과 가격 경쟁력을 좌우한다. 최근 자동화 및 자동다단단조의 적용 확대와 함께 금형 수명의 과학적 예측과 적절한 관리가 산업 현장에서 핵심적 문제로 부각되어 왔다. 소성가공에서 금형의 파손 원인으로 마모, 소성변형, 파괴 등이 대표적이다. 열간단조에서 금형의 주 파손 원인은 마모인 반면, 냉간단조에서 금형의 수명은 금형 파괴가 지배적이다[1].

금형의 파손에 관한 연구는 유한요소법의 적용과 함께 다방면에서 연구되었다. 그러나 제품의 변형 형상이나 성형하중의 예측 결과에 관한 고신뢰도에도 불구하고, 적용 관점에서 금형의 구조해석 및 수명은 아직도 연구의 대상이 되고 있다. 그 원인은 해석기술이 실제의 상황을 충분히 표현하는데 미흡했던 점에 그 원인이 있다.

단조 시뮬레이션 기술은 꾸준히 발전하고 있으며, 특히 실제의 공정설계 상의 금형을 표현하고, 금형의 변형을 고려할 수 있는 실용적인 기술들이 개발되었다 [2, 3]. 따라서 현장에서 해석기술에 바탕을 둔 경험 기술과 실험 결과를 체계적으로 분석하고 추적할 수 있는 기반이 마련되었다. 그러므로 금형 수명 예측과 수명연장에 대한 재료학적, 기계공학적인 연구가 실용적 차원에서 가속될 전망이다.

이 논문에서는 자동다단냉간단조 중 발생한 자동차 조향장치용 핀치볼트요크의 펀치 파손에 대한 원인을 금형 변형을 고려한 탄소성 유한요소법

[2]을 이용하여 규명하고 그 해결책을 모색한다.

2. 금형의 파괴에 원인 분석

연구 대상의 공정은 2단으로 구성되며, Fig. 1에 공정도를 나타내었다. 이 설계로 핀치볼트요크의 자동다단냉간단조 중, 제2단에서 펀치는 평균 7000개의 제품 생산 후에 파괴되었다. 그 대표적인 파괴 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 붉은색 원안에 미세한 실선으로 파괴된 것을 확인할 수 있다.

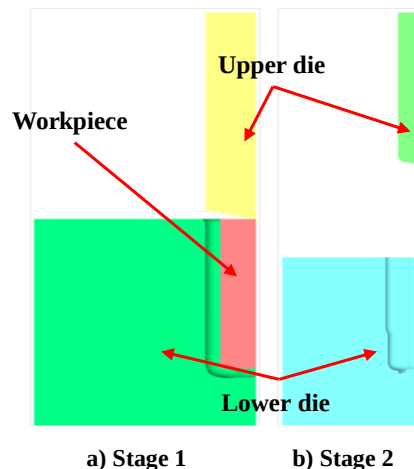


Fig. 1 Concept of process design

1. (주) 성진포머
2. 경상대학교 기계항공공학부
교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

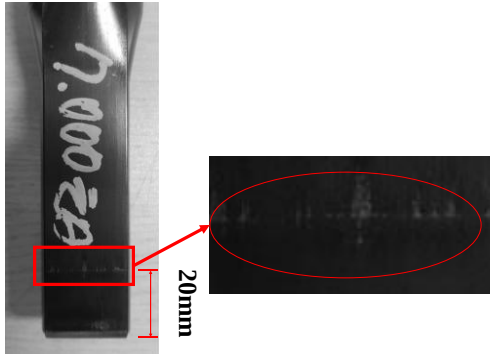


Fig.2 Fractured punch

원인 규명 목적으로 단조 시뮬레이션을 실시하였다. 해석모델에서 온도와 재료의 속도의존성을 무시하였다. 해석에 사용된 소재의 유동응력식은 $\bar{\sigma} = Y_0(1 + \frac{\dot{\epsilon}}{b})^a$ 이며, 재료상수는 $Y_0 = 300 \text{ MPa}$, $a = 0.206$, $b = 0.012$ 이다. 재료가 비속도의존성이므로 해석에 사용된 펀치의 속력을 1.0으로 간주하였다.

윤활유 분위기에서 단조가 행해지고 윤활막이 잘 입혀진 소재를 사용하므로 마찰계수를 0.025로 가정하였다. 소재의 탄성계수와 포아송비는 각각 199.9GPa와 0.29이고, 상형과 하형의 탄성계수 및 포아송비는 각각 200GPa와 0.3 및 679.9GPa와 0.25 이다.

Fig. 4(a)는 펀치가 하강 운동을 종료하고 펀치가 상승하기 시작하는 시점에서 작용하는 응력성분 σ_{yy} 를 나타내고, Fig. 4(b)는 펀치가 상승하고 몇 스텝후에서 발생하는 응력성분 σ_{yy} 의 분포를 나타내고 있다.

Fig. 3는 Fig. 4에서 표시된 점 A에서의 응력변화를 나타낸 그래프이다. 펀치가 소재를 성형하는 중에는 비교적 고른 분포의 압축응력이 작용하지만, 펀치가 상승을 시작할 무렵의 응력성분 σ_{yy} 는 인장상태로 바뀐다. 이 인장응력이 발생하는 지점과 파단 지점의 위치가 일치하고 있다. 그리고 펀치가 상승하는 가운데에서도 금형 사이에 존재하는 버와 스프링백에 의하여 충격적인 인장응력이 주기적 또는 비주기적으로 작용한다. 그러나 그 크기가 항복강도보다 충분히 작기 때문에 인장응력 그 자체가 파단의 원인은 아니며, 반복적인 고압축응력과 인장응력의 작용이 피로파괴의 직접적으로 원인으로 사료된다.

3. 결론

이 연구에서는 펀치볼트요크의 자동다단냉간단조 중에서 발생한 금형의 조기 파손의 원인을 금형의 탄성변형을 고려한 탄소성 유한요소법을 이용하여 규명하였으며, 개선을 위한 몇 가지의 설계 후보에 관한 분석을 실시하였다.

파단은 펀치의 하부에서 발생하였으므로 굽힘변형에 의하여 발생했을 가능성은 작다. 반면, 압축응력과 인장응력의 반복적 작용에 의한 피로 파괴

로 판단되었다.

이 문제의 해소를 위한 다양한 금형 형상에 관한 해석적 연구가 실시되어야 한다.

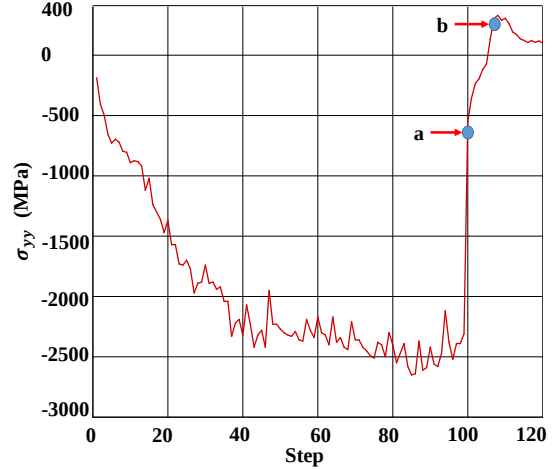


Fig.3 Stress variation of mark A

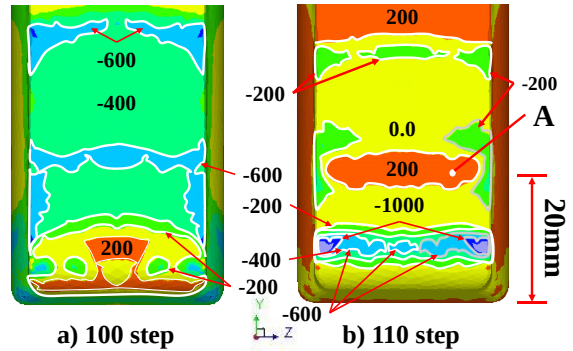


Fig.4 Distribution of σ_{yy} at unloading [MPa]

후기

본 연구는 중소벤처기업부 WC300 (과제번호: S2367820)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] R. Sekar, M. S. Joun, 2017, Die life prediction in hot forging, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 62~63.
- [2] W. J. Chung, M. S. Joun, 2013, Elastoplastic module of AFDEX 2D, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 57~60.
- [3] H. T. Jin, M. C Kim, D. S. Min, T. M. Hwang, M. S. Joun, 2016, Precision analysis of a yoke forging process considering elastic deformation of dies, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 147~148.

셀프피어싱 리베팅 공정의 탄소성 유한요소해석

정승원¹·엄재근¹·정석환¹·전만수[#]

Elastoplastic finite element analysis of a self-piercing riveting process

S. W. Jeong, J. G. Eom, S. H. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, an elastoplastic finite element approach to simulating a self-piercing riveting process is presented. A scheme of remeshing with emphasis on the tip of the rivet is given, which minimizes the geometric smoothing of the contact interface between materials and densifies the mesh around the tip corner of the rivet and its effect is revealed.

Key Words : Self-piercing riveting (셀프피어싱 리베팅), Elastoplastic finite-element analysis (탄소성 유한요소해석)

1. 서론

다물체 공정으로 대표적인 공정이 셀프피어싱 리베팅 공정이다[1, 2]. 이 공정은 이중 소재끼리 접촉하면서 변형되는 것은 물론이고 하나의 소재가 다른 소재를 분리하는 현상도 발생한다. 따라서 기능적으로 매우 복잡한 문제에 속하며, 특히 요소망재구성에 따른 접촉형상의 변화, 특히 강한 소재의 일종의 순화의 발생은 변형 패션을 근본적으로 변화시킬 수 있다. 물론 체결 공정의 특성상 탄소성 유한요소법이 사용되어야 하지만, 해의 수렴성 확보에 어려움이 따른다. 이런 이유로 셀프피어싱 리베팅 공정에 관한 대부분의 해석 결과가 실험 결과와 분명한 차이를 보이고 있다 [1].

이 연구에서는 탄소성 유한요소법과 셀프피어싱 리베팅 목적으로 개선된 요소망재구성 기법을 적용함으로써 진전된 공정 해석 결과를 제시한다.

2. 다물체 공정의 유한요소해석

Fig. 1에 해석 대상의 셀프피어싱 리베팅 공정을 나타내었다. 이 공정의 특징은 가이드 플레

이트가 일정한 크기의 예압(1000N)을 가하고 있으며, 펀치에 의하여 리벳을 아래로 밀어서 두 겹의 판재의 일부를 관통시켜 결합한다는 것이다. 이런 과정에서 상판이 분리될 수 있고, 잦은 요소망재구성은 불가피하다. 요소망재구성은 필연적으로 접촉면의 인위적 변화를 초래한다. 물론 접촉면의 인위적 변화를 최소화해야 하고 특히 리벳 선단의 형상 변화에 유의해야 한다. 가장 바람직한 것은 리벳의 요소망이 적절하여 요소망을 실시할 때, 리벳 부분만 제외시키는 방법이다. 만약 아무런 조치가 없는 상태에서 판재와 동일한 조건으로 리벳을 처리하게 되면, 리벳의 선단이 인위적으로 변경되어 리벳 선단부의 역할을 충실히 수행할 수 없으며, 판재를 관통할 때 관통의 방향에 큰 영향을 미친다.

이 연구에서는 요소망재구성에 따른 소재 간의 간섭을 처리할 때, 강한 소재, 즉 리벳의 형상 변화를 최소화시키는 기법을 적용하였다. 대신 리벳 자체의 요소망의 양호 여부를 떠나서 무조건 동시에 전체 요소망재구성을 실시하였다. 그리고 결과의 신뢰성 향상을 위하여 리벳 선단의 요소밀도 제어절점을 중심으로 하는 일정한 크기의 원 내부에 속하는 영역의 요소망을 조밀하게 생성시켰다. 이 요소망 제어절점은 추적된다. 해석정보는 참고문헌 [2]의 공정과 동일하다.

1. ㈜엘에프알씨

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

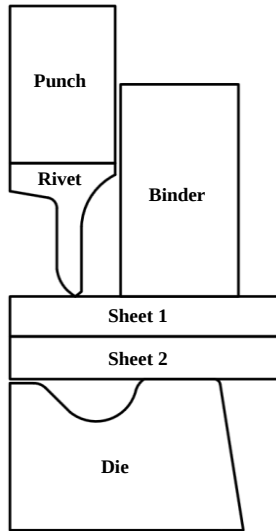


Fig. 1 Definition of the test process

Fig. 2는 셀프피어싱 리베팅 공정의 해석결과로써 변형이력을 나타낸다. Fig. 2의 리벳 선단부를 중심으로 확대된 종료 시점에서의 형상에서 보는 바와 같이, 선단부의 형상은 초기의 형상을 정성적으로 유지함을 알 수 있다. 완만해진 모서리는 소성변형을 추적한 결과 소성변형에 기인하는 것으로 확인되었다. Fig. 3은 펀치 제거 후의 유효응력을 나타낸다. Fig. 3(b)의 잔류응력은 구조물의 견고함을 좌우하므로 조립공정 설계에서 중요시된다.

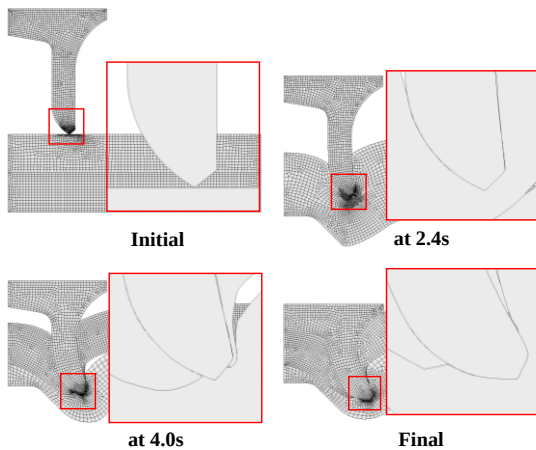
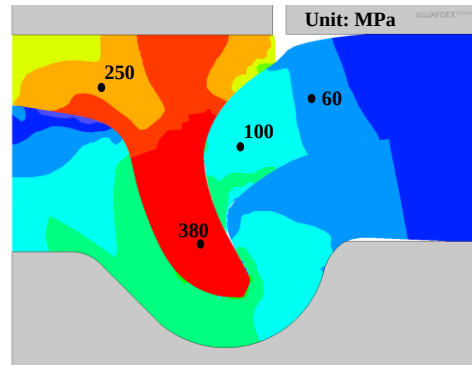
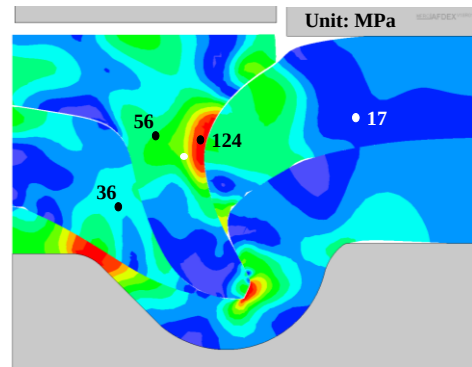


Fig. 2 History of plastic deformation



(a) At the final stroke (MPa)



(b) Residual stress (MPa)

Fig. 3 Predictions of effective stresses

3. 결론

이 연구에서는 잔류예측을 목적으로 셀프피어싱 리베팅 공정에 관한 탄소성 유한요소해석을 실시하였으며, 해석 정확도의 향상을 위한 요소망재구성 기법을 제시하였다. 셀프피어싱 리베팅에서 리벳 선단의 중요성을 감안하여, 요소망재구성 중 그 선단의 형상 변화 및 그 주위의 요소밀도에 유의하였다. 이 기법의 효과를 선행 연구 결과와의 비교를 통하여 확인하였다.

참고문헌

- [1] Mori, K., Kato, T., Abe, Y., Ravshanbek, Y., 2006, Plastic joining of ultra high strength steel and aluminium alloy sheets by selfpiercing rivet., Annals of the CIRP, 55, 283~286.
- [2] S. H. Jo, S. W. Jeong, M. S. Joun, 2013, Finite-element analysis of a self-piercing riveting process, KSME Spring Meeting 2012, 324~327.

항공기용 리벳팅 공정의 시뮬레이션과 결과의 검증

R. Sekar¹ ·정완진² ·전만수[#]

Simulation of a riveting process for aircraft applications and its verification

R. Sekar, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, axisymmetric FE analysis of a riveting process is presented. Two 2 mm thick 2024 – T3 Al alloy sheets are joined using a 2117 – T4 Al alloy countersunk type rivet. This process has been chosen as it widely represents processes used in the aircraft and aviation industry. An elasto-plastic FE simulation was carried out and the predictions were compared with experimental values. It was observed that the FE predictions matched very well with experiments. This analysis methodology could be effectively used for other similar riveting processes.

Key Words : Riveting process, elasto-plastic FE simulation, axisymmetry, aircrafts, Al alloy sheets

1. Introduction

Riveting processes are widely used in aviation industries and play a key role in the assembly of aircraft structures. Simplicity, low cost and ease of application are some factors which have made riveting process expand its application spectrum to other branches of industry [1] as well. Countersunk rivets, the topic of investigation in this paper, are usually used in regions where the surface finish after riveting is very important. They are also used in the exterior of aircrafts as these rivets result in lesser drag. Fig.1 shows one of the areas where countersunk rivets are used in an aircraft.



Fig 1. Countersunk rivets on the engine pylon of a Boeing 737 aircraft

In this paper, FE analysis methodology for a

countersunk type riveting process is presented and the predictions are verified with experiments.

2. FE Simulation

The riveting process is carried out by pressing the rivet shank by a rigid rivet setter. The head of the rivet is constrained with a rigid bucking bar. The sheets to be riveted are each 2mm thick 2024 -T3 Al alloy material. The rivet is of countersunk type as seen from Fig.2 and the material is 2117 – T4 Al alloy. Generally, the diameter of the hole in the sheets is slightly larger than the rivet to accommodate the rivet shank's expansion during the process. The material properties and geometries have been used from [2] to facilitate comparison and verification. A coulomb friction coefficient of 0.2 was used for the simulation.

Fig.3 shows snapshots at two instances during the simulation. The elastic deformation was also included in this simulation for both the rivet as well as the sheets. Around 7200 quadrilateral elements were used for discretization of the two sheets and the rivet.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

경상대학교 기계항공공학부

E-mail:msjoun@gnu.ac.kr

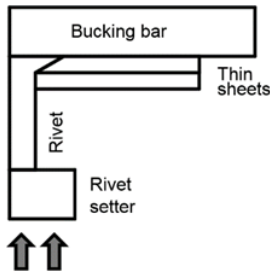


Fig 2. Initial configuration

Flow stress was calculated based on

Rivet: $\bar{\sigma} = 544.0 \varepsilon^{0.23}$ MPa

Sheets: $\bar{\sigma} = 765.0 \varepsilon^{0.14}$ MPa

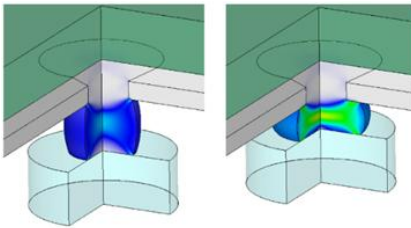


Fig 3. 3D representation of the simulation

3. Verification

The results of the axisymmetric FE analysis are discussed and then compared with ABAQUS predictions and experiments. The parameters of comparison are shown in Fig. 4.

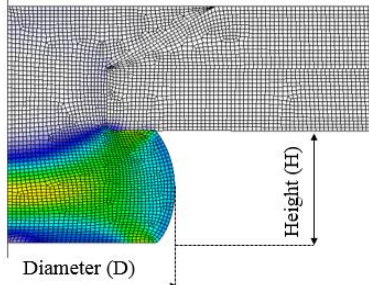


Fig 4. Parameters for comparison

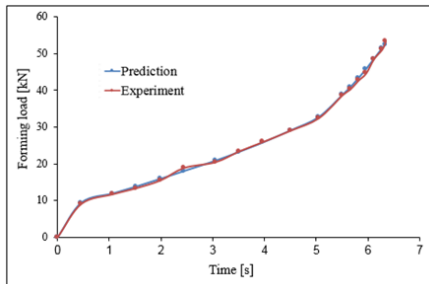


Fig 5. Forming load prediction vs. experiments

As can be seen from the quantitative comparison in Table 1, the predictions match well with experiments. Fig.5 highlights the comparison of the forming load predictions with experiments. The difference in forming load of around 1.36% is inevitable owing to some numerical approximations. As reported in literature [1], it was observed that the friction coefficient had least impact on the final shape of the rivet or forming load. Even though identical geometry, material conditions and almost same number of elements were used, a small difference in predictions between two commercially available software can be noticed. As already reported in literature [3], this difference arises from the definition and formulation of friction conditions.

Table 1 Predictions versus experiments (Exp.)

Parameter	AFDEX	ABAQUS	Exp.	AFDEX vs. Exp.	AFDEX vs. ABAQUS
Diameter (D) [mm]	10.87	10.61	10.79	0.73 %	2.39 %
Height (H) [mm]	3.49	3.48	3.49	0.07 %	0.29 %
Forming Load [kN]	52.65	53.37	53.38	-1.36 %	-1.35 %

4. Summary

An axisymmetric elastoplastic FE analysis of the countersunk riveting process was carried out. The predictions are very well in agreement with the experimental results upon quantitative comparison. So, in the near future, this analysis methodology could be used for simulating other riveting processes which produce blind rivets or standard head rivets.

References

- [1] Witek. L, 2006, "Numerical Simulation of riveting process using blind rivet", Aviation, 10:2, 7-12.
- [2] Amarendra. A, 2006, "A Finite element and experimental investigation on the fatigue of riveted lap joints in aircraft applications", Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technology
- [3] Hatzenbichler. T, 2011, "Deviation of the results obtained from different finite element solvers due to friction formulation", Tri.Int. Vol. 49, pp. 75~79

항공기용 튜브 및 피팅 조립용 네킹공정의 축대칭 탄소성 유한요소해석

한월영¹·유재동¹·김형익²·전만수[#]

Axi-symmetric elastoplastic FE analysis of a necking process of assembling tube and fitting for aircraft application

Y. Y. Han, J. D. Yoo, H. I. Kim, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a necking process of joining titanium fitting and tube with seals for aircraft assembly is simulated using an elastoplastic finite element and its predictions are compared with the predictions and experiments found from the literature, revealing that our predictions are in a qualitative agreement with them. The interface pressures and separation resisting forces of the assembly are also predicted to evaluate the joining process design in terms of strength.

Key Words : Tube and Fitting Assembling (튜브와 피팅의 조립), Necking Process (네킹공정), Elastoplastic FEM (탄소성 유한요소법)

1. 서론

소성가공 공법에 의한 부품의 조립이 널리 행해지고 있다. 품질 및 가격 면에서 유리한 면이 있다. 소성가공 공법에 의한 조립 공정 및 관련 부품의 설계는 경험에 의존하고 있으며, 최적설계가 이루어지지 않기 때문에 과도한 안전 설계가 일반화되어 있을 것으로 판단된다.

조립공정에서 금형 또는 공구가 분리되고 난 이후의 잔류응력은 중요하다. 특히 고압이 작용하는 항공용 튜브 연결 부위에 작용하는 두 부품 간의 압력과 분리 저항력은 조립공정 설계시에 고려해야 할 주요 기술적 요소이다. 그러나 잔류응력에 기인하는 접촉면에 작용하는 압력을 수계산에 의존한 해석적 방법이나 실험에 의존하여 측정하는데는 많은 어려움이 따른다.

그러므로 조립공정 이후의 잔류응력 예측이 중요하다. 최근 해석기술, 특히 다물체의 해석기술이 발전하였고, 탄소성해석 기술이 발전함으

로써 실공정 조건을 고려한 조립공정의 해석이 가능해졌다. 최근 문신혜[1]는 항공기용 튜브와 피팅을 결합하기 위한 네킹 공정에 관한 수치적 연구를 ABAQUS를 이용하여 실시하였다.

이 연구에서는 AFDEX의 탄소성 유한요소해석 기능을 이용하여 동일한 공정에 관해서 수치적 연구를 실시하여 그 결과를 비교 검토한다.

2. 피팅공정의 시뮬레이션 및 결과의 토의

Fig. 1은 피팅 공정의 형상 정보를 나타낸다. 튜브와 피팅 부품을 반경방향으로 움직이는 유연 금형 또는 공구, 즉 가변 형상 금형을 이용하여 잘록한 영역을 생성시킴으로써 두 부품을 연결하는 공정이다.

가변 형상 금형의 특징은 네킹 공정 종료 시점에 이르면, 빈공간이 없는 원통 형상으로 변한다는 점이다. 문신혜 등[1]은 강체의 조각 금형이 반경방향으로 움직이면서 튜브 재료를 잘록하게 하는 일종의 단행정 반경단조로 간주하여 3차원 해석을 실시하였다. 이 가정은 효과적이지만, 3차원 해석을 전제로 하며 소재의 반경 변화에 따른 기술적 문제를 야기할 수 있다.

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

이 연구에서는 개념설계 및 최적설계에 유리한 축대칭 공정으로 간주하였다. 유동응력은 문신혜 등[1]이 실시한 인장시험 결과를 이용하여 AFDEX MAT[2]을 이용하여 획득되었다. 그 이외의 공정 및 해석 정보는 문신혜 등[1]이 사용한 것과 동일하다. 문신혜 등[1]은 실(seal)을 고려하지 않았지만, 이 연구에서는 수치적 안정성을 위하여 실(seal)을 튜브 및 피팅 소재보다 항복응력이 매우 작지만 실제보다 다수 큰 가상의 소재로 가정하였다.

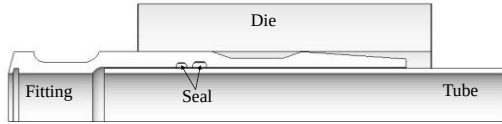
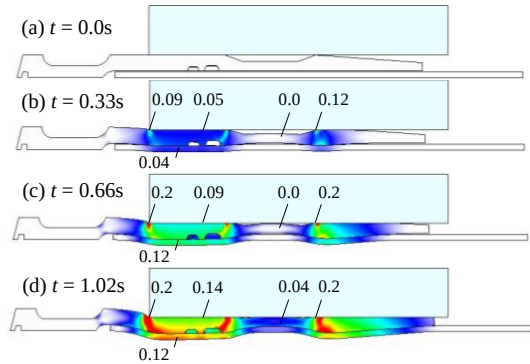
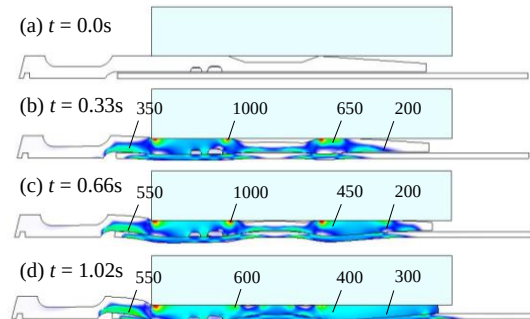


Fig. 1 Geometric information of the process

Fig. 2(a)에 변형이력에 대한 해석 결과를 나타내었으며, 정수압의 상태를 Fig. 2(b)에 나타내었다. Fig. 3은 조립체로부터 피팅을 분리하는 시험을 해석한 것이다. 최대 분리력은 일정 스트로크에서 수렴하는 특징을 나타내고 있다.

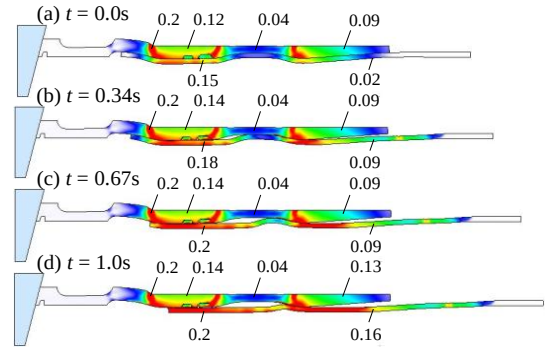


(a) History of deformation with effective strain

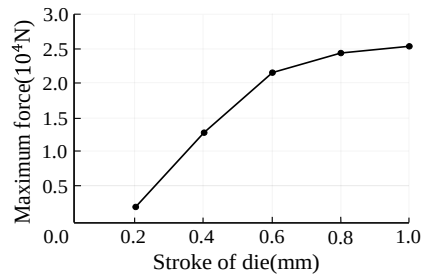


(b) Hydrostatic pressure (MPa)

Fig. 2 Predictions of the necking process



(a) History of deformation with effective strain



(b) Maximum separation resisting force

Fig. 3 Prediction of separation of fitting

3. 결론

이 논문에서는 항공용 튜브와 피팅을 연결하기 위한 네킹공정을 축대칭 가정 하에 탄소성 유한요소법을 이용하여 해석하였으며, 잔류응력과 접촉응력을 고려한 상태에서 분리 저항력을 해석하였다. 해석결과는 문신혜 등[1]에 의해 실시된 선행연구 및 실험결과와 정성적으로 부합하는 것으로 사료된다.

후기

이 연구는 중소기업청의 WC300 프로젝트 기술개발지원사업(과제번호: S2415560)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] S. H. Moon, H. I. Kim, S. Y. Lee, M. C. Park, C. J. Lee, H. H. Ahn and J. W. Jung, 2016, A Study on external swaging mechanism for the aircraft fitting, KSPE.2016(10), 380-381.
- [2] 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. Mechanics of Material, 40, 586-593.

허브 조립체의 조립용 회전단조 공정의 시뮬레이션

유재동¹ · 김민철² · 문호근² · 전만수[#]

Simulation of a rotary forging process of an assembling hub bearing assembly

J. D. Yoo, M. C. Kim, H. K. Moon, M. S. Joun

Abstract

In this study, residual stress after the assembly process of hub bearing assembly by rotary forging is predicted by elastoplastic finite element. An analysis model is proposed; lower part of the material is fixed with relative motion of material with bearing parts to rotary tool kept. The bearing part is assumed elastic and the effect of elastic deformation on the process simulation is considered while the rotary tool is assumed rigid.

Key Words : Hub Bearing Assembly(허브 베어링 조립체), Rotary Forging (회전단조), Residual Stress (잔류응력)

1. 서론

허브베어링 공정의 조립에서 예압은 품질과 부품의 수명에 큰 영향을 미치므로 중시되고 있다. 허브베어링 조립체는 회전단조 공법에 의하여 조립되고 있다. 이 경우, 효과적으로 예압을 부과할 수 있고, 품질의 안정화도 이룰 수 있지만, 공정의 최적설계 및 제어가 필수적이다[1].

따라서 성형중 베어링 부품에 작용하는 최대응력과 베어링 내외륜에 작용하는 잔류응력을 예측하기 위한 해석 기술은 중요하다. 허브베어링 조립공정은 점진성형 공법에 의존하므로 해석 시간과 역학적 복잡성 등으로 인하여 해석 결과의 적용성과 신뢰성 향상을 위한 지속적 연구가 필요하다[2].

이 연구에서는 선행연구[1, 2]에서 사용된 공정과 동일한 허브베어링 조립체의 조립 공정에서 발생한 잔류응력을 예측한다.

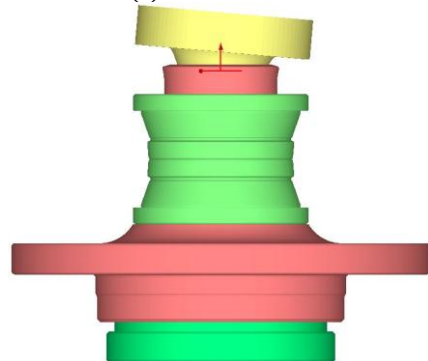
2. 허브베어링 조립체의 조립 공정, 회전 단조 공정의 유한요소해석

Fig. 1(a)는 허브베어링 조립체의 단면이며,

Fig. 1(b)는 해석모델이다. 베어링 내륜은 탄성변형을 받는 금형으로 간주하였다.



(a) Cross-section



(b) Process modeling

Fig. 1 Definition of the process to be studied

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. MFRC

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

Fig. 2 에 유한요소 해석모델을 나타내었다. 소재는 변형 구간만 조밀요소를 사용하였으며, 지지대 부위의 소재는 조대한 요소망을 사용하였다. 지지대 부근의 절점의 자유도는 구속시켰다. 소재와 금형 간의 상대속도를 유지하는 조건으로 소재를 고정시키고 금형을 회전시켰다. 상부의 회전 금형은 공회전하는 것으로 가정하였다. 즉, 마찰 또는 동력원으로부터 동력 전달이 없는 것으로 가정하였다. 소재를 고정시킨 이유는 소재의 회전에 따른 수치적 부정확성의 문제를 배제하기 위한 것이다.

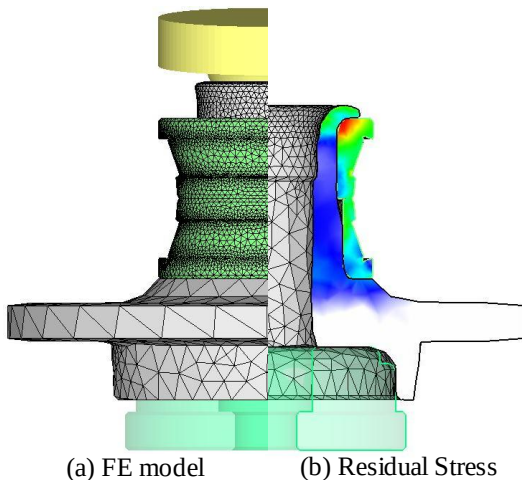


Fig. 2 Finite element model and residual stress

Fig. 3 에 해석결과를 나타내었다. Fig. 3(a) 는 변형률을 나타내며, Fig. 3(b)는 소재와 베어링 내륜에 작용하는 잔류응력을 나타낸다.

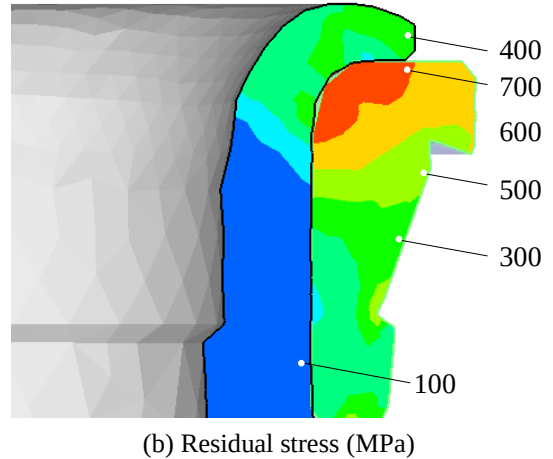
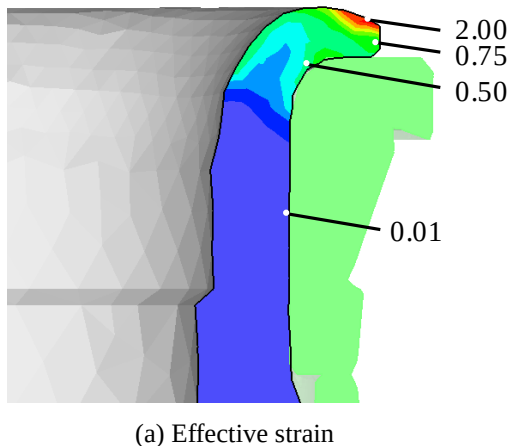


Fig. 3 Predictions of the rotary forging process

3. 결론

이 연구에서는 허브베어링 조립공정 완료 후에 잔류하는 응력, 즉 잔류응력을 예측하기 위하여 허브베어링 조립체의 조립공정을 탄소성 유한요소법을 이용하여 해석을 실시하였다.

베어링 내륜을 탄성적으로 변형되는 것으로 간주하였으며, 성형 중 금형 및 베어링 부품에서 발생하는 탄성 변형을 소재의 변형 해석에 반영하였다.

참고문헌

- [1] H. K. Moon, M. C. Lee, M. S. Joun, 2007, An approximate efficient finite element approach to simulating a rotary forming process and its application to a wheel-bearing assembly, Finite Elem. Anal. Des., Vol. 44, pp. 17~23.
- [2] M. H. Choi, M. C. Kim, C. H. Nam, M. S. Joun, 2013, Finite element analysis model of rotary forging for assembling a hub bearing assembly, KSTP Spring Meeting 2013, pp. 167-170.

다단 정밀 중공 튜브 제품의 스웨이징 공정 해석

문호근¹·정성훈²·이희원²·정완진³·전만수[#]

Finite element analysis of a swaging process of precision stepped hollow shaft

H. K. Moon, S. H. Chung, H. W. Lee, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, finite element analysis of a five-stage swaging process of precision stepped hollow shaft is conducted. A pusher, an artificial die, is employed to reflect the reaction force exerted on the material by the end grip and it is used to control the initial position of each blow. The predictions of a stage involving reduction of pipe thickness are shown in detail for emphasizing applicability of simulation technology to various complicated swaging processes.

Key Words : Stepped Hollow Shaft (계단 중공축), Finite Element Simulation (유한요소 시뮬레이션), Multi-Stage Swaging (다단 스웨이징)

1. 서론

스웨이징은 파이프 류 제품의 정밀 성형에 널리 사용되고 있다. 스웨이징은 대량생산, 고품질의 경제적 생산이 가능한 장점이 있다. 스웨이징은 대부분 파이프의 외경 성형에 이용되고 있으나, 맨드릴을 사용하여 내경의 치수 정확도도 통제할 수 있다. 이러한 기술은 최근 자동차의 경량화의 추세에 따라 중공축류 제품의 제조에 적용이 활발하게 이루어지고 있다.

스웨이징의 유한요소해석은 여러 가지 문제로 발전 속도가 상대적으로 늦다. 수백 또는 수천 회의 타격으로 인한 계산시간, 금형 및 공구의 복잡한 운동 등을 그 원인으로 들 수 있다. Joun 등[1]은 강소성 유한요소법을 이용하여 스웨이징과 반경단조 공정에 관해 발표한 바 있다. 해석적 측면에서 스웨이징 공정은 반경단조와 유사성이 크다. 반경단조는 상대적으로 타격의 수가

작기 때문에 다수의 적용 사례가 보고되었다[2].

이 연구에서는 자동차용 부품 제조를 위한 정밀 다단 스웨이징 공정에 대한 유한요소해석을 실시한다.

2. 공정의 시뮬레이션 및 결과의 토의

Fig. 1의 공정은 5단으로 이루어져 있으며 전체적으로 5310회의 타격에 의하여 계단형 중공 파이프를 제조하는 스웨이징 공정을 나타내고 있다.

재료는 SAE15B36M이며, 마찰계수를 0.05로 간주하였다. 해석모델은 성형부와 푸쉬어(Pusher)부로 이루어져 있다. 푸쉬어는 타격 시에 반력을 가하는 역할과 이송 중에 소재의 위치를 제어하는 역할을 담당한다. 푸쉬어에 의해서 작용되는 반력과 소재의 후진과의 관계를 Fig. 2와 같이 가정하였다.

Fig. 1은 변형의 이력과 유효변형률을 나타내고 있다. 이 공정의 특징은 1단에서 맨드릴을 이용하여 파이프의 두께를 비교적 크게 변형시킨다는 점이다.

1. ㈜MFRC

2. 이래CS㈜

3. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

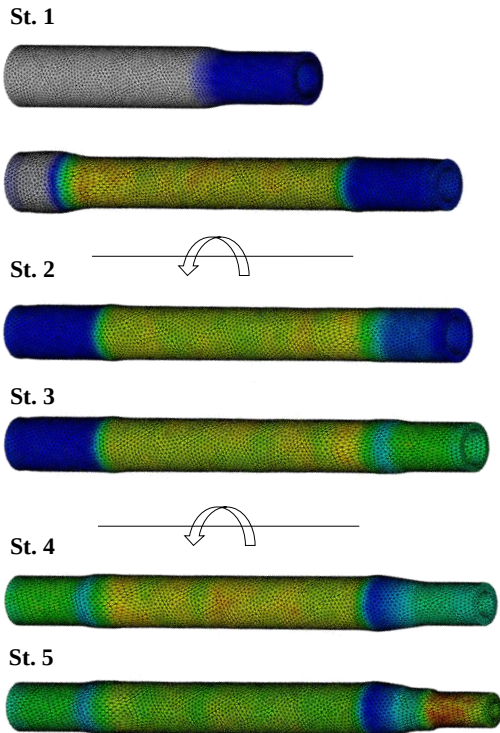


Fig. 1 Process description of five-stage swaging process to be studied and its FE predictions

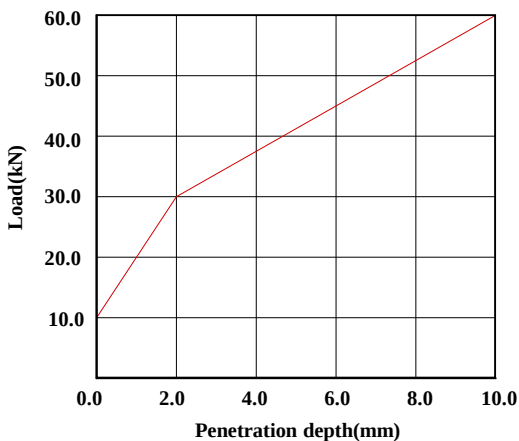


Fig. 2 Reaction force exerted on the material by the pusher

Fig. 3은 해석결과 중에서 튜브의 두께 변화를 야기하는 제 2 공정의 상세해석 결과이다.

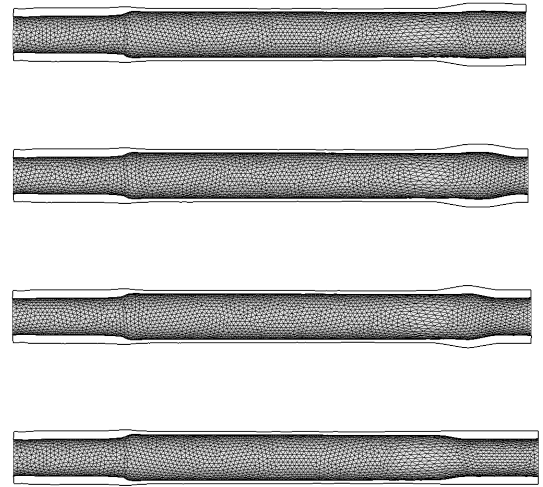


Fig. 3 Finite element predictions of stage 2

3. 결론

이 논문에서는 튜브의 두께에 관한 정밀도를 요구하는 자동차용 계단형 중공축의 경제적 생산을 위한 5-단 스웨이징 공정에 관한 유한요소 해석을 실시하였다. 이 공정은 비교적 복잡한 것으로 AFDEX 고유의 푸쉬어 기능 및 금형 취급 기능을 적절히 활용하여 성공적으로 해석되었다.

정밀 중공축의 스웨이징은 최근의 경량화의 시대적 요구에 부응할 수 있기 때문에 적용이 활발하게 이루어질 전망이다. 이 논문에서 시뮬레이션 기술이 스웨이징 기술의 발전을 선도할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M. C. Kim, G. H. Shim, S. M. Jang, H. K. Moon, S. J. Lim, H. J. Choi, M. S. Joun, 2012, Finite element analysis of tube swaging and radial forging processes., Metal forming 2012, 227~230.
- [2] H. K. Moon, M. C. Kim, J. M. Cho, S. C. Lee, M. S. Joun, 2017, Simulation of high-speed and precision radial forging process., KSTP 2017 Autumn, 73-74

체적성형과 판재성형이 동시에 적용된 프로그레시브 공정 의 유한 요소 해석

김예은¹ · 노은솔¹ · 홍석무[#]

Finite Element Analysis of Progressive Process Including both Bulk and Sheet Metal Forming

Y. E. Kim¹, E. S. Noh¹, S. Hong^{1#}

Abstract

최근 휴대폰과 더불어 다양한 전자기기에 사용되는 커넥터는 프로그레시브 금형을 이용한 다단 공정에 의해 생산된다. 커넥터의 성형 공정에는 블랭킹, 피어싱 그리고 노칭과 같은 전단 공정 뿐만 아니라 부피 성형 공정인 엠보, 포밍 그리고 제품을 구부려 성형하는 벤딩 공정 등 다양한 공정으로 구성된다. 최근 산업 현장에서 박판 성형 공정 중 발생하는 문제를 유한요소법을 활용하여 사전에 예측 예방하고 불량을 최소화하는데 많이 적용되고 있다. 하지만, 해석 시간과 수렴성을 고려하여 평면응력을 가정한 쉘타입 요소와 외연적 적분법을 주로 사용하고 있기 때문에 판재와 단조의 복합 공정에는 적용에 한계가 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 4절점 솔리드 요소와 내연적 적분법을 활용한 유한요소 해석프로그레시브 공정이 적용된 실제 제품과 동일한 조건으로 유한요소해석을 수행하고, 해석 데이터와 실제 제품을 비교하였다. 본 연구에서는 쉘타입 외연적분법의 유한 요소 해석 결과와 솔리드 타입 내연적분법을 해석 결과를 비교하였다.

Key Words : Finite element analysis, Progressive die, Forging, Sheet metal forming

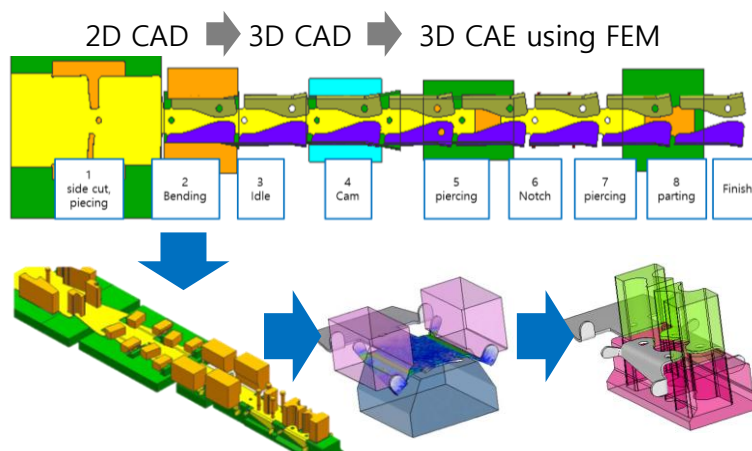


Fig. 1 The process of progressive die design and analysis using finite element analysis

1. 공주대학교 금형설계공학과.

Corresponding Author: Department of MetalMold Design Engineering, Kongju National University, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

3차원 다물체 성형공정의 유한요소해석

정석환¹ · 정승원¹ · 정완진² · 전만수[#]

Finite element analysis of three-dimensional multi-body forming processes

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

Abstract

In this paper, a three-dimensional elastoplastic or rigid-plastic finite element approach to multi-body forming processes is presented with emphasis on new horizons of AFDEX especially for simulating the assembling or testing processes. Three simple examples are given, which show the advance direction towards fulfilling the requirements from parts or assembly development engineers in the related industries.

Key Words : Multi-Body (다물체), Elastoplastic Finite Element Simulation (탄소성 유한요소 시뮬레이션), Assembling Process (체결 공정)

1. 서론

다물체 성형공정에 관한 해석의 필요성이 점증하고 있다. 특히 조립체의 조립공정에서 필요로 하는 성형 공법은 구조역학적 변화를 초래하기 때문에 조립체의 신뢰성 예측을 위한 초기조건의 설정을 위한 조립공정의 정밀해석이 중요해지고 있다.

AFDEX 와 관련된 다물체의 성형공정에 관한 연구는 오래전부터 이루어졌으며 [1], 2 차원 문제에 관한 적용은 이미 이루어지고 있으며, 금형의 다물체 구조해석은 2 차원과 3 차원 모두 실용화되어 있다[2]. 그러나 3 차원의 성형 문제의 경우, 실용적 문제의 해석에 적용되기 위해서 요소망재구성 및 대형 문제 해석 등과 관련된 선결되어야 할 기술적 문제가 존재해 왔다.

이 연구에서는 최근 AFDEX의 기능으로 개발되고 있는 3차원 다물체 해석기능을 가상의 공정 및 구조 해석에 적용하여 소개함으로써 발전 과정을 소개하고 그 방향을 정립한다.

2. 3차원 다물체 공정의 유한요소해석 및 예제

다물체 공정의 특징은 물체 간의 강한 역학적 상관관계, 접촉조건의 난해함, 해의 수렴성 불량, 요소망재구성의 복잡성, 데이터 구조의 복잡성 등으로 요약된다.

역학적 상관관계는 벌칙기법으로 해결하였으며, 다른 난제들은 단조 시뮬레이터의 기본 골격을 유지하도록 함으로써 AFDEX 가 대변형 문제에 특화된 다물체 성형 공정, 조립 공정, 시험 공정 등의 해석 전문 프로그램으로 발전을 모색하고 있다.

Fig. 1은 두 개의 사각블록이 겹쳐진 소재의 업세팅 공정을 탄소성 유한요소법으로 해석한 결과를 나타내고 있다. 상부의 소재의 초기 유동응력이 하부에 비하여 약 30% 높다. 성형 중에 요소망재구성이 실시되었다. 이 공정은, 형상적인 측면에서 단순해 보이지만, 두 물체의 가장자리가 일치하는 일종의 특이 조건을 가진 것으로 접촉조건의 설정이 매우 까다로운 문제이다.

Fig. 2 는 자유단조에서 흔히 발생하는 업세팅 공정 중에 맨드렐을 중심에 위치시켜 내경을 통제하는 공정을 이상화시킨 것이다.

1. ㈜엠에프알씨

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

맨드렐은 금형의 일부로 간주할 수 있으나, 강체 운동의 처리와 접촉면 조건을 엄격하게 취급하는데 유리한 다물체 옵션을 사용하여 성형체로 간주하는 것이 유리하다. 강소성 유한요소법이 사용되었고, 소재는 점소성체로 맨드렐은 강소성체로 간주하였다.

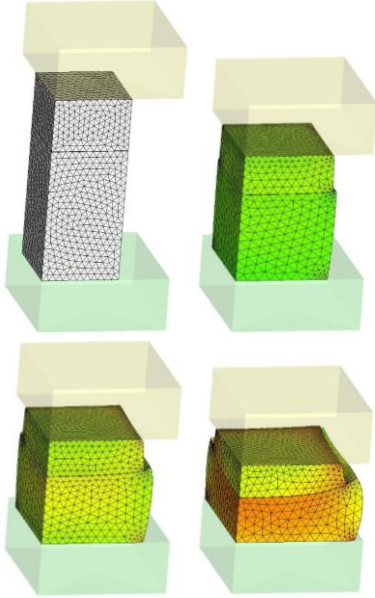


Fig. 1 Upsetting of two-piece rectangular materials

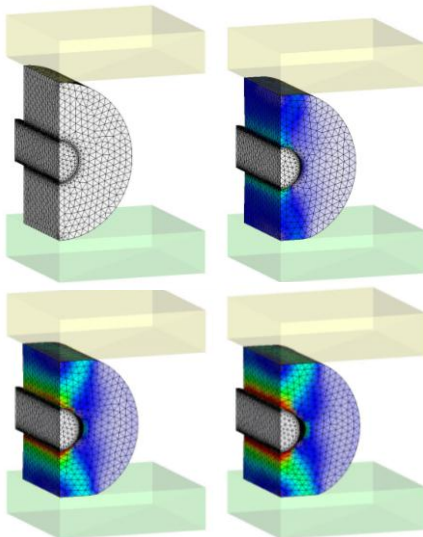


Fig. 2 Side upsetting of hollow cylinder block with mandrel inserted in the hole

Fig. 3 은 무부하 상태에서 무 응력 상태인 볼베어링의 축에 반경방향의 변위를 증가시켰을 때 발생하는 응력 상태를 나타내고 있다. 탄소성 유한요소법을 사용하였다. 볼과 내외륜과의 양호한 접촉상태를 유지하기 위하여 요소밀도의 최적화에 초점이 맞추어졌다.

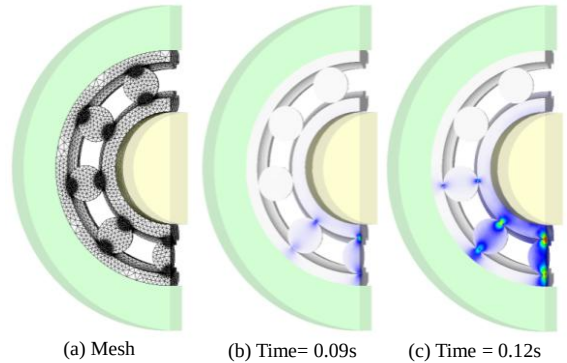


Fig. 3 Effective stress on the assembled ball

Bearing

3. 결론

이 논문에서는 AFDEX 의 3 차원 다물체 강소성 및 탄소성 유한요소해석 기능의 발전 과정을 소개하였으며, 발전 방향이 정립되었다. 기본적으로 소성가공에 강력한 다물체 해석 기능을 통하여 단조품 다사용 산업에서 요구하는 기능의 충족에 초점을 맞추고 있다.

간단하지만 특징적인 적용 예제를 통하여 AFDEX의 3차원 다물체 해석을 위한 기획 보된 기능과 발전 방향이 가시화되었다.

참고문헌

- [1] S. H. Jo, S. W. Jeong, M. S. Joun, 2013, Finite-element analysis of a self-piercing riveting process, KSME Spring Meeting 2013, 324-327
- [2] Y. S. Kim, H. N. Song, M. S. Joun, 2017, Quantitative study on effect of coupled analyses of die deformation and temperature on the predictions, KSTP Spring Meeting 2017, 94-95

3. 특 별 세 셴

단조 시뮬레이션 기술의 신적용 사례
(제 1 발표회장)

베어링 외륜 열간단조품의 경도 예측

정석환¹ · 이라니 미쁨² · 이광오³ · 전만수[#]

Prediction of Hardness of a Hot Forged Bearing Outer Race

S. H. Chung, M. Irani, K. O. Lee, M. S. Joun

Abstract

Prediction of hardness distribution in forged steel has been conducted by coupling finite element analyses of flow and heat transfer problems with phase volume fraction, dynamic recrystallization and grain size prediction problems. JMAK model and TTT diagrams are used to obtain the recrystallized grain size and volume fraction of phases, respectively. The result is integrated to predict the hardness using the Hall-Petch equation.

Key Words : Hardness prediction, Hot forging, Steel, Hall-Petch equation

1. Introduction

The distribution of hardness in forging products can highly affect their performance during service [1]. In forging at elevated temperature, the grain size and volume fraction of phases are the most influencing factors on hardness of the final product. The phase transformations can be predicted using TTT diagrams and the recrystallized grain size obtained using JMAK equations [2].

$$d_{DRX} = a d_0^h \varepsilon^n \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) + c \quad (1)$$

where T , R , d_0 , d_{drx} and Q are temperature (K), gas constant ($R = 8.134472$ J/Kmol), initial grain size (μm), recrystallized grain size (μm), and activation energy for dynamic recrystallization (J/mol), respectively. a , h , n , m and c are material coefficients. The Hall-Petch equation calculates the hardness value as follows [3]:

$$H = H_0 + \frac{K}{\sqrt{d}} \quad (2)$$

where d is grain size and H_0 and K are experimental constants independent of grain size. The mixture law is employed to reflect the effects of

different phases as below:

$$H_{tot} = \sum_{i=1}^n H_i X_i \quad (3)$$

where H_i is the hardness of phase i and X_i is the associated volume fraction.

In this study, hardness distribution of 100CrMnSi6 material forged at 1150 °C is predicted using finite element analysis.

2. Material and methods

The chemical compositions of the studied steel are given in Table 1. Fig. 1 shows the schematic diagram of the upsetting process used in the experimental procedure. The final product was quenched in water to freeze the microstructure. AFDEX, a general-purpose metal forming simulator is utilized to predict hardness during the process. Note that the actual process just after hot forming is more or less different from that employed for this study.

Table 1 Chemical composition of 100CrMnSi6

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr
Wt. %	0.99	0.62	1.1	0.11	0.01	1.52
Element	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Fe
Wt. %	0.03	0.01	0.01	0.26	0.2	Bal.

1. MFRC

2. 경상대학교 기계항공공학부

3. 부산대학교 기계기술연구소

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

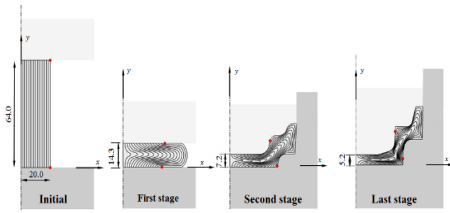
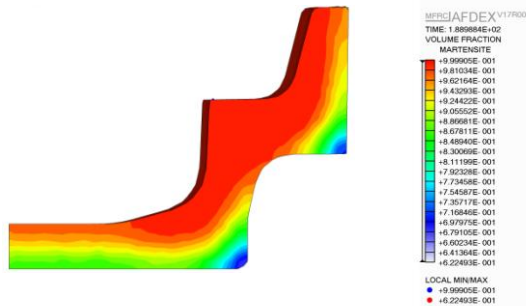


Fig. 1 Schematic diagram of the three-stage forging process with metal flow lines

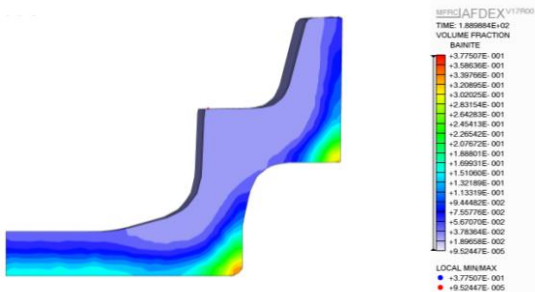
3. Results and discussion

Fig. 2 shows the predicted volume fraction of martensite and bainite after quenching. The grain size after dynamic recrystallization was also predicted using JMAK model and shown in Fig. 3.

The distribution of hardness was predicted using the volume fraction of phases and grain size as depicted in Fig. 4. Note that the current hardness prediction module of AFDEX can predict the hardness of fully recrystallized parts without work-hardening effect considered.



(a) Martensite



(b) Bainite

Fig. 2 Predicted phase volume fraction at the final stroke

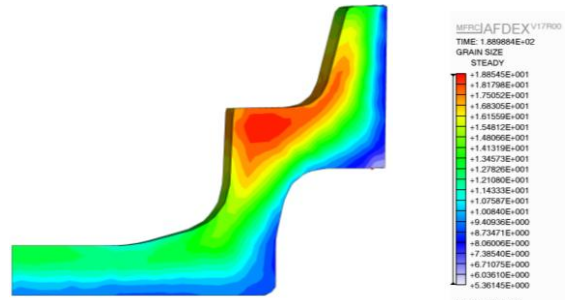


Fig. 3 Predicted DRX grain size at the final stroke

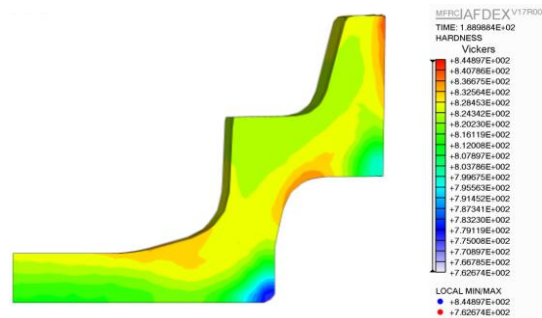


Fig. 4 Predicted hardness (Vickers) at the final stroke

Note that the quenching in this study is not an actual process but for study on heat treatment.

References

- [1] M. Irani, A. K. Taheri, 2008, Effect of forging temperature on homogeneity of microstructure and hardness of precision forged steel spur gear. Mater. Chem. and Phys. Vol.112, No.3, pp. 1099~1105.
- [2] M. Irani, M.S. Joun, 2017, Practical Approach to Determining Material Parameters in Microstructure Evolution, KSTP Spring Meeting, pp. 122~123.
- [3] Meriç, C., Atik, E., Engez, T, 1997, Application of the Hall-Petch Relation to Microhardness Measurement on AA 1030, Cu, CuSn7, CuZn30 and 6114 Alloys. Mathematical and Computational Applications, Vol.2, No.2, pp. 71~77.

알루미늄의 냉간단조 시 유동특성에 관한 고찰

유재동¹ · 송하늘² · 김광민² · 황태민² · 전만수[#]

Discussion on flow stress of aluminum to be cold forged

J. D. Yoo, H. N. Song, K. M. Kim, T. M. Hwang, M. S. Joun

Abstract

Investigation into behaviors of aluminum alloy to be metal formed at the room temperature is conducted. An index is proposed to evaluate the sensitivity of temperature, that is, index of relative normalized temperature rise to steel. An aluminum material found from the literature shows that the index of aluminum to steel is quite high, implying that temperature effect as well as rate-dependence effect on the forming processes of aluminum alloy at the room temperature cannot be neglected.

Key Words : Index of Normalized Temperature Rise (정규온도상승 지수), Aluminum (알루미늄), Flow Stress (유동응력), Room Temperature (상온)

1. 서론

알루미늄의 냉간단조가 꾸준히 발전해 왔다. 그러나 강에 비하여 그 빈도가 극히 적고, 이로 인하여 알루미늄의 냉간단조에 관한 축적된 경험이 많지 않다. 따라서 알루미늄 단조를 시작하는 기술자들의 상당수는 강의 냉간단조에 많은 경험을 가지고 있어, 알루미늄의 변형 특성을 올바르게 판단하는데 큰 걸림돌이 되어 왔다.

알루미늄의 변형경화 특성은 강에 비하여 다른 모습을 보이고 있다[1]. 가령, 저변형일 때는 변형경화가 급격하게 발생하는 반면, 어떤 한계치를 벗어나면, 변형경화능이 급격하게 줄어드는 현상을 나타낸다. 그런데 이것이 온도의 영향인지 아니면 전위 밀도의 증가에 따른 소재의 연화에 기인하는지, 아니면 다른 이유에 의한 것인지를 판단하는데 필요한 연구 결과는 크게 부족하다.

이 연구에서는 알루미늄 냉간단조 공정의 비등온해석을 통하여 온도의 상승을 예측하여 토의하고, 그 결과를 평가하기 위한 지수로서 강 대비 온도상승지수를 제안한다.

2. 알루미늄 요크 자동다단냉간단조 공정의 비등온해석

Fig. 1 은 알루미늄 요크 자동다단냉간단조 공정의 공정도를 나타낸다. 시뮬레이션에 사용된 소재 6082-T6 의 유동응력은 선행연구 [1]에서 압축시험에 의하여 획득된 것으로 초기에 변형경화가 강하게 발생하지만, 변형률이 0.15 를 초과하면 변형경화가 거의 발생하지 않는다. 변형률 0.15 이후의 유동응력은 412.0-413.0MPa 이다.

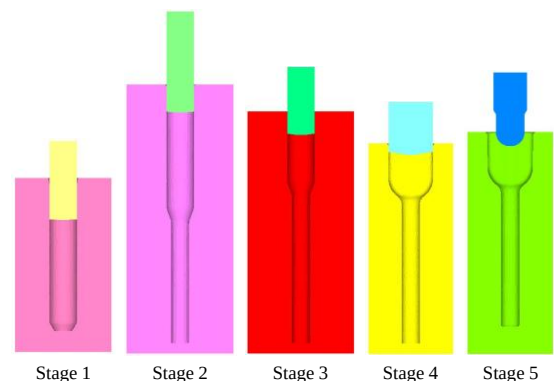


Fig. 1 Process design

1. 경상대학교 기계항공공학부

2. ㈜성진포머

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

선행연구[2]에서 사용된 비등온해석을 위한 열적 정보를 사용하였다. 소재와 금형 간의 마찰계수는 0.05로 가정하였다.

Fig. 2는 단조 종료 직후의 온도를 나타낸다. 최대 약 450°C의 온도 상승이 이루어졌다. 이 온도 차이는 강의 냉간단조에 비해서는 다소 작지만, 알루미늄의 용융온도를 고려하면 매우 큰 것으로 실공정에서 유동응력의 큰 차이를 일으키고 과도한 국부 변형 및 저변형경화로 인한 국부적 불안전 변형을 야기할 수가 있다.

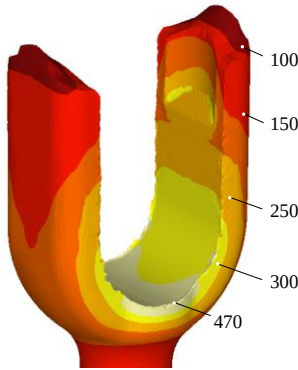


Fig. 2 Predicted temperature(°C) just after forming

3. 강 대비 정규온도상승지수

알루미늄 등을 비롯한 비철금속 및 신소재의 냉간단조에서 온도 상승의 의미를 찾는데 다소의 어려움이 따르는 것이 사실이다. 따라서 강에 관한 유경험 기술자들에게 예측 결과를 직관적으로 판단하는데 도움을 주기 위한 지수가 필요하다. 이러한 목적으로 다음의 정규온도상승지수를 제안한다.

$$R_{TR} = \frac{T_{iA}T_{mS}}{T_{iS}T_{mA}} = \frac{T_{niA}}{T_{niS}} \quad (1)$$

여기서 T_i 와 T_{ni} 는 다음 식으로 정의되며, T_m 은 용융온도이다.

$$T_i = \frac{Y_0}{\rho_c} \quad T_{ni} = \frac{T_i}{T_m} \quad (2)$$

여기서 T_i 는 온도상승지수이며, 항복강도 Y_0 를 기준으로 단위변형을 증가에 따른 소재의 온도상승을 의미한다. T_{ni} 는 용융온도로 정규화된 정규온도상승지수이다. 따라서 R_{TR} 는 강 대비 정규온도상승지수를 의미한다. 따라서 R_{TR} 가 클수록 소성변형중 온도의 영향도 및 민감도가 크다는 뜻이다.

알루미늄과 순철의 용융온도를 기준으로 계산했을 때, 알루미늄의 강 대비 정규온도상승지수는 약 $R_{TR} = 3.3Y_{0A}/Y_{0S}$ 이다. 만약 어닐링된 강의 초기 항복응력이 알루미늄의 항복강도의 2.0배이면, R_{TR} 가 1.65가 된다. 강의 냉간단조는 대부분 열처리를 통하여 항복응력을 낮춘다는 점을 고려할 때, 항복강도의 2.0배는 합리적이라고 판단된다. 따라서 Fig. 2에서 최대온도 470°C는 강을 기준으로 보았을 때, 약 775°C의 온도상승과 같다. 이것은 과도한 값이다. 따라서 제2장에서 유동응력의 온도 및 변형률에 대한 비의존성은 적절하지 않다고 사료된다.

4. 결론

이 논문에서는 알루미늄 냉간단조 중 온도상승의 영향을 체계적으로 평가하기 위한 지수, 즉 강 대비 정규온도상승지수를 제안하였다. 이 수치는 비철금속의 소성가공에서 온도의 변화를 직관적으로 평가하는데 유용하다. 알루미늄의 경우, 이 수치는 약 1.5(저탄소강)-2.0(중탄소강) 사이의 값으로 볼 수 있다.

따라서 알루미늄 요크 자동다단냉간단조 공정의 해석결과로 획득된 470°C의 온도상승은 강의 단조에서 저탄소강을 기준으로 했을 때 705-940°C의 온도상승에 상응하는 값이다. 이 수치는 강의 냉간단조에 많은 경험적 지식을 가지고 있는 기술자들에게 알루미늄 등의 단조에 관한 직관적 식견을 갖도록 하는데 유용할 것으로 판단된다.

후기

이 연구는 중소기업청의 WC300 프로젝트 기술개발지원사업(과제번호: S2415560)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] J. D. Yoo, K. M. Kim, T. M. Hwang, M. S. Joun, 2017, Study on friction in aluminum cold forging, KSTP Fall Meeting 2017, 67-68.
- [2] J. G. Eom, S. K. Kang, J. W. Kim, M. C. Kim, K. H. Park, S. J. Jung, M. C. Lee, M. S. Joun, 2010, finite element analysis of a sequence of high yield compound forming processes for an aluminum lower arm, KSTP Fall Meeting 2010, 242-245.

난형상 단조공정의 정밀해석 및 단류선 평가

이지언¹ · 이요셉¹ · 이민철¹ · 전만수[#]

Precision simulation of geometrically complicated forging processes and evaluation of metal flow lines

J. E. Lee, Y. S. Lee, M. C. Lee, M. S. Joun

Abstract

In this paper, two hot forging processes, geometrically complicated and difficult-to-form, are simulated with increase number of meshes. Two forging examples including crankshaft forging and connecting-rod forging are simulated by the enhanced function of latest AFDEX with emphasis on visualization of metal flow lines and their quantified values called overlapping index.

Key Words : Larger Scale Problem (대형 문제), Difficult-to-Form Shape (난형형 형상), Quality of Metal Flow Lines (단류선 품질)

1. 서론

소성가공의 유한요소해석의 특징은 요소망재구성에 있다. 요소망재구성은 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 그것이 수치적 요인에 기인한다는 점에서 매우 부정적이다. 일반적으로 요소망재구성의 회수를 줄여야 하는 것이 원칙이다. 그러나 금형과 소재의 접촉면 사이의 불일치 문제와 요소의 일그러짐으로 적절한 요소망재구성은 불가피하다. 이러한 이유로 요소의 수를 키운다고 해서 유리할 것이 없는 경우가 대부분이다. 작은 요소는 국부적으로 변형되어 빈번한 요소망재구성을 야기시키기 때문이다. 요소망재구성은 상태변수의 사상 과정에서 불가피하게 순화 현상을 동반한다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 요소의 수가 클 경우, 국부 요소망재구성과 전영역 요소망재구성을 적절히 조합할 필요가 있다고 판단된다.

그럼에도 불구하고 특히 커넥팅로드와 같은 복잡한 형상의 보안부품에서 내재될 수

있는 작은 겹침결함 등을 해석하고자 할 경우, 세밀 요소망의 사용이 불가피하다. 이것은 전술한 문제와 함께 계산시간의 급격한 증가를 야기시킨다. 여기서 강조해야 할 점은 순화된 변형률이나 온도의 분포는 그 나름의 의미를 갖지만 요소망재구성에 의하여 순화된 겹침결함은 무의미할 수가 있다.

이 연구에서는 증가된 요소 수의 해석모델의 사용에 따른 제반 문제들을 파악하여 소개함으로써 사용자가 이에 관한 직관을 갖도록 하고자 한다.

2. 대형 문제의 해석

Fig. 1 은 연구대상인 크랭크샤프트와 커넥팅로드 단조공정도이다. 이 공정들의 특징은 완전 3 차원 공정으로써 변형 형상이 복잡하고 국부적인 겹침 결함이 상존한다는 점이다. 따라서 약 500000 개의 요소를 사용한 해석을 수행하였다. Fig. 1(a) 의 크랭크샤프트 단조 공정의 해석에는 이송, 체류, 단조 중에 발생한 열전달을 취급하였고, Fig. 1(b)는 등온해석을 실시하였다. 공정의 상세 정보는 참고문헌[1]으로 대신한다.

1. ㈜엘에프알씨

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

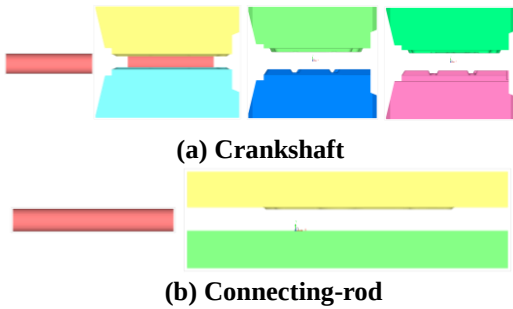


Fig. 1 Hot forging processes to be simulated

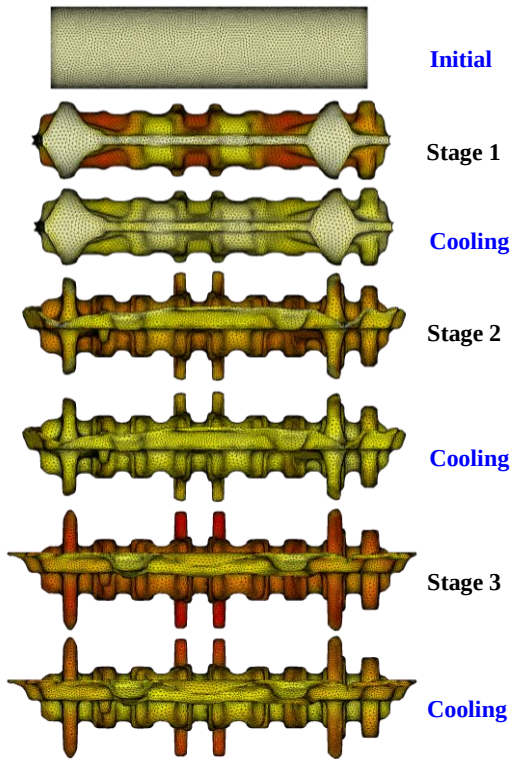


Fig. 2 Predictions of temperature for the crankshaft forging process

Fig. 2 는 Fig. 1(a)의 크랭크샤프트의 해석 결과이며, Fig. 3 은 Fig. 1(b)의 해석결과이다. 외관상 매우 정교한 해석결과가 획득되었음을 이 그림들로부터 확인할 수가 있다.

3. 결론

이 연구에서는 난형상 단조공정의 시뮬레이션을 위한 대형 단조공정 해석 문제의 현안 문제와 그 가능성을 보였다. 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 응용 기술의 발전

과 함께 대형 문제의 해석이 가능해졌지만, 요소망재구성에 따른 수치적 문제의 해결이 병행될 때, 보다 정밀한 소성가공 공정의 해석이 이루어진다는 점이 적용 예제를 통하여 강조되었다.

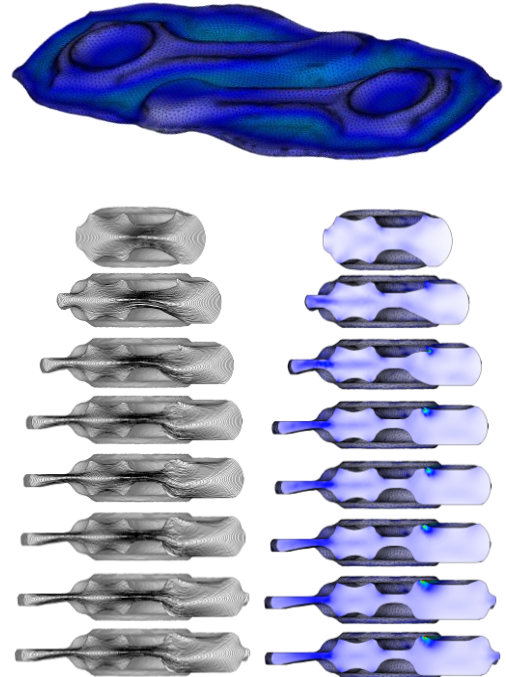


Fig. 3 Predictions of connecting-rod hot forging process with emphasis on grain flow

난형상 단조 공정의 시뮬레이션에서 겹침 지수의 유용성이 검증되었으며, 그 활용 방안으로 요소망재구성 시의 요소밀도함수의 결정과 공정최적설계 시의 목적함수 또는 구속함수 등이 부각될 전망이다. 이러한 연구 결과들이 보안부품에 속하는 난성형 열간단조품의 미소 겹침 현상 등에 관한 정밀 예측의 실현을 단축시킬 것으로 기대된다.

후기

이 연구는 과학기술일자리진흥원의 연구개발 서비스업 혁신역량강화 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] H.K. Moon, J.S. Lee, S.J. Yoo, M.S. Joun, J.K. Lee, 2007, Hot deformation behavior of bearing steels, J. Eng. Mat. Tech., ASME Trans. 129, No. 3, 349~355.

진동부와 편치에 의한 스플라인 제조 공정의 탄소성 유한요소해석

문호근¹·정성훈²·이희원²·정완진³·전만수[#]

Elastoplastic finite element analysis of a spline forming process by an oscillatory punch

H. K. Moon, S. H. Chung, H. W. Lee, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, elastoplastic finite element analysis of a spline forming process with an oscillatory die is conducted to reveal its characteristics in terms of deformed shape. The predictions are compared with those obtained by elastoplastic finite element analysis of the came process except with constant velocity die, revealing that local plastic deformation in the early contact at each striking stroke causes the greater spline teeth height and lower forming load, which can be predicted only for the case of oscillatory die.

Key Words : Vibration (진동), Spline (스플라인), Elastoplastic FEM (탄소성 유한요소법)

1. 서론

금형의 운동에 진동을 부과한 성형공법, 즉 진동부와 성형공법이 널리 적용되고 있다. 성형 중 금형에 부과된 초음파는 금형과 소재의 접촉면에서 국부적인 소성변형과 열을 발생시켜 마찰력 특성에도 큰 영향을 준다고 알려져 있다 [1,2].

진동의 진폭이 큰 경우에는 변형 형상의 거시적 변화를 초래할 수도 있다. 이 경우, 소재와 금형의 접촉과 분리가 반복될 수도 있으며, 큰 소음과 함께 금형에 상당한 충격을 부과할 수 있다. 이러한 문제에도 불구하고 변형 형상의 제어 목적으로 다소 큰 진폭의 진동이 금형에 부과되는 경우도 있다.

이 연구에서는 3차원 강소성 및 탄소성 유한요소법을 이용하여 진동이 편치에 부과된 스플라인 제조 공정의 소성변형의 특징을 규명한다.

2. 피팅공정의 시뮬레이션 및 결과의 토의

Fig. 1은 연구 대상의 스플라인 제조 공정의 형상 정보를 나타내며, 해석구간을 정의한다. Fig. 2는 편치의 속도 선도를 나타낸다. 편치는 평균적으로 5.775 mm/s의 속도로 하강하면서 진폭 0.2mm와 주기 0.02s로 진동한다. 따라서 속도의 최대값 및 최소값과 각각 10mm/s와 -20mm/s이다. 금형과 소재 사이의 마찰계수는 0.05로 가정하였다. 소재는 SAE15B36M이며, 유동응력은 $\bar{\sigma} = 1028\epsilon^{0.15}$ MPa이다. 허용 최소변형률을 0.0015로 간주하였다.

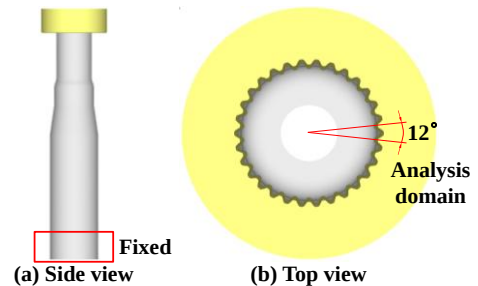


Fig. 1 Geometry of the process to be studied and definition of analysis domain

1. ㈜MFRC

2. 이레CS㈜

3. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

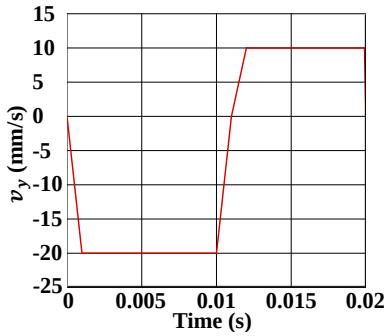


Fig. 2 Velocity profile

Table 1 Cases of simulation

	Material model	Die
Case 1	Elastoplastic	With oscillation
Case 2	Elastoplastic	Without oscillation

Table 1의 두 경우에 대하여 해석하였으며, 그 결과를 분석하였다. Fig. 3은 최종 변형형상을 나타내며, Fig. 4는 두 경우의 해석결과를 비교하고 있다. Fig. 4(a)는 변형형상과 변형률을 비교하고 있으며, 진동을 부과한 경우의 이 높이가 약 0.17mm 크게 나타났다. 그리고 진동을 부과하지 않은 경우에서 뚜렷한 변형구간의 확산이 발생했음을 알 수 있다. Fig. 4(b)의 성형하중 비교에서도 진동을 부과한 효과를 확인할 수 있다.

3. 결론

이 논문에서는 진동이 부과된 펀치에 의한 스플라인 제조 공정을 탄소성 유한요소법을 이용하여 해석하였으며, 펀치에 부과된 진동의 영향을 규명하였다. 펀치의 진동에 의한 소재의 국부적인 소성변형은 반경방향의 순간속도를 발생시키며, 이것은 치형의 높이를 증가시키고 변형구간의 확산을 방지하는 효과로 나타난다.

참고문헌

- [1] J. C. Hung, Y. C. Tsai, C. Hung, 2007, Friction effect of ultrasonic-vibration on upsetting, Ultrasonic 46, 277.
- [2] C. M. Suh, G. H. Song, M. S. Suh, Y. S. Pyoun, 2007, Fatigue and mechanical characteristics of nano-structured tool steel by ultrasonic cold forging technology, Mat. Sci. Eng. A, 443, 101-106.

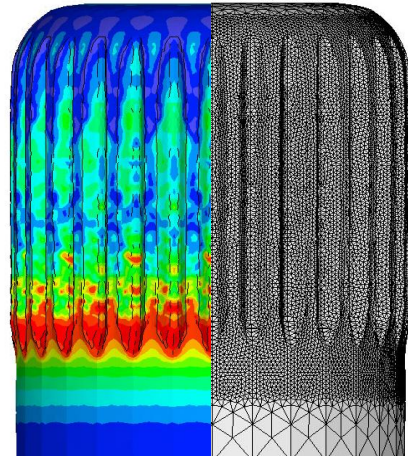
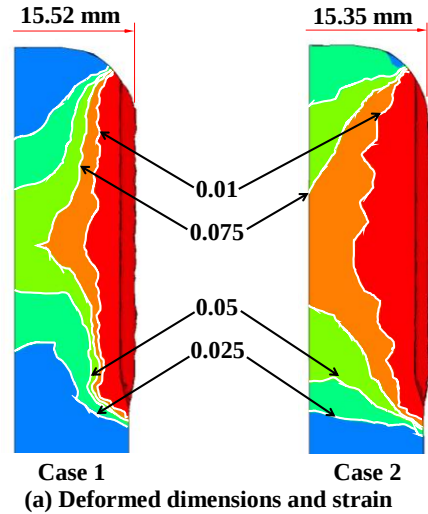
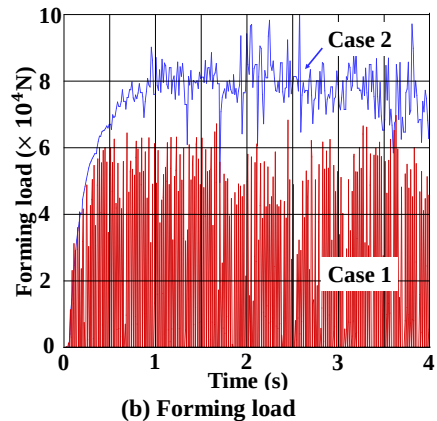


Fig. 3 Deformed shape at the final stroke (Case 2)



Case 1 Case 2
(a) Deformed dimensions and strain



(b) Forming load
Fig. 4 Comparison of finite element predictions

이방성을 고려한 2차원 솔리드요소를 이용한 금속성형 유한요소해석

조성민¹ · 이창환² · 정완진[#]

Finite Element Analysis of Metal Forming Using 2D Solid Element Considering Anisotropy

S. M. Cho¹, C. W. Lee², W. J. Chung[#]

Abstract

본 논문에서는 소재가 판재인 경우 재료의 이방성을 고려하기 위한 이방성 항복 함수를 2차원 솔리드 요소에 적용하였다. 2차원 솔리드요소로 사각형 요소를 사용하였으며 상용 S/W인 AFDEX 2D에 구현하였다. 재료의 이방성을 고려하기 위해 Hill의 1948년 이방성 항복 함수를 사용하였고, 등방 경화 가정을 적용하였다. 성형해석 및 스프링백 해석 해법은 내연적 유한요소법을 사용하였다. 검증예제로 축대칭 드로잉과 평면변형을 U-드로우 벤딩에 대한 유한요소해석을 수행하여 기존의 결과와 비교 검증하였다. 해석 시 두께 방향으로 다층의 요소를 설정하여 소재의 굽힘응력의 변화를 충분히 반영하였다. 상용 해석프로그램인 ABAQUS 와의 해석결과 비교를 통해 신뢰성 및 정확성을 검증하였다. 적용 예제 별로 응력, 변형률, 스프링백 회복량을 비교하였으며, 두 프로그램에서 비슷한 경향 및 수치를 보이는 것을 확인하였다. 산업적 예제로 축대칭 판단조 공정을 해석하였으며 이방성에 의한 차이점에 대하여 논의하였다.

Key Words : Anisotropy, Springback, AFDEX

1. 서울과학기술대학교 일반대학원 기계디자인공학공학과
2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
E-mail : wjchung@seoultech.ac.kr

판재성형 및 단조공정에서 삼축응력 파단곡면에 대한 실험적 고찰 및 유한요소해석

김준영¹ · 홍석무^{2#}

Study of Triaxiality in sheet metal forming and forging process using Experimental approach and Finite Element Analysis

J. Y. Kim, S. Hong

Abstract

최근 자동차의 연비 문제를 해결하기 위해 기존 철강소재보다 인장강도가 높은 고장력 강판을 사용한 부품들을 사용하는 추세이다. 따라서 고장력 강판에 대한 연구 또한 진행되고 있다. 고장력 강판은 높은 강도를 가지지만 낮은 연신률로 인해서 판재 성형 또는 단조 성형에서 파단 불량률이 자주 발생한다. 따라서 고장력 강판에서 파단 시점에 대한 연구는 중요하다. 일반적으로 상용 유한 요소 해석 프로그램에서 적용되는 연성파단 모델의 경우 인장 시험에서 얻은 인장강도와 변형률 값을 활용하기 때문에 실제 고장력 강판을 사용하여 성형 시 발생하는 파단 현상의 정확한 예측이 불가능하다. 본 연구에서는 SPFH 590 고장력 강판의 다양한 3축응력 상태의 파단 시점을 연구하기 위해서 다양한 삼축 응력 상태를 보여주는 인장, 압축, 전단 시험 등의 재료 시험을 수행하였다. 삼축응력파단 결과는 삼축응력 지수와 Lode angle(주축과의 각도)에 따라 3차원 파단 평면 TFD(Triaxiality Failure Diagram)를 실험적으로 결정하고, 이를 유한요소해석 프로그램에 적용하여 삼축응력 상태에서의 파단을 정확히 예측 시뮬레이션 하였다.

Key Words : High strength steel, Triaxiality, Finite element analysis

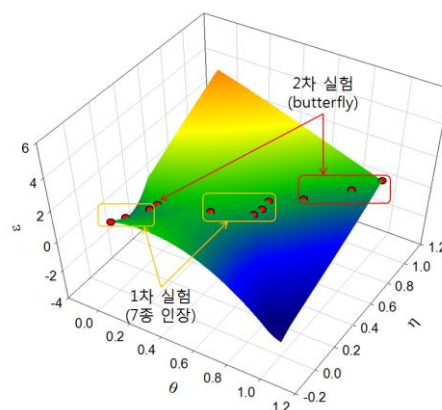


Fig. 1 Fracture surface of SPFH 590 considering triaxiality and lode angle

1. MFRC 기술연구소

2. 공주대학교 금형설계공학과

교신저자: Seokmoo Hong, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

장구형 박벽 튜브 성형공정의 유한요소해석

이윤혁¹ · 배선민² · 전만수³ · 김동환[#]

Finite Element Analysis of Double Enveloping Thin Wall Tube Forming Process

Y. H. Lee, S.M. Bae, M. S. Joun, D. H. Kim

Abstract

The rotational bending presented in this research is a forming method in which the mandrel is divided at both ends of the material and is not restrained by the internal shape. In addition, it is possible to reduce formation load through local heating and molding, and it is advantageous that the initial production cost of the device and process time can be shortened. In this research, we are trying to develop a coupling for a ship applying rotary bending method, and we conducted a study to evaluate formability based on basic design and analysis results through finite element analysis.

Key Words : Double enveloping thin wall tube forming process, AFDEX, Finite element analysis, Vessel coupling

1. 서론

커플링은 조선 선박에 들어가는 파이프를 체결 시켜 주는 부품이다. 현재 슬라이딩형 커플링은 주물방식으로 제작되고 있으며 주물방식으로 제작 시 인성 및 전연성이 크게 떨어진다는 단점이 있다. 반면, 링 롤링은 높은 치수 정밀도, 생산성, 낮은 원가와 원형으로 순환하는 메탈 플로우(Metal Flow)에 의한 균일 품질 등을 장점으로 인해 링 형상 단조품에 널리 적용되는 단조 생산 할 수 있다. [1]

본 연구에서는 선박용 커플링에 사용되는 장구형 박벽 튜브 형상의 부품을 제조하기 위하여 양 끝단에 국부적으로 열을 가열하여 내부 직경을 성형하는 방식으로 커플링 형상을 효과적으로 성형하는 방안을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 유한요소해석을 통하여 장구형 박벽 튜브 성형 가능성을 파악하였으며 현장 실험을 통하여 해석결과를 검증하는 연구를 수행하였다.

2. 장구형 박벽튜브 성형 해석

본 연구에서 의 유한요소해석은 상용 소프트웨어 AFEDX를 사용하였으며, 커플링의 성형 가능성을 확인하기 위하여 커플링 단면적을 2D로 설계하여 해석을 수행하였다. 유한요소 해석에 사용된 소재의 재질은 STPG 강판이고, 소재의 두께는 6mm이다. Fig. 1에 선박용 커플링 형상을 나타내었다.

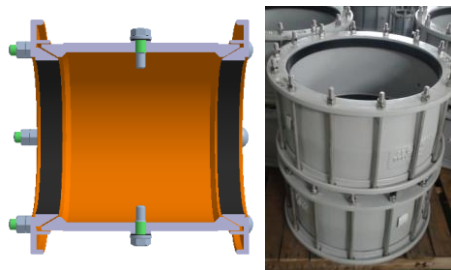


Fig. 1 The shape of coupling

1. 경상대학교 재료공정융합공학과

2. GV엔지니어링

3. 경상대학교 기계항공정보융합공부

교신저자: 한국국제대학교 항공부품공학과, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

Fig. 2에 성형조건을 나타내었고 유한요소해석 결과를 Fig. 3 나타내었다. Fig. 4에 장구형 박벽튜브 성형을 위한 구성품을 나타내었다.

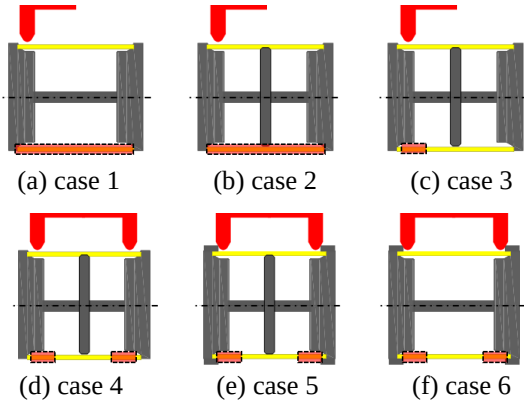


Fig. 2 molding condition of middling ring rolling

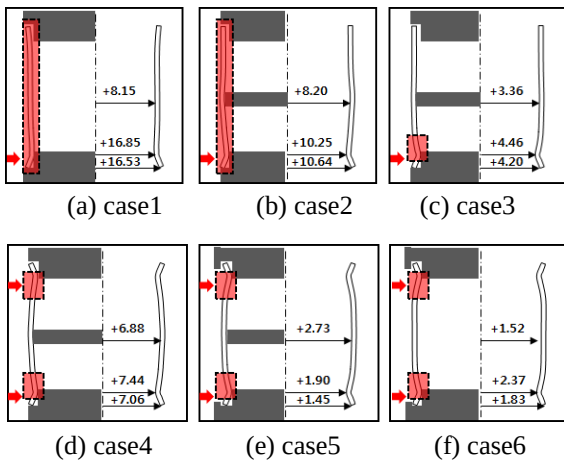


Fig. 3 Ring rolling analysis result

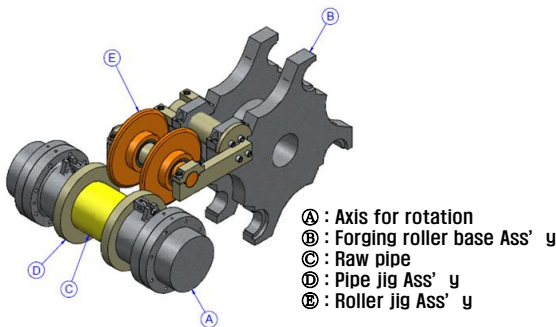


Fig. 4 The shape of middling ring rolling mold

3. 실험 및 고찰

유한요소해석을 통해 형상 치수를 예측하였고 최적 조건의 형상을 Fig. 5에 나타내었다.

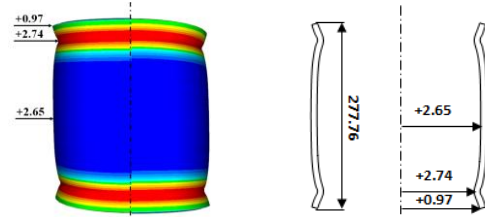


Fig. 5 Optimal shape of middling



Fig. 6 Forming test of coupling

4. 결론

본 연구에서는 기존 주조공법으로 생산하고 있는 선박용 커플링을 유한요소 해석을 통해 성형 가능성을 확인하였다. 유한요소해석 결과와 실험 결과는 잘 일치함을 확인하였다.



Fig. 7 Result of experiment

후기

이 연구는 중소기업청 산학협력 기술개발사업의 지원을 받았습니다.

참고문헌

[1] H.J. Kim, J.H. Kang, S.S. Kang, 2014, Preform design of large sized profile ring rolling using main roll, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A 38(1), 2014.1, 65-70

4. 특 별 세 셴

800MPa 급 고강도 스테인리스강의 인발
기술
(제 2 발표회장)

STS304 합금의 고하중 마찰계수평가 연구

남궁정^{1#}·이광석²·

Study on the Evaluation of the Coefficient of Friction on the High Load for STS 304 alloy

J. Namkung, K. S. Lee

Abstract

소성가공 공정중에 가공되는 소재와 금형이 접촉하는 표면에서의 윤활과 마찰은 가공제품의 표면품질과 금형의 수명, 생산성에 중요한 인자로 알려져 있다.

일반적인 마찰계수 평가시험에서 마찰소재, 윤활제, 상대재 물성에 따라서 측정대상 소재에 부하되는 마찰하중은 마찰소재의 탄성변형하중 범위에서 적용되고 있었다. 그러나, 스테인리스강 인발 공정과 같이 대부분의 소성가공 산업현장에서는 소재와 공구(다이, 롤, 금형, 햄머, 펀치 등)사이의 윤활과 마찰환경은 가공되는 소재가 심한 소성변형을 받은 조건하에서 윤활과 마찰이 작용되고 있는 차이가 있다. 따라서, 본 연구에서는 STS 중실재 인발공정에서 주로 사용되는 도포형 윤활제를 적용하고 풀림 열처리된 연질 스테인리스강 STS304 판재의 탄성변형-소성변형하중 조건에서 마찰계수 측정시험을 시도하여 200~800MPa의 하중변화에 따른 마찰계수를 정 값을 측정하였고 마찰소재의 소성변형 상태와 마찰면의 표면조도, 경도변화를 조사하였다. 소성변형 하중영역에서 마찰계수측정이 가능하였으며, 실험결과 마찰하중이 탄성변형하중에서 소성변형하중으로 증가될 때 마찰계수가 증가되었고 그에 따른 마찰표면의 조도 값은 낮아지며 경도 값은 상승하는 결과를 확인할 수 있었다.

Key Words: 스테인리스강, 인발, 도포형 윤활제, 고하중, 소성변형, 마찰계수

1. 서론

일반적인 마찰계수측정하중과 소재가 소성 변형되는 가공공정에서의 금형과 소재의 마찰되는 하중조건에는 큰 차이가 있다. 본 연구에서는 스테인리스 소재 STS 중실재 인발공정에서 주로 사용되는 도포형 윤활제를 적용하고 풀림 열처리된 연질 스테인리스강 STS304 판재의 탄성변형-소성변형하중 조건에서 마찰계수 측정시험을 시도하여 하중변화에 따른 마찰계수를 정 값을 측정하였고 마찰소재의 소성변형 상태와 마찰면의 표면조도, 경도변화를 조사하였다.

2. 실험방법

마찰시험은 인발가공공정의 환경조건에 부합되도록 소재와 상대의 접촉면적을 크게 할 수 있는 Plane Friction Tester를 이용하여 실시하였고 소재의 두께는 소성변형을 고려하여 일반적인 저하중조건 측정시편두께 2t이하 보다 두꺼운 풀림 열처리된 3t 판재를 사용하였다.

마찰계수 측정시험 상대재는 일반적인 일반적인 인발다이 재질, 초경합금으로 제작한 마찰면적 약 5X5mm 팁(tip)사용하였다. 마찰 시험재는 풀림 열처리된 스테인리스 304 냉연강판(W35 x L200 x t3mm)을 사용하고 측정표면에 각각의 도포형 윤활제 샘플을 2~3회 도포한 후 약 1분이상 대기중 건조한 후 마찰하중을 200~800MPa 범위에서 변화 하여 마찰계수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

마찰하중변화에 따른 마찰계수를 비교 측정하여 아래 그래프와 같이 나타내었다. 탄성변형 범위의 하중조건에 비하여 소성변형범위의 하중조건의 마찰계수가 증가하고 있으며 하중증가에 따른 증가 폭이 크게 나타난다.

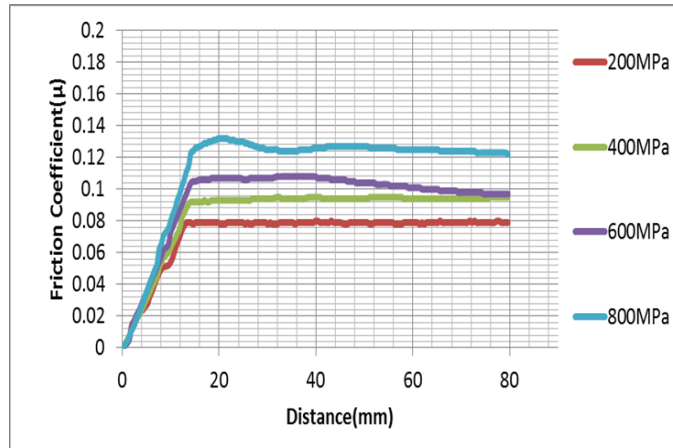


그림. 마찰하중변화에 따른 마찰계수측정 그래프

4. 결론

스테인리스강의 소성변형 하중영역에서 마찰계수측정이 가능하였으며, 실험결과 마찰하중이 탄성변형하중에서 소성변형하중으로 증가될 때 마찰계수가 증가되었고 그에 따른 마찰표면의 조도 값은 낮아지며 경도 값은 상승하는 결과를 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업의 지원에 의해 수행되었음 (GRANT NO. 10063258).

참고문헌

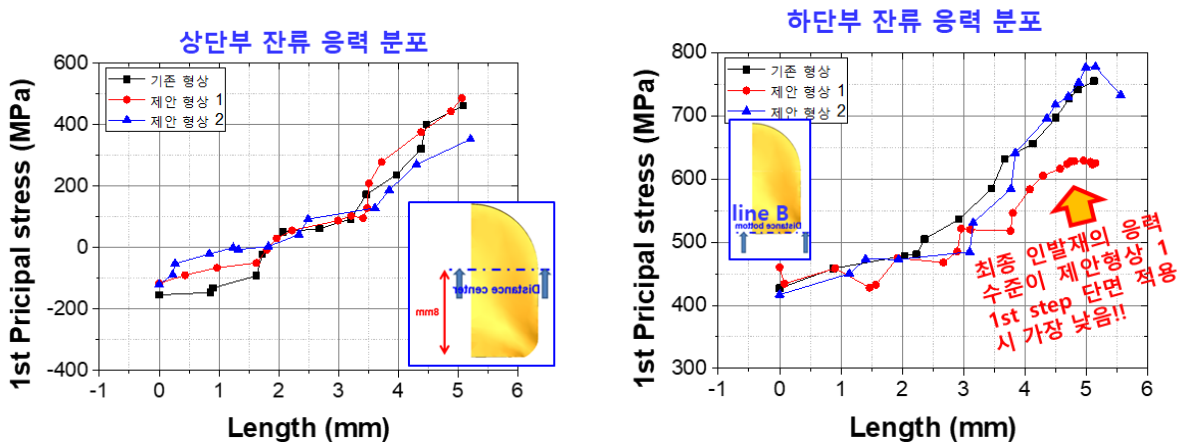
- [1] J. M. Lanzon, M. J. Cardew-Hall, P. D. Hodgson, J. Mater. Process. Technol. Vol.80-81, pp.251~256.
- [2] H. Kim, S. Han, Q. Yanc, T. Altan, CIRP Ann.-Manuf. Technol., Vol.57, pp.299~304.
- [3] S. S. Han, Trans. Mater. Process., Vol.20, No.2, pp.99~103.

2단 인발공정 단면 형상 제어를 통한 고강도 fuel rail pressure sensor의 잔류응력 저감 공정기술 개발

김세종¹ · 정중은¹ · 배성준¹ · 홍성박² · 홍성규² · 남궁 정³ · 김병민⁴ · 김정훈⁴ · 이광석¹

Abstract

Fuel rail sensor는 fuel rail 내부의 압력을 측정하는 장치로 측정된 정보를 바탕으로 엔진 제어 장치는 fuel rail에 공급되는 연료 공급량을 조절하여 적당량의 연료가 엔진에 공급되게 한다. 자동차 온실가스 배출에 대한 규제가 강화되고 동시에 엔진 출력 및 토크 향상에 대한 요구가 증가함에 따라 fuel rail의 요구 내압이 증가하고 있다. 이로 인해 fuel rail sensor의 고내압 고강도 특성의 필요성이 대두되고 있다. 기존의 fuel rail pressure sensor는 스테인리스강을 2단 인발 공정을 통해 소재를 가공경화시켜 강도를 향상시켰다. 그러나 특정 부위의 잔류 응력이 높고, 부위별 잔류 응력의 편차가 높아 인발 후 균열이 생기거나 후 가공 시 균열이 발생하는 문제가 발견되었다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 최종 인발 후 특정 부위에 집중된 잔류 응력을 낮추고, 부위별 잔류응력 편차를 줄일 수 있는 다양한 단면 감소율의 1차 인발 금형 단면 형상을 제안하였다. 제안된 형상에 대해 유한요소 해석을 수행하여 잔류 응력이 낮고 편차가 작은 두 가지 형상(형상 1, 형상 2)을 선정하였다. 기존 1차 인발 금형과 제안된 금형 형상을 이용하여 실제 인발 후, 최종 인발 품의 위치별 인장 특성을 평가하였고 XRD(xstress 3000)를 이용하여 주요 부위의 잔류 응력의 크기 및 분포를 평가하였다. 제안된 1차 인발 단면형상을 이용하여 인발 시 기존 형상 대비 최종 인발품의 응력·연신을 값이 높았으며, 파단에 주요 요인인 인발 방향 잔류 응력을 낮출 수 있고 잔류응력의 위치에 따른 편차를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.



발전기용 코일 웨지의 인발 공정에 따른 미세조직 및 특성 변화

정중은¹ · 김세종¹ · 배성준¹ · 남궁 정² · 김성민³ · 김성인³ · 이광석¹

Abstract

발전기용 코일 웨지 (coil wedge)는 발전기에 장착되어 회전 운동하는 코일을 고정하기 위한 부품으로, 회전 운동으로 생성되는 전자기장 (electro-magnetic field)의 대칭성 (symmetry)을 해치지 않기 위해 통상 비자성을 띄는 오스테나이트계 스테인레스 강으로 제조된다. 그러나 원소재인 AISI304 스테인레스 강은 소성 가공에 의해 소재의 일부가 마르텐사이트로 변태되는 성질 (deformation-induced martensitic transformation)을 가지고 있어, 냉간 인발 공정에 따른 발전기용 코일 웨지 제조 시 소재의 자성 특성이 변화될 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 발전기용 코일 웨지의 냉간 2단 인발 공정 시, 각 공정에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화에 대해 알아보고, 최종 부품의 잔류응력을 감소시키고, 상변태를 억제시킬 수 있는 새로운 인발 공정을 제시하고자 하였다. XRD (X-ray diffraction), EBSD (electron backscatter diffraction) 등 다양한 방법으로 기존 인발 및 열처리 공정에 따른 미세조직 변화를 관찰하였으며, 실험 결과를 바탕으로 새로운 인발 다이스를 설계하여 기존 공정 대비 단계별 압하량, 최종 부품의 표면잔류응력 등을 비교하였다.

Key Words : Coil wedge, Drawing process, SUS 304, Deformation induced transformation

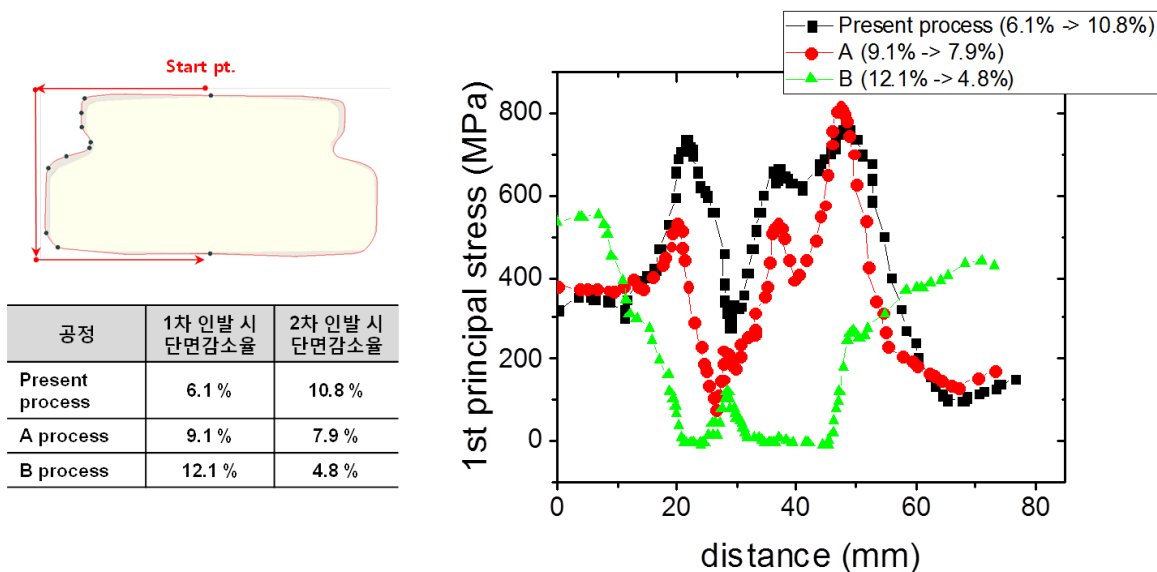


그림 1. 기존 인발 공정 및 제안된 인발 공정(A, B) 적용에 따른 인발 부품의 주응력 예측값

1. 재료연구소 (KIMS)
2. 포항산업과학연구원 (RIST)
3. (주)광진실업

소재 휨 결함 개선을 위한 다단 이형 인발 금형 설계

김정훈¹ · 김병민[#]

Die design to improve cambering defect in multi-stage shape drawing process

J. H. Kim, B. M. Kim

Abstract

Inhomogeneity of drawing force or die reacting force occurs in terms with asymmetric cross-sectional shape of product in shape drawing process. Strain distribution would be different according to reduction in area and half die angle. Besides, the reduction in area and half die angle affect residual stress of drawn product, also. For these reason, cambering of drawn product occurs easier than axisymmetric cross-sectional shape of product. Therefore, controlling method of strain distribution and residual stress has been researched to decrease the cambering defect.

In this study, die design method for improve cambering of drawn product were introduced through calculating drawing force of shape drawing process. The cross-sectional shape of each pass was divided by hyperbolic curves in each of which the focal distance was adjusted to suit the curvature at the corner. The drawing force of divided sections was calculated through modified Geleji's model. From results of the drawing force calculated, die shape was designed to control the inhomogeneity of drawing force. FE simulation for GDI fuel rail which has one symmetry plane was performed to verify the design method. The results of FE simulation were compared with industrial design method.

Key Words : Multi-stage shape drawing process(다단 이형 인발 공정), Die design(금형 설계), Cambering(휨), Drawing force(인발력), GDI fuel rail(GDI 연료 레일)

후 기

이 논문은 2016년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원('10063258') 및 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1D1A1B03028012).

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템 전공
교신저자: 부산대학교 기계공학부,
E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

5. 일반 논문 발표

(제 2 발표회장)

열간 단조공정에서 열전달계수가 원통형 알루미늄의 온도 및 치수에 미치는 영향

전효원¹ · 서창희^{1#} · 박춘달¹ · 전진호² · 최현열² · 강경필³

Effect of Heat Transfer Coefficient on the Temperature and Dimension of Cylindrical Aluminum in Hot Forging Process

H. W. Jeon, C. H. Suh, C. D. Park, J. H. Jeon, H. Y. Choi, G. P. Kang

Abstract

The aluminum alloy is about one-third lighter than iron and has excellent corrosion resistance. Due to such mechanical properties, many studies are being conducted for application to automobile parts. In order to apply aluminum alloy to automobile parts, forming analysis is preceded by commercial finite element analysis program. The purpose of this study is to analyze the effect of heat transfer coefficient on the formability of aluminum alloys. For the analysis of the formability according to the heat transfer coefficient, the heat transfer coefficient was derived from the experiment and the existing paper. For the analysis of formability, Al 6082 material was used and upsetting method, which is a type of free forging, was used to heat the material heated to 540℃. The program used for the forming analysis was DEFORM-3D. After analyzing, the shape and the dimensional change according to the heat transfer coefficient were analyzed and compared with the actual experiment.

Key Words : Aluminum(알루미늄), Hot forging(열간단조), Heat transfer coefficient(열전달계수), Finite element analysis(유한요소해석), Dimension(치수), Temperature(온도)

본 연구는 산업통상자원부 지역주력산업육성기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

1. 대구기계부품연구원

2. ㈜화신정공

3. 솔루션랩

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

레이저를 이용한 금속과 CFRP 이종재질 접합 및 사전 산화막 처리 영향 연구

김정환^{1#} · Barton Mensah Arkhurst¹ · 설재복² · 이연승³ · 한상배⁴ · 이목영⁵

Effect of pre-oxidation treatment on the bonding strength of AZ31/carbon-fiber-reinforced plastic composites fabricated by thermal laser joining

Jeoung Han Kim^{1#}, Barton Mensah Arkhurst¹, Jae Bok Seol², Youn Seoung Lee³, S.B. Han⁴,
Mok-Young Lee⁵

Abstract

In this study, a new material joining process called laser-assisted metal and plastic joining (LAMP) was developed. The feasibility, nature and mechanisms of this process were investigated for joining carbon fiber reinforced plastic (CFRP) and an AZ31 Mg alloy. Two sets of joint specimens were prepared, one set with as-received Mg sheets, and the other with Mg alloy sheets that had been annealed for different duration times. It was observed that an oxide layer, introduced on the surface of the Mg alloy by the annealing, had a significant influence on the bonding strength of the joints. Tensile shear test results showed that a high strength joint of approximately 5.1 kN could be achieved. Bubble formation and the decomposition of the CFRP near the joint interface was observed on the joints with the as-received Mg alloy sheets, but was not observed on the joints that had oxide layers on the Mg alloy sheets after annealing. Moreover, the oxide layer grew into the CFRP near the joint interface for joints with the annealed Mg alloy sheets, indicating the possibility of mechanical anchoring effects which greatly enhanced the joining strength.

Key Words : magnesium alloy; carbon fiber reinforced plastic; interface; bonding; atom probe tomography.

1. Introduction

In this work, a new material joining process known as laser-assisted metal and plastic joining (LAMP) was developed for joining dissimilar materials, specifically metals and plastics. The feasibility of using the HMP joining process to join CFRP and AZ31 magnesium alloy sheets was investigated. In the HMP joining process, two sets of Mg alloy specimens were prepared: one set was annealed at different times to impute oxide layers on the Mg alloy surface, and the other set was the as-received Mg alloy sheets. The oxidized and as-received Mg alloy specimens were joined to CFRP sheets under different hot metal pressing temperatures, i.e., 400, 500 and 600 °C.

1. 한밭대학교 신소재공학과

2. 포항공대 NINT

3. 한밭대학교 정보통신공학과

4. 유로비전

5. 포항산업과학기술원

교신저자: 한밭대학교, jh.kim@hanbat.ac.kr

2. Experiment

The AZ31 Mg alloy sheets were fabricated by rolling through a reversible warm mill after a twin roll strip casting process, to a thickness of 2.0 mm (provided by POSCO). The chemical composition of the AZ31 Mg sheet was Mg – 2.9%Al – 0.75% Zn – 0.33%Mn – 0.03%Si (in wt.%). The CFRP used for the HMP joining was composed of a thermoplastic polyurethane (TPU) as the plastic matrix and long fiber pellets of chopped carbon fibers (approximately 7 mm in length and 15 μ m in diameter). The CFRP sheets were manufactured in an autoclave process using two layers of carbon fiber fabric. The glass transition temperature of the CFRP was approximately 143 °C and the melting temperature was 397 °C.

3. Results and discussion

Tensile shear tests were conducted to evaluate the joint strengths of all the HMP joint samples produced under different processing parameters. Fig. 5 presents the tensile shear test results expressed as tensile shear load, plotted against the annealing time at different temperatures. The ratio of the maximum acceptable deviation to standard deviation (according to Chauvenet's criterion) for the tensile shear load values was 1.38. Among the HMPB joint samples, the tensile shear loads of the samples with thermally oxidized Mg alloy were higher than the sample with the as-received Mg alloy. The tensile shear load at 0 annealing time was 1.9 kN, it then increased to 3.3 kN at the annealing time of 2 minutes, and to a peak value of 5.1 kN after 5 minutes of annealing. After 5 minutes of annealing, the tensile shear load decreased to 4.3 kN and then finally to 3.8 kN after 20 minutes of annealing. From these results, it is clear that the oxide layer introduced on the surface the Mg alloy during the annealing heat treatment had an effect on the strength of the joints obtained with the HMP joining technique. The oxide layer enhanced the tensile shear strengths of the joints.

4. Summary

A hot metal pressing technique was used to join a CFRP and the AZ31 Mg alloy. The joining process was performed using as-received Mg alloy sheets, and Mg alloy sheets that were first thermally oxidized by annealing for different times.

알루미늄 복합체의 통계 기반 3차원 미세조직 구현 및 열-기계적 특성 모사

박형근¹ · 정재면¹ · 김형섭^{1, 2, #}

Statistical synthetic 3D microstructure modeling of Aluminum composites and its thermo-mechanical simulation

H. K. Park, J. Jung, H. S. Kim

Abstract

입자강화 복합재료의 기계적 및 열적 특성은 일반적으로 그 미세구조에 영향을 받는다. 본 연구에서는 통계 기반 모델링을 통해 SiC 입자강화 알루미늄 복합체의 3차원 미세조직을 구현했다. 열-기계적 유한 요소 해석을 통해 복합체의 탄성 계수와 열팽창 계수를 예측했고, 이는 실험 결과와 잘 일치했다. 통계 기반 3차원 미세조직을 통한 계산 결과는 기존의 단위 격자 모형과 비교했을 때 불규칙적인 응력과 변형을 분포를 보여주었다. 계산의 정확도와 적용성, 비용을 고려했을 때, 통계 기반 모델은 광범위한 재료에 대해 효율적인 모델이 될 수 있는 잠재력을 확인했다.

Key Words : Synthetic structure, Statistical parameter, Finite element method, Three-dimensional microstructure, Thermo-mechanical properties

1. 서론

일반적으로 입자강화 복합재료의 물리적 특성은 구조의 조성뿐만 아니라 미세조직에도 의존한다. 특히 기계적 및 열적 특성은 입자의 크기, 형태뿐만 아니라 공간적 분포에 의해서도 영향을 받는다. 이러한 물리적 특성과 미세조직 사이의 관계를 이해하는 것은 복합재료의 물성을 예측하는 데에 필요하다.

복합재료의 전산 모사의 첫 단계는 그 미세조직의 구현이다. 미세조직을 구현하기 위해 가장 단순한 단위 격자 모델을 비롯해 2차원, 3차원의 실제 이미지를 바탕으로 미세조직의 형상을 본뜨는 여러 기법들이 연구되어왔다. 하지만 단위 격자 모델의 경우 입자의 공간적 분포의 영향을 고려할 수 없고, 2차원 이미지 기반 모델은 한 쪽 면의 정보만을 사용하기 때문에 잘못된 3차원 구조를 야기할 수 있다. 또한 3차원 이미지 기반 모델의 경우엔 정확도는 매우 높으나 미세조직 구현에 큰 비용이 들어간다는 단점이 있다.

최근에는 미세조직 구현의 새로운 방법으로 통계적 미세조직 정보를 이용해 3차원 미세조직을 합성하는 기법이 주목을 받고 있다. 통계 기반 미세조직 모델은 3차원 미세조직을 아주 간단하고 빠르게 제작할 수 있으며, 다양한 형상학적 요소가 고려되어 전산모사의 정확도도 매우 높다.

본 연구에서는 통계 기반 모델링을 통해 SiC 입자강화 알루미늄 복합체의 3차원 미세조직을 구현하고, 이들의 열-기계적 유한 요소 해석을 통해 탄성 계수와 열팽창 계수를 예측해 구현한 모델의 정확도를 평가했다.

1. 포항공과대학교 신소재공학과

2. 포항공과대학교 고엔트로피합금연구단

교신저자: hskim@postech.ac.kr

2. 실험방법

SiC 입자강화 알루미늄 복합체는 알루미늄 분말과 SiC 분말을 소결해 SiC 부피 분율 10%, 20%로 만들었다. 이 때 입자의 평균 지름은 각각 97.5 μm , 98.3 μm 로 측정되었다. 3차원 미세조직은 실험을 바탕으로 한 미세조직 정보와 DREAM.3D 소프트웨어를 이용해 제작되었다. 알루미늄과 SiC 입자의 형상은 각각 등방상의 초타원형으로, 크기 분포는 측정한 평균 값과 편차 값을 이용해 로그-정규분포에 맞게 설정되었다.

제작된 3차원 모델의 유한 요소 해석에는 ABAQUS 소프트웨어가 사용되었다. SiC 부피 분율 10%, 20%에 대해 각각 압축 시험을 통한 탄성 계수 예측과 열팽창 시험을 통한 열팽창 계수 예측이 이루어졌다.

3. 결과 및 고찰

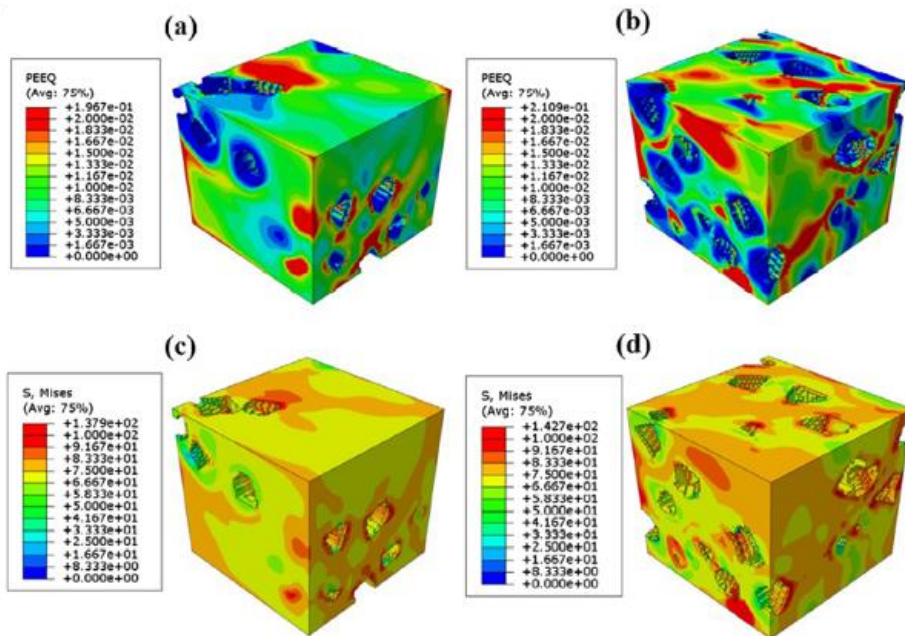


Figure 1. Distribution of equivalent plastic strain for (a) 10 vol% SiC, (b) 20 vol% SiC, and equivalent stress for (c) 10 vol% SiC, (d) 20 vol% SiC, in the Al matrix after 1.0% reduction.

통계 기반 3차원 모델의 압축 시험 유한 요소 해석 결과 기존의 모델들 보다 실험값에 더 가까운 탄성 계수를 예측했다. 또한 불균질한 SiC 입자의 분포로 인해 변형률과 응력의 불균질한 분포가 관찰이 되었으며, 응력의 집중이 단위 격자 모델보다 더 크게 나타났다. 열팽창 시험의 경우에도 마찬가지로 기존의 다른 모델들에 비해 우수한 정확도를 보였다. 통계 기반 3차원 모델의 정확도는 3차원 실제 이미지 기반 모델의 정확도와 비슷한 수준으로, 둘을 비교했을 때 훨씬 더 빠르고 간단하며 적은 비용이 들어가는 통계 기반 모델이 더욱 효율적인 기법이라고 볼 수 있다.

참고문헌

[1] H.K. Park, J. Jung, and H.S. Kim: Comp. Mater. Sci. 126 (2017) 265-271.

마그네슘 합금 판재의 온간 V-굽힘에서 변형률 속도를 고려한 굽힘 변형 특성 분석

김현우¹ · 유제형¹ · 이창환^{1, #}

Study on the V-bending deformation characteristics of AZ31B considering effect of strain rate in warm forming

H.W Kim, J.H Yu, C.W Lee

Abstract

Magnesium alloy sheet is anisotropic and has low formability due to its low elongation. Warm forming is a method of improving its formability by increasing the temperature. Many studies show that 250 °C is the optimum temperature for forming magnesium alloy sheet. Unlike at room temperature, magnesium alloys show different yield strengths with temperature and strain rate. The effect of temperature and strain rate on warm forming is a factor that should be considered. In V-bending process, the plastic deformation was distributed widely comparing with the deformation in the room temperature. The distributed deformation of material makes a three-point contact between the punch and material. Three-point contact causes the radius of curvature of material to be larger than the punch radius. The strain rate distribution of the material makes three-point contact at different strokes of punch with respect to the punch radius. In this study, the V-bending deformation characteristics of magnesium alloy sheet in warm forming was studied using the commercial finite element code ABAQUS. We also analyzed the variations in stroke of punch in three-point contact according to punch radius. Through simulation, it was confirmed that the bending deformation characteristics of magnesium alloy sheet at 250 °C were different from the room temperature.

Key Words: Warm Forming, Deformation Characteristics, Strain rate, Magnesium Alloy Sheet, Punch radius

후 기

본 연구는 정부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행 되었습니다.
(과제 번호: NRF-2017R1C1B5017648)

1. 서울과학기술대학교 기계디자인금형공학과
Corresponding Author: Seoul National University of Science and Technology, Department of Mechanical system and Design Engineering, E-mail: cwlee@seoultech.ac.kr

구성방정식 특성화를 위한 결정소성 모델 활용

정영웅¹

Constitutive model characterization assisted by crystal plasticity

Y. Jeong

Abstract

Many sheet metals exhibit mechanical anisotropy, which is attributed mainly to the crystallographic texture originated from precedent manufacturing processes such as cold-rolling and annealing. During metal forming operations, the crystallographic texture further develops, and the formation and annihilation of dislocation structure occur. These microstructural evolutions lead to anisotropic strain-hardening, which is typically explained by the Bauschinger effect and the latent hardening.

Various macro-mechanical models have been developed to account for the mechanical anisotropy and anisotropic strain-hardening. Empirical strain-hardening models such as kinematic and distortional hardening laws have been used in various finite element forming simulations. Despite of its successful case studies in terms of formability and springback predictions, their industrial application remains challenging due to difficulties in their experimental characterization.

In this presentation, a crystal plasticity framework is introduced, which can assist the experimental characterization required for a chosen macro-mechanical model. The applications for two steel samples are demonstrated: a single ferritic phase steel and a dual-phase steel consisting of ferrite and martensite. The results indicate that the simple numerical calculations using crystal plasticity model can replace some of very difficult experimental characterization.

Key Words : Crystal plasticity, Constitutive model, yield surface, anisotropy, VPSC

1. 창원대학교, 신소재공학부, yjeong@changwon.ac.kr

후판 곡률 성형을 위한 열간/냉각 다점성형기술

이인규^{1,2} · 이성윤¹ · 정명식¹ · 김병민² · 이상곤[#]

Hot/cooling multi-point forming process for thick plate forming

I. K. Lee, S. Y. Lee, M. S. Jeong, B. M. Kim, S. K. Lee

Abstract

후판을 이용한 다양한 곡면성형을 위해 최근 가변금형을 이용한 성형기술이 주목 받고 있다. 그러나, 두꺼운 후판 성형의 경우 성형하중이 매우 높고, 탄성회복에 의한 치수정밀도 확보가 매우 어려운 단점이 있다. 따라서, 이러한 단점을 극복하기 위한 성형기술이 요구되고 있다.

본 연구에서는 후판 자유곡면 성형 시 기존 가변금형에서 발생하는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 열간/냉각 가변금형 성형공정을 제안하였다. 열간/냉각 가변성형공정은 일반적인 가변금형과는 달리 각 펀치 블록 내부에 냉각노즐이 설치 되어있어, 필요에 따라 펀치가 선택적으로 성형 펀치 및 냉각 노즐로 변환되어 사용된다. 성형해석을 통해 제안된 열간/냉각 가변금형 적용 성형공정에 대한 타당성을 검증하였으며, 실험을 통해 그 타당성을 평가하였다.

Key Words : Hot/cooling multi-point forming process, Thick plate forming, Cooling system, FE analysis, Experiment

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. 부산대학교 정밀가공시스템전공

3. 부산대학교 기계공학부

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

핫스탬핑 성형한계도 적용의 온도 조건 연구

심성용¹ · 김흥규[#]

A Study on Temperature Condition in Application of Forming Limit Diagram of Hot Stamping

S. Y. Shim, H. K. Kim

Abstract

Hot stamping is a forming technique that applies rapid cooling immediately after stamping of a material heated to a high temperature, thereby greatly improving the strength of the raw material to the level of UHSS(Ultra High Strength Steel). Since the design utilizing the merits of hot stamping can improve the safety of the vehicle and attain weight reduction, it is widely applied in the manufacturing of mass production vehicles in recent years. In the hot stamping process, the boron steel sheet is heated to 900 to 950 °C, rapidly cooled, and transformed into the martensitic phase. Since the forming operation is mainly performed at a high temperature, the flow stress of the material is small and accordingly, the springback size is also small. Since the material elongation is increased a lot in hot stamping at a higher temperature than at room temperature, the forming failure during hot stamping is not likely to occur unless the target shape of the part is too complicated. However, it is increasingly necessary to apply the temperature-dependent FLD of hot stamping into the forming design process of body parts as the complexity of vehicle body shape increases more and more. In this paper, we examined how to assume the temperature of the non-isothermally deforming parts when applying a hot stamping FLD(Forming Limit Diagram) data which are obtained under isothermal conditions. The hot stamping test were performed using a T-shaped model which simulates the shape of the B-pillars. The temperature history of the T-shaped model was tracked by the finite element analysis using Autoform R6. And the temperature-dependent forming limit behavior was examined and discussed.

Key Words : Hot stamping, UHSS(Ultra High Strength Steel), FLD(Forming Limit Diagram), B-pillar, Finite Element Analysis

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

자동차용 센터필러를 대상으로 한 국부연화 핫스탬핑 공정에서의 후변형 예측

권태하¹ · 서창희^{1#} · 전효원¹ · 박춘달¹ · 김용식² · 안중현²

Prediction of Post-deformation in Local Softening Hot Stamping Process for Automobile Center Pillar

T. H. Kwon, C. H. Suh, H. W. Jeon, C. D. Park, Y. S. Kim, J. H. Ahn

Abstract

Hot stamping is widely used for lightweight automobile parts. In order to improve crashworthiness, local softening hot stamping, which partially controls the strength of parts, is being studied. Typical automotive parts using local softening hot stamping technology are center pillar. In local softening hot stamping, the temperature and microstructure are different for each region, which causes excessive post-deformation compared to general hot stamping. In this study, the center pillar of the automobile was used and the die was divided into the upper part and the lower part. In the upper part die, the cooling rate of the blank was increased by inserting the cooling channel, and the cooling rate of the blank was decreased by heating the lower part die. In other words, the upper region of the center pillar has a high strength and the lower region has a low strength. In this study, the simulation for predicting the hot formability and post-deformation of the local softening hot stamping was studied, and the precision of the simulation was examined through the prototype production.

Key Words : Hot stamping(핫스탬핑), Local softening(국부연화), Post-deformation(후변형), Center pillar(센터필라), Simulation(해석)

후 기

본 연구는 산업통상자원부 경제협력권산업육성사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

1. 대구기계부품연구원

2. 화신테크

교신저자: 대구기계부품연구원, E-mail:suhch@dmi.re.kr

유압벌지시험을 이용한 순타이타늄 판재의 물성거동 평가

팜콕투안¹ · 김진재¹ · 박기철² · 김영석[#]

Identification of material characteristics of pure titanium sheet using hydraulic bulge test

Q. T. Pham, J. J. Kim, K. C. Park, Y. S. Kim

Abstract

This study presents a constitutive model to describe characteristics of commercially pure titanium (CP Ti) sheets based on non-associated flow rule. Owing to distortional hardening behavior of CP Ti sheet, evolution Hill's quadratic functions are used to reproduce the transient of yield surface and potential surface during plastic deformation. Additionally, the Kim-Tuan hardening model is used to capture the effective stress-strain curve until large strain ranges. Developed material model is then applied to simulate the bulge test to verify its accuracy. Based on simulation results, it is concluded that the DH behavior strongly effects the evaluation of apex height in bulge test.

Key Words : Hydraulic bulge test, Non-associated flow curve, Yield function , Kim-Tuan equation, FE simulation

1. 서론

최근 열교환기, 자동차, 항공기 및 의료산업에서 순 타이타늄 판재의 적용이 확대되고 있다. 그러나, 순 타이타늄의 경우에는 원자의 배열이 육방 밀집 구조로 되어있어 적용에 어려움을 겪고 있으며, 이러한 이유에서 순 타이타늄에 대한 유한요소법의 필요성이 증대되고 있다.

본 연구에서는 유한요소해석을 위해 순 타이타늄에 대한 비연합유동을 기초로 하는 구성모델을 소개하였으며, 왜곡 경화 모델(Distortional Hardening)을 사용하여 ABAQUS VUMAT을 이용하여 구현하였다.

2. 실험방법

순 타이타늄의 응력-변형률 거동 및 데이터를 확보하기 위하여 다양한 방향의 인장시편을 채취하여 실험하였다. 또한, 등2축 응력하에서의 응력-변형률 선도를 얻기 위하여 유압벌지실험을 하였으며, 응력-변형률 데이터를 등가응력-변형률 선도로 변환하였다. 그림 1에 항복함수를 이용하여 선도로 나타내었다. 더불어 항복곡선과 소성퍼텐셜 곡선은 다음과 같이 설명되어진다.

$$f = \sqrt{G\sigma_{11}^2 + F\sigma_{22}^2 + H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2N\sigma_{12}^2} - \sigma^y$$

$$g = \sqrt{G'\sigma_{11}^2 + F'\sigma_{22}^2 + H'(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2N'\sigma_{12}^2} - \sigma^y$$

1. 경북대학교 대학원, 대구

2. POSCO R&D 센터, 송도

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

위에서 G, H, F, N 은 응력항에서 계산되는 재료상수이며, G', H', F', N' 은 변형률항에서 계산되는 재료상수이다[1]. 왜곡 경화 모델을 얻기 위해서는 항복함수를 교정하는 것과 관련된 모든 변수가 소성 변형 중에 생성되는 등가소성작업의 함수로 취급되어야 한다[2]. 반면, 포텐셜함수를 포함하는 변수는 상수로 가정된다[3].

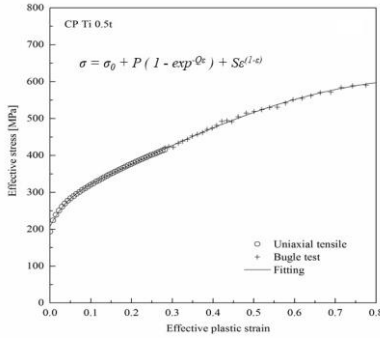


그림 1. 유압벌지실험으로 얻은 데이터를 변환한 결과

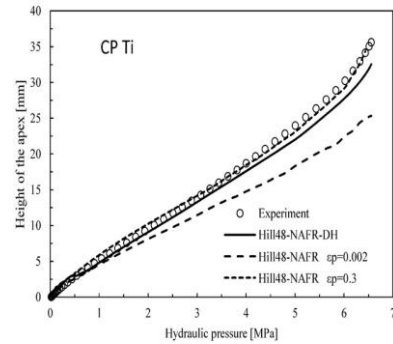


그림 2. 실험과 해석의 돔 높이 비교 결과

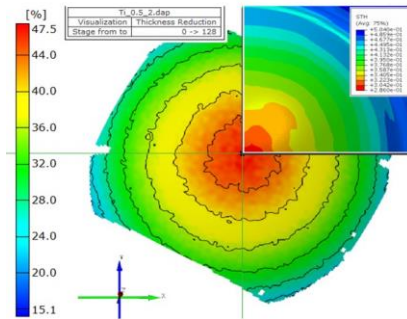


그림 3. 변형된 시편 표면의 두께와 유한요소해석에서의 두께 비교

3. 결과 및 고찰

순 타이타늄 판재의 해석을 위해 ABAQUS/Explicit의 VUMAT을 사용했으며, 그림 2에 실험 높이를 계산 결과와 함께 나타냈다. DH 모델은 실험 측정 데이터와 가장 일치하는 결과를 보였으며, 그림 3에 변형된 시편 표면의 두께와 유한요소해석으로 얻은 두께를 비교한 결과이다.

4. 결론

본 논문에서는 순 타이타늄 판재의 유압벌지실험과 DH 모델을 이용한 거동 묘사를 비교하였으며, 잘 일치한다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지기술개발 사업(과제번호 20155000000100) 및 2018 년도 정부(교육부)의 중점연구소지원사업(No. 2010-0020089) 재원으로 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Met. Mater. Int., Vol. 23, No. 2 (2017), pp. 254~263
- [2] Int. J. Mech. Sci., Vol 73 (2013) pp. 53-68
- [3] AIP Conference Proceedings 1567, 496 (2013); <https://doi.org/10.1063/1.4850020>

열간 성형 후 급냉한 Al 7075 판재 부품의 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구

김민석¹ · 권용남[#] · 이동준²

Microstructure and Mechanical Properties of Al 7075 Sheet Formed Part after Hot Forming Followed by Direct Quenching

S. M. Kim, Y.-N. Kwon and D. J. Lee

Abstract

자동차 산업에서는 연비향상을 위한 자동차 산업에서는 연비향상을 위한 경량화 소재의 적용이 지속적으로 증가하고 있다. 하지만, 기존에 예상한 것과 달리 경량 비철금속의 적용이 큰 폭으로 증가하지 않고 있는데 이는 소재 물성에 대비하여 높은 비용이 원인으로 판단된다. 알루미늄 합금은 우수한 비강성과 내식성을 강점을 가지고 있지만 소재비용과 절강에 비하여 높은 공정비용으로 양산화에 걸림돌이 되고 있다.

본 연구는 고온 변형 후 직접 열처리를 하는 방법으로 공정비용을 낮추는 것과 함께 기존 고온성형에 대비하여 보다 작은 곡률반경을 얻을 수 있는 성형법을 제안하였다. Al7075 합금을 사용하여 사각 박스형태의 부품을 제작하여 공정의 가능성을 검토하고자 한다. 또한 Al7075 합금의 고온 인장실험을 실시하여 고온변형거동을 분석하였다. 성형 후 변형률에 따른 기계적 물성 변화를 확인하기 위하여, 일정 변형률에 따른 고온 변형을 실시 후 T6열처리를 진행하여 기계적 물성을 측정하였다. 고온변형 후 EBSD(Electron Backscatter Diffraction) 분석을 실시하였고, 미세조직 변화가 기계적 물성에 미치는 영향을 확인하였다.

Key Words : Al7075, Sheet metal forming, Direct Quenching, Gas Blow Forming, EBSD

1. 재료연구소 항공우주소재연구센터

2. 재료연구소 변형제어연구실

Corresponding Author : Aerospace Materials Research Center of KIMS, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

레이저 용융 적층 기술을 이용한 HWS 적층부의 기계적 특성 관찰

백경윤^{1,2} · 신광용² · 이기용² · 심도식^{3, #}

Characteristic of Deposited HWS Using DED Technology

G. Y. Baek, G. Y. Shin, G. Y. Lee, D. S. Shim

Abstract

High Wear resistance Steel(HWS) 공구강은 높은 인성과 내마모성을 가진 고성능 금형 소재로 개발되었으며, 특히, 높은 내구성을 요구하는 전단용 금형을 제작하기 위하여 합금 설계되었다. 본 연구에서는 이러한 HWS 소재를 이용하여 레이저 용융 적층 공정에 적용 가능한 50 - 150 μm 크기의 분말로 제조한 뒤, DED(Direct Energy Deposition) 공정을 이용하여 적층한 후 기계적 물성 평가를 통해 금형 강화 적용 가능성을 평가하였다. HWS 분말을 적층하기 위하여 공정조건을 수립하고, 기계적 물성 분석을 위한 시편을 제작하였다. 적층 과정 중 발생하는 기공이나 내부 크랙과 같은 결함 여부를 확인하기 위하여 적층부의 단층촬영(CT)을 수행하였다. 그 결과, 적층부와 모재와의 인터페이스 영역에서의 적층결함은 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다. 기계적 시험은 대표적으로 금형 강화에서 요구되는 경도 및 내마모, 내충격성을 측정하였으며, 산업적으로 많이 사용되고 있는 열처리된 SKD11 금형강 소재와 비교하였다. 시험 결과, 적층부의 경도는 SKD11 열처리 소재와 유사한 55 HRC 경도를 나타내었으며, 내마모성은 HWS 적층소재에서 우수하게 나타났다. 한편, 샤르피 시험 결과, 열처리한 SKD11 의 1.79 J 보다 높은 3.06 J 의 충격흡수에너지 값을 나타내었다. 따라서, HWS 소재를 이용하여 DED 공정으로 금형 표면 강화에 적용 할 경우, 기존의 SKD11 보다 개선된 내구성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Key Words : 레이저 용융 적층 기술(DED), HWS, 금형강화, 충격시험, 경도

1. 전남대학교 기계공학부
2. 한국생산기술연구원 스마트가공공정그룹
3. 한국해양대학교 해양신소재융합공학과
한국해양대학교 해양신소재융합공학과, E-mail: think@kmou.ac.kr

고강도 금형 소재 사용에 따른 열간금형 수명 연장에 대한 코팅층이 고려된 금형응력 해석 연구

이승열^{1#} · 이경훈¹

Analysis of die stresses considering coating layer for extended hot forming die life by using high strength mold material

S. Y Lee, K. Lee

Abstract

금형강 재료의 기계적 특성 및 열처리 상태와 표면처리 상태는 금형의 수명을 결정하는 요인 중 하나이다. 금형의 수명을 연장시키고자 하는 노력으로 새로운 강종 개발과 열처리 기법 및 표면처리 기법이 꾸준히 연구 중이다. 특히 유럽의 경우 재용해 기술을 적용한 고급 강종 개발에 앞서나가고 있다. 재용해 기술은 비금속 개재물을 제거하는 2차 정련 방법으로 고급 고 청정 공구강 생산에 이 방법을 사용 중에 있다. 2차 정련을 거친 공구강은 비금속 개재물의 최소 함량으로 기계적 성능이 좋아지고 열간 금형에 적용하여 금형 수명의 향상을 기대할 수 있다. 열간금형의 마모 및 피로 파손은 코팅층에서 시작하며, 코팅층의 건고함이 금형 수명에 영향을 준다. 따라서 코팅층의 건고함을 유지하기 위해서는 금형 모재의 기계적 성능이 중요하다. 본 연구에서는 고강도 금형 소재 사용에 따른 열간금형 수명 연장의 효과를 확인하였다. 기존 열간 단조 공정에 사용된 금형은 STD-61종으로 500°C 항복강도 1,000MPa, 인장강도 1,300MPa의 기계적 성능을 갖는 반면 고강도 금형 소재는 오스트리아 뵘러사의 W360종으로 500°C 항복강도 1,249MPa, 인장강도 1,471MPa의 기계적 성능을 갖고 있다. 열간 단조 금형의 강종을 W360으로 바꿔 테스트한 결과 기존 대비 작업량이 2배로 나타났다. 이같이 고강도 금형강 재질을 사용하여 금형의 수명이 늘어난 현상을 유한요소해석으로 구현하기 위하여 코팅층을 고려한 금형응력 해석을 수행하여 모재의 기계적 성능에 따른 코팅층에 생기는 응력을 비교 분석하였다. 해석 모델은 2D 축 대칭 조건으로 만들었고, 코팅 메쉬 구성은 각 층을 100 μ m로 총 300 μ m의 코팅 메쉬를 금형 소재 내측에 생성하여 표면에서부터 1층은 질화 코팅 소재로, 나머지 2개층은 모재와 동일한 소재로 메쉬를 구성하였다. 금형에 작용하는 외력은 성형해석의 소재로부터 힘을 보간 받아 힘 경계조건으로 설정하였다. 해석결과 코팅층에 발생하는 원주방향 응력은 STD-61종의 경우 5,670MPa이 최대로 작용하고, W360종의 경우 4,710MPa이 최대로 작용하였다. 이는 동일한 외력을 받는 경우 항복요소가 많은 STD-61종이 W360종 보다 코팅층의 원주방향 응력 크기가 대략 20% 더 크게 작용하는 것을 확인하였다. 따라서, 금형모재의 강도가 강할수록 코팅층에 생기는 응력이 감소되고, 금형의 수명이 늘어나는 것을 확인하였다.

Key Words : Hot Work Tool Steel, Tool Life, High Strength, Die Stress, FEM

1. 솔루션랩

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

6. 특 별 세 셴

가변 단면 튜브 적용 경량화율 30% 이상의
770mm 급 일체형 장구동축 복합성형기술
개발
(제 3 발표회장)

성형 공정에 따른 중공축 단조품 및 열처리 제품의 조직학적 분석

손승우¹ · 신승만² · 이종훈^{1,#}

Analysis on microstructure of hollow shaft during forming and heat treatment processes

S. Son, S.M. Shin, Z. Lee

Abstract

To weight reduction of car, our research group have been trying to compose a hollow shaft as variable cross section. We analyzed each part of the variable cross section plate made by KIMS. With this material, effects of forming processes were studied. After forming processes, a laser-arc hybrid welding effects were observed. The arc welding process is easy and convenient when an object is thick. The laser welding process has merits of deep fusion depth and fast welding speed. With those advantages of the arc and the laser welding processes, industrial field tried to combine the arc and the laser welding processes as hybrid welding. The variable conditions such as laser power, arc current and welding speed will be used for manufacturing variable thickness hollow drive shaft for automobile. This study investigated the microstructure of the hollow shaft during forming processes. Additionally, the effects of heat treatment with the hybrid welding parameters were investigated to find suitable conditions for stable forming process.

Key Words : Microstructure Analysis, Variable cross section plate, Rolling, Forming, Hybrid welding

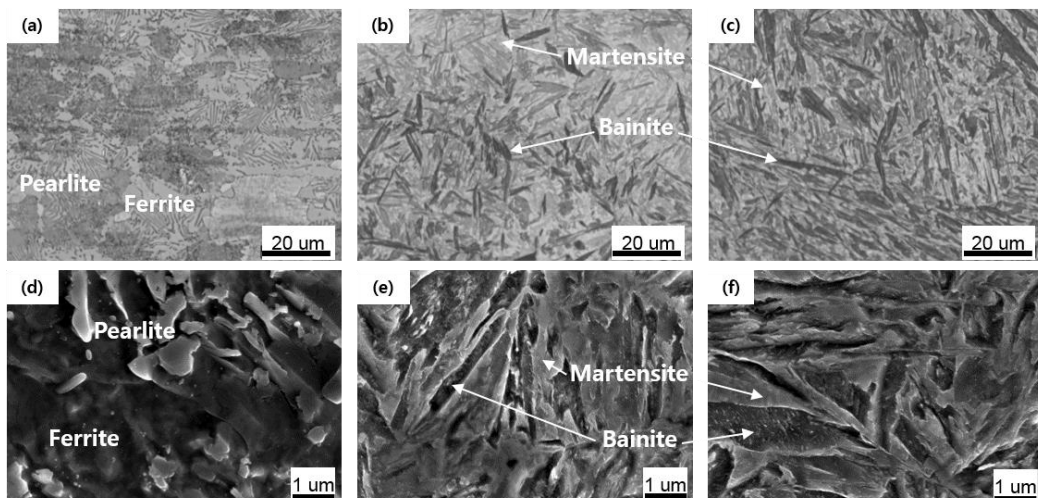


Figure 1. Microstructure of the laser-arc hybrid welding joint

1. 울산과학기술원 신소재공학부

2. 한국프랜지

교신저자: 울산과학기술원 신소재공학부, E-mail: zhlee@unist.ac.kr

차량 장구동축 일체화 설계를 위한 스웨이징 공정 연구

김용배¹ · 정선호¹ · 이상교¹ · 임성주¹ · 이종섭¹

Swaging process for integrated design of drive shaft assembly

Y. B. Kim, S. Lee, S. H. Jung, S. J. Lim, J. Lee

Abstract

Reduction of vehicle weight has received much attention in order for automotive manufacturers to raise the competitive edge of their products. Integrated design is one of effective methods for reduction of product weight as well as improvement of productivity by reducing number of assembly steps. In this study, swaging process was particularly designed for production of the integrated part for drive shaft assembly. Forming of the part was conducted by swaging process with variance of the process parameters such as the shape of the die, the number of multi-step, the inlet angle. Importance of each process parameter was relatively evaluated by comparison of thickening ratio, roundness, and the metallographic characteristics between the case products. The process parameters were optimized for the swaging process and it successfully formed the product with the required quality satisfied.

Key Words: swaging, thickening ration, roundness, integrated assembly, drive shaft assembly

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

롤 포밍에 의한 변형 잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석

임수범¹ · 이영석[#]

Analysis of the Effect of Strain Residual Stress due to Roll Forming on Residual Stress of Laser-Hybrid Welding

S. B. Yim, Y. S. Lee

Abstract

본 연구에서는 가변단면튜브의 롤 포밍 공정에서 소재에 발생하는 잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 가변단면 튜브의 소재는 ST35MnB이다. 롤 포밍 공정과 레이저 하이브리드 용접공정에서 발생하는 잔류응력은 범용 유한요소해석 툴인 ABAQUS를 통해 계산하였다. 연속으로 이뤄지는 롤 포밍 공정과 레이저 하이브리드 용접 공정을 해석하기 위해 연속 해석 기법인 solution mapping 방법을 적용 하였다. 이를 통해 성형 후 잔류응력을 용접해석에 적용하여 해석 결과의 정확도를 높이하고자 하였다. 레이저 하이브리드 용접 후의 잔류응력은 반파괴 시험 방법인 홀 드릴링 시험으로 측정 하였다. 가변단면튜브의 각 구간별로 표면의 잔류응력을 측정하였으며 계산된 잔류응력과 측정된 잔류응력 값을 비교하여 FE모델의 정확성을 평가하였다.

Key Words Variable section tube, Roll forming, Laser-Hybrid welding, Finite elements method(FEM), Residual stress, Heat affected(HAZ), hole drilling, Solution mapping

1. 중앙대학교 기계공학과

교신저자: 중앙대학교 기계공학부 E-mail: ysl@cau.ac.kr

가변단면 튜브를 이용한 중공 장구동축 개발

이호원¹ · 이종섭² · 신승만³ · 이재현⁴ · 오영석¹ · 강성훈[#]

Development of integrated Hollow Drive Shaft using Tailor Rolled Tube using hybrid manufacturing process

H. W. Lee, J. Lee, S. Shin, K.R. Cho, Y. S. Oh, S. H. Kang

Abstract

본 연구에서는 자동차 구동축의 중량 절감을 위한 중공축의 새로운 제작 방법을 제안하였다. 기존의 방법과 다르게 가변단면 압연을 통하여 관재의 두께가 다른 관재를 제작하고 롤포밍과 인라인 용접을 통하여 중앙부와 끝 부의 두께가 다른 튜브를 제작하여 새로운 중공축을 만드는 방법을 제안하였다. 이 후 중공 장구동축을 제작하기 위하여 중공 튜브의 스테브 부의 외경을 방사단조를 통하여 축관하고 기계가공 후 열처리하여 최종 제품을 완성하였다. 이러한 공정을 통하여 기존 제품 대비 약 20% 이상의 무게가 절감된 중공축을 개발하였다

Key Words: Tailor rolled plate, Drive shaft, Hot Rolling, Roll forming, swaging, Inline hybrid welding

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 한국생산기술연구원

3. 한국프랜지

4. 성우하이텍 기술연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소,

E-mail: kangsh@kims.re.kr

가변단면튜브 롤포밍 기술 개발

박상연¹ · 정윤성¹ · 김동범¹ · 이재현¹ · 이문용[#]

Development of Roll Forming Technology for a Tailor Rolled Tube

S. E. Park, Y. S. Chung, D. B. Kim, J. H. Lee and M. Y. Lee

Abstract

A tailor rolled tube (TRT) is mechanical elements for a hollow tube. It has been studied for application to power transmission devices. Its manufacturing process is roll forming with a tailor rolled blanks (TRB) that has various thickness for reducing weights and costs. Therefore, tailor rolled tubing can reduce scraps than a CNC. However, Roll form machine need to research a moving mechanism to rolls and a welding condition because of blanks of different thickness.

In this study, a tubing machine was developed based on the basic tubing machines for manufacturing a TRT. Also, conditions of tubing and welding were designed by simulation and tests. The process flow for manufacturing TRT is roll forming, welding and straightening.

Key Words : Tailor Rolled Tube, Tailor Rolled blank, Roll Forming, Laser-Arc Hybrid Weld

1. 서론

가변압연튜브는 동력전달 장치의 중공축 기계요소로서, 적용 장치의 경량화를 기대할 수 있다. 가변압연판재를 롤포밍, 용접하여 제작되는 튜브는 홀 절삭이 필요 없기 때문에 재료손실과 가공비를 줄일 수 있다.

2. 연구 내용

가변압연튜브를 제작하기 위해 롤포밍을 적용하여 원형 튜브를 성형하였다. 진원도 동심도 등의 정밀 기하공차를 만족시키기 위해 롤금형을 설계 및 제작하였다. 금형 설계를 위해 롤포밍 시뮬레이션 및 판재의 성형성을 예측하였다. 판재의 두께 방향으로 롤이 이동할 수 있도록 판스프링과 유니버설 조인트를 이용하였다.

가변압연튜브 롤포밍 라인에 가변두께의 튜브 용접이 가능한 하이브리드 용접기를 셋업하였다.

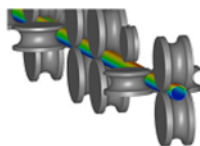


Fig. 1 가변압연튜브 롤포밍 시뮬레이션



Fig. 2 롤포밍 및 용접 공정

1. ㈜성우하이텍 R&D본부 선행기술팀

교신저자: ㈜성우하이텍, E-mail: mylee@swhitech.com

7. 일반 논문 발표

(제 3 발표회장)

등통로각압축공정을 통한 결정립의 균질한 초미세립화

김우열¹ · 이학현¹ · 서승재² · 이재근² · 윤태식³ · 김형섭^{1,4,#}

Evaluation of Homogeneous Ultra-fine Grain Refinements Using Equal Channel Angler Pressing

W. Kim, H. H. Lee, S. J. Seo, J. K. Lee, T. S. Yoon, H. S. Kim

Abstract

Severe plastic deformation (SPD) is a promising method for drastically enhancing mechanical properties of metallic materials. However, inhomogeneous deformation during the SPD process results in inhomogeneous microstructures of the processed material. We manufactured ultrafine-grained (UFG) cylindrical copper specimen of 42 mm in diameter using equal channel angular pressing (ECAP) to figure out the relationship between homogeneous microstructure and the number of repeating processes. Two specimens, ECAP-processed 4 pass and 6 pass specimens with route Bc, are prepared for comparison of mechanical properties and microstructure. The results show that the highly enhanced mechanical properties of the two specimens are similar. The 4 pass specimen, however, shows spatial inhomogeneity in hardness distribution, while the 6 pass specimen shows relatively homogeneous hardness distribution. The microstructural analysis reveals that the 4 pass specimen has an inhomogeneous microstructure with incompletely refined grain structure, i.e. a mixture of refined and unrefined coarse grains. This inhomogeneity of the 4 pass specimen could be explained by circumferential rotation during the route Bc ECAP process.

Key Words : : Equal Channel Angler Pressing, Shaped Charge liner, Copper, Severe Plastic Deformation

1. 서론

구리는 높은 밀도와 연신률, 높은 열전도도 및 전기전도도 등으로 다양한 산업 분야에 사용되고 있는 재료이다. 그러나 재료의 강도가 중요한 고속/고압 분야에의 구리 소재 활용에는 낮은 강도로 인해 제한적인 분야에만 그 활용이 적용되었을 뿐이다. 따라서, 구리의 활용 분야를 확장시키기 위해서는 기계적 물성의 향상이 필수적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는, 실제 구조재와 제품에 적용 가능한 규모인 42 mm 봉상 구리 시편을 공정 경로 Bc를 통하여 ECAP 공정을 수행하고, 확보한 시편의 기계적 물성과 미세조직을 분석하여 대형 봉상 구리 시편의 ECAP 공정 반복에 따른 변형률의 균질화가 미세조직과 물성에 미치는 영향을 탐구하고자 하였다.

1. 포항공과대학교(POSTECH) 신소재공학과

2. 풍산

3. 방위산업기술지원센터, 광운대학교 방위사업학과 박사과정

4. 고엔트로피합금연구단(Center for High Entropy Alloy)

Corresponding Author : POSTECH Department of Materials Science and Engineering, Center for High Entropy Alloy, E-mail: hskim@postech.ac.kr

2. 실험방법

먼저 (주)풍산 소유의 압축 프레스를 사용하여 42 mm 지름에 300 mm 길이를 가진 Cu 봉상 시편에 대하여 상온 ECAP 공정을 실시하였다. 시편 제조 후 시편의 길이 방향으로 게이지 길이 5 mm의 판상 인장시편을 가공하여, 준정적 인장시험을 실시하였다. 인장시편은 ECAP된 시편의 중량을 기준으로 상하 각각 10 mm 떨어진 부분에서 가공되었는데, 이는 ECAP로 인한 물성의 불균질함을 평가하기 위한 것이다.

3. 결과 및 고찰

전체적인 기계적 물성의 경우 매우 우수하였다. 4회 공정 시편과 6회 공정 시편 모두 인장강도 460 MPa 이상의 매우 높은 강도를 보여주고 있는 점을 확인할 수 있다. 이것은 균질화도의 차이는 있으나, 두 시편 모두 강소성 공정으로 인한 결정립 미세화로 인해 재료의 강도가 크게 향상되었음을 의미한다.

4. 결론

42 mm 대형 봉상 구리 시편에 대하여 상온에서 Bc 경로로 ECAP 공정을 가함으로써 결정립 크기가 10 μm 이하로 미세화된 구리 시편을 얻을 수 있었다. 미세조직 분석 결과 4회 공정 시편이 6회 공정 시편보다 결정립 균질화가 덜 이루어졌지만, 그럼에도 기계적 물성은 두 시편 모두 인장강도 460 MPa의 높은 수치를 보여주었다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때, ECAP 공정은 구리 결정립 미세화를 통한 강도 성능 향상을 위한 효과적인 공정이 될 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] R. Z. Valiev, I. V. Alexandrov, Y. T. Zhu, T. C. Lowe, 2002, Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation, J. Mater. Res., Vol. 17, No. 1, pp. 5-8.
- [2] A. P. Zhilyaev, T. G. Langdon, 2008, Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications, Prog. Mater. Sci., Vol. 53, No. 6, pp. 893-979.
- [3] Y. Beygelzimer, V. Varyukhin, D. Orlov, S. Synkov, 2003, Twist extrusion—process for strain accumulation, TEAN, Donetsk, pp. 87.

고온전사를 통한 초소수성 폴리머 표면 제작

문인용¹ · 이호원¹ · 오영석¹ · 강성훈[#]

Fabrication of Superhydrophobic Polymer Surface Using Imprinting Process

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

Abstract

최근 들어 다양한 재료에 대한 초소수성 표면 제작 기술에 대한 연구가 활발히 일어나고 있다. 일반적으로 초소수성 특성은 재료 표면의 다중 스케일의 계층적 패턴에 의해 향상되곤 하는데, 이러한 패턴닝을 수행하기 위해 MEMS, 코팅, 레이저 가공 등이 사용되고 있다. 하지만 이러한 가공법은 공정이 복잡하고 대면적에 균일하게 적용하기 어려우며, 가공 단가가 비싸다는 단점이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 방전가공면을 갖는 금형을 이용한 임프린팅 공정을 개발하였다. 와이어 방전가공을 통하여 금형 표면에 사인파형의 마이크로 패턴닝을 수행 하였으며, 이때 방전면에 전사되는 수 마이크로 스케일의 연속적인 방전흔은 사인파형의 마이크로 패턴닝과 공존하며 다중 스케일 패턴을 구성하였다. 제작된 금형을 이용하여 최적의 성형 조건하에서 임프린팅을 수행한 결과 PTFE와 PC 표면에 다중 스케일 패턴닝이 완전히 복제 되었으며 물과의 접촉각 150도 이상의 초소수성 특성을 보였다. 또한 성형된 폴리머 표면을 SEM으로 관찰한 결과 소성 변형에 의한 미세 섬유 망이 발달해 있음을 확인하였으며, 이는 초소수성 특성 향상에 영향을 미침을 확인하였다.

Key Words: Superhydrophobicity, Multi-scale structure, EDMed surface, Plastic deformation, Polymer.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

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

결정소성 유한요소 해석을 통한 저방사화강 마이크로필러 압축실험 분석

정우진^{1,2} · 권홍록³ · 장동찬³ · 이명규^{#,2}

Analysis of micro-pillar compression test of RAFM steel with crystal plasticity FE simulation

W. J. Jeong, H. R. Gwon, D. C. Jang, M. G. Lee

Abstract

The reduced activation ferritic martensitic (RAFM) steel is one of promising blanket material candidates which protects the structure from high energy neutron during nuclear fusion reaction. The RAFM steel has an hierarchical tempered martensite structure consisting of packets, blocks and laths. Identification of microscopic mechanical properties and the characterization of the role of the hierarchical structure of tempered martensite by direct mechanical tests are challenges due to the experimental limitations. In this study, microscale mechanical properties of the RAFM steel at room temperature were identified from the coupled experiment and CP-FE simulations. The micro-pillar compression tests were used to obtain the compressive loading behavior, which was fitted by the CP-FE. The EBSD data were utilized to identify the fundamental microstructure which is the input of the CP-FE for the micro-pillar simulation. The CP-FE simulation could describe the mechanical behavior of the RAFM steel in both micro- and macro-scale when their parameters and microstructure are properly calibrated.

Key Words : Crystal plasticity, finite element method, micro-pillar compression test, hierarchical martensite structure

Acknowledgement

This work has been supported by the National Research Foundation of Korea with grant number 2016M1A7A1A01005904.

1. 고려대학교 신소재 공학부

2. 서울대학교 재료공학부

3. KAIST 원자력 및 양자공학과

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

상변화 마스크를 이용한 나노 리소그래피에 관한 연구

성중현¹ · 김민수¹ · 정명기¹ · 강신일^{1#}

A Study on the Nano-lithography Using Phase Change Mask

J. H. Sung, M. S. Kim, M. K. Jung, S. I. Kang

Abstract

With increasing demand for nanopatterns in various area, such as semiconductor, display and electronic device, the fabrication technology of nano structures has received much attention. For those applications, lithographic technology beyond diffraction limit (sub-diffraction limit lithography) is highly required. While several alternative technologies including focused ion beam (FIB) patterning, scanning probe lithography, E-beam Lithography, plasmonic lithography are currently studied, issues such as gap control, high-cost and long process time induced by low-scanning speed and low transmittance efficiency are still remaining. In this study, photomask with nanoscale aperture was fabricated by Super-RENS. Finally, we verified the feasibility of Super-RENS process by fabrication nano pattern with 160nm width.

Key Words : Lithography, Phase Change Material, Near field, Super RENS

1. 서론

반도체, 디스플레이 산업에서는 최근 선풍을 줄임으로서 제품의 크기를 소형화 하여 면적대비 정보 저장 용량을 높이는 데에 초점을 맞춰 왔다. 기존 산업에서는 마이크로미터 단위의 패턴을 포토리소그래피 장비를 이용하여 공정을 진행하고 있다. 선풍을 줄이기 위하여 E-beam 리소그래피, 플라즈모닉 렌즈 리소그래피, AFM 팁을 이용한 리소그래피, 상변화층을 이용한 레이저 리소그래피[1] 등 다양한 나노 리소그래피방식에 대한 연구가 진행되었는데, 공정 속도가 느리고, 광 집속을 위한 갭 컨트롤이 일정해야 한다는 한계가 있다. 따라서 빠른 공정 속도와 갭 컨트롤에서 자유로운 나노 리소그래피의 구현이 요구된다. 본 연구에서는 상변화를 통한 광특성 변화를 이용하여 기존 기술에 비하여 적은 공정단계로 리소그래피용 마스크를 제작하고, 이 마스크를 이용하여 포토리소그래피에 적용, 근접장을 이용한 나노 스케일의 선풍의 리소그래피를 구현하였다.

2. 실험방법

실험에 진행되는 상변화 마스크의 제작을 위하여, 유한 차분 시간 영역법의 광 흡수 시뮬레이션 결과를 이용하여 결정화된 상변화 재료에 405nm 레이저와 NA 0.8의 렌즈를 이용하여 광을 집속시켰을 때 광흡수를 모델링 하였고, 흡수된 광에너지를 열전달 시뮬레이션을 이용하여 상변화막에 생성되는 비정질 광투과성 개구의 형상을 확인하였다. 확인된 비정질 형상을 적용하여 365nm의 파장에서의 평면파에 대하여 유한 차분 시간 영역법 시뮬레이션을 실시하여 근접장 효과로 인한 나노 개구의 성능을 확인하였다. 본 시뮬레이션에 사용된 모델은 선행논문에서

1. 연세대학교 기계공학부

교신저자: 연세대학교 기계공학부,

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

제시된 ZnS-SiO_2 와 $\text{Sb}_{65}\text{Se}_{35}$ 의 유전체 보호층과 상변화층을 최적화한 모델을 사용하였다[2]. 상변화막에 405nm 레이저 펄스를 인가하였을 때 개구가 형성되는 온도에 도달하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 이용하여 365nm 파장의 평면파가 입사되었을 때 근접장이 발현 됨을 확인하였다.

리소그래피 공정에 사용할 마스크 시편을 제작하기 위하여 소다 라임 글라스 웨이퍼에 E-beam 증착기를 이용하여 모델링된 상변화 다층박막을 증착 하였다. 증착한 다층박막의 결정화를 위하여 240°C의 온도에서 annealing을 하였다. 결정화된 시편은 405nm 파장의 레이저를 이용하여 펄스를 인가해 선형 상변화 개구를 형성하였다.

리소그래피 공정은 Mask aligner에서 상기 제작된 상변화 시편을 mask로 사용하여 Photo Resist(PR)과 hard contact 상태에서 노광을 실시 하였다.

3. 결과 및 고찰

상변화 박막에 형성된 선형 개구는 인가된 에너지가 줄어들며 따라 상변화 마스크 시편상의 선폭이 줄어드는 것을 확인하였다.

리소그래피 공정후 PR을 AFM으로 측정한 결과 펄스를 인가하여 제작된 개구에서 각각 $1\mu\text{m}$ 이하의 패턴이 관찰 되었고, 각패턴의 형상을 측정한 결과 160nm의 FWHM(Full width half maximum)의 패턴이 PR상에 형성이 됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 상변화 다층막을 이용하여 개구를 형성하였고, 제작된 개구를 이용하여 포토 리소그래피를 실시하여 PR상에 나노 스케일의 패턴 형성을 확인하였다. 이를 통해 기존 공정 보다 비교적 적은 공정단계를 걸쳐 나노 스케일의 리소그래피가 가능한 mask를 확인하였다.

참고문헌

- [1] Kuwahara, M., Nakano, T., Tominaga, J., Lee, M. B., & Atoda, N. (2000). A new lithography technique using super-resolution near-field structure. *Microelectron. Eng.*, 53(1-4), 535-538.
- [2] Park, G., Lee, J., Kang, S., Kim, M., Kang, S., & Choi, W. (2016). Design principle of super resolution near-field structure using thermally responsive optical phase change materials for nanolithography applications. *Mater. Des.*, 102, 45-55.

용체화 처리 시간이 Al7075합금의 성형품 강도에 미치는 영향에 대한 연구

최연택¹ · 이종섭^{1#}

Effect of Solution Treatment Duration on the Strenght of Al7075 Forming Product

Y. Choi¹, J. Lee^{1#}

Abstract

W-temper forming is developed to form metal with low formability at room temperature. This process composed with 4 stages : solution treatment, forming, natural aging, bake hardening. The purpose of this study is to confirm the effects of process parameter to each stage of W-temper forming. In addition, the strength of material after each process was measured to compare the change in strength from the base material to end of the process. In the solution treatment stage, the soaking time was varied from 10 minutes to 60 minutes at 480℃, and the tensile properties were collected to confirm the effect of the solution treatment over time. In the pre-strain and natural aging(7days at room temperature) stage, the effects of natural aging after 0, 5, 10 and 15% pre-strain were compared through hardness test and tensile test. In the baking hardening stage (which is composed of 3-steps : Step 1 - 25 minutes at 250℃, Step 2 – 20 minutes at 165℃, Step 3 – 20 minutes at 135℃), tensile test was performed at each step of hardening stage and changes were observed. The tensile test results for whole process of W-temper forming were compared. Assume that the ultimate tensile strength of Al7075-T6 is 100%. In solution treatment process, the ultimate tensile strength became 71% of base metal. After pre-strain and natural aging, ultimate tensile strength increased to 85%. But during the 3-step baking hardening process ultimate tensile strength fell to 81% due to over aging effect. In the case of yield strength, the bigger the pre-strain, the higher the value of yield strength. However, after 3-step baking hardening process, the bigger the pre-strain, the less the value of yield strength.

Key Words : W-temper forming, Al7075-T6 forming process, Solution treatment,

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

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

마그네슘 합금 판재 동적인장물성의 측정불확도 평가

김민기¹ · 허훈^{1, #}

Evaluation of Measurement Uncertainty for Dynamic Tensile Properties of Magnesium Alloy Sheet

M. Kim, H. Huh

Abstract

In automotive industry, use of light-weight materials is being required to achieve high fuel efficiency and weight reduction of an auto-body. An auto-body with light-weight materials, however, should be designed considering the crashworthiness for passenger's safety. To acquire the light-weight and the safety design of an auto-body, conventional steels are replaced with aluminum alloys or magnesium alloys. Magnesium alloys are proper candidates due to their low density and high specific strength. Numerical crash analysis of an auto-body is carried out to evaluate its crashworthiness in general. During the numerical simulation, accurate dynamic material properties are required to obtain reliable results of the simulation because strain rates are distributed with levels ranging from 0.001/s to 500/s in the auto-body structure. This paper is concerned with the evaluation of measurement uncertainty for dynamic tensile properties of steel and non-ferrous metal sheets. Data acquisition procedure to obtain the true stress-true strain curves at various strain rates between 0.001/s and 100/s was properly designed to ensure their reliability. Standard uncertainty of the true stress at each strain rate was evaluated considering sources of uncertainties of input quantities and their associated sensitivity coefficients. The standard uncertainty has been successfully evaluated and the results of evaluation represent the reliability of the measured dynamic material properties.

Key Words : High Speed Tensile Test, Standard Uncertainty, Magnesium Alloy, Dynamic Tensile Property

1. 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과

교신저자: KAIST, E-mail:huh@kaist.ac.kr

Mini V-bending 시험 시 Mg합금의 굽힘성에 미치는 이방성의 영향

김민성¹, Jaiveer Singh¹, 이성음¹, 박준호², 김재중², 최시훈¹

Abstract

Mg합금 판재의 상온 성형성 향상을 위한 연구에서는 주로 최소 굽힘각도(minimum bending radius) 및 에릭슨 지수(Erichsen index)를 측정하여 성형성을 평가하고 있다. 본 연구에서는 Mg합금의 상온 굽힘성에 미치는 이방성의 영향을 실험 해석적으로 연구하였다. 디지털 이미지 상관기법(digital image correlation, DIC)을 활용한 일축인장 시험을 수행하여 Mg합금의 방향별 기계적 성질 및 이방성(anisotropy)을 분석하고 Mg합금의 굽힘성을 방향별(RD, TD)로 비교 고찰하였다. 미소역학적 변형 및 파괴거동을 이론적으로 이해하기 위하여 결정소성 유한요소해석(crystal plasticity finite element method, CPFEM)법을 활용하여 mini-V-bending 시 Mg 합금에 나타나는 변형이력을 추출한 후 실제 미세조직 및 결정방위에 부여하는 2-level (macroscale, mesoscale) 해석을 수행하였다. 시험 소요시간 및 재료 손실 감소에 적합한 mini-V-bending 기술을 적용함으로써 Mg합금의 굽힘성에 대한 즉각적인 평가가 가능하며, 향후 상온 굽힘 변형이 용이한 Mg합금 판재 제조 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

Keywords : Mg alloy, Bendability, Microtexture, Anisotropy, Mini-forming

1. 국립 순천대학교 대학원
2. POSCO Mg 연구 사업단

Lightweight Duplex Steel의 일축인장 시 구성상에 발생하는 미소역학적 변형 및 상변태 거동 예측

김은영¹, 우완측², 김동규², 곽재현³, 최시훈

Eun-Young Kim, WanChuck Woo², DongKyu Kim², JaeHyun Kwak³ and Shi-Hoon Choi

Abstract

최근 전 세계적으로 자동차 산업에서 고강도 및 연성을 가질 뿐만 아니라 연비 향상을 위해 경량강판에 대한 연구와 개발이 점진적으로 증가하고 있다. 특히 자동차 강판 내 Al 첨가는 고온에서 페라이트(ferrite)와 오스테나이트(austenite)를 형성하는데 도움을 주며, 4~6 wt%의 Al을 첨가는 기존의 자동차 강판 대비 6~9%를 경량화 할 수 있다고 기존 문헌에 보고 된 바 있다. 본 연구에서는 Mn 및 Al이 각각 3.5, 6.0 wt%이 함유된 lightweight duplex steel(LW-DS)의 일축인장 시 각 구성상(α (ferrite), γ (austenite), α' (martensite))에 발생하는 미소역학적 변형 및 상변태 거동을 조사하기 위해 실제미세조직을 고려한 결정소성 유한요소법(crystal plasticity finite element method, CPFEM)을 사용하였다. 각 구성상에 대한 기계적 물성을 이론적으로 예측하기 위해 파쇄 중성자원(spallation neutron source, SNS)으로 VOLCAN을 이용하여 in-situ 일축 인장시험을 수행하였으며, 각 구성상의 결정면에서의 회절 피크(diffraction peak)를 측정하였다. 중성자 회절 측정 데이터와 CPFEM을 결합하여 최종적으로 각 구성상에 대한 microscopic hardening parameter를 결정하였다. LW-DS의 일축인장 시 γ 상에서 α' 상으로의 변태를 고려하기 위하여 CPFEM에 상변태 모델을 적용하였다. LW-DS 일축인장 시 각 구성상의 두께방향으로 변형 및 상 변태 거동의 불균일성을 이해하기 위해 두께방향으로 10개의 유한요소 메쉬를 고려할 뿐 아니라 실제 미세조직이 맵핑된 영역에 buffer zone을 두어 경계조건을 부여하였다. 본 연구를 통해 실제 미세조직을 기초로 하여 소성변형 시 LW-DS에 발생하는 불균일한 미소역학적 변형 및 상변태 거동을 이론적으로 이해할 수 있었다.

Key Words : Lightweight Duplex Steel, Neutron Diffraction, CPFEM, Phase Transformation, Deformation

1. 순천대학교 대학원 인쇄전자공학과
2. 한국원자력연구원 중성자과학연구부
3. POSCO 기술연구원 박판연구그룹

마그네슘 합금의 인장 거동에 미치는 이차상의 영향

백승미¹ · 박형근¹ · 이석규¹ · 윤재익¹ · 문지현¹ · 이성학¹ · 김형섭^{1,2,#}

Effect of Second Phase on the Tensile Behavior in Mg alloy

S. M. Baek¹, H. K. Park¹, S. G. Lee¹, J. I. Yoon¹, J. H. Moon¹, S. Lee¹, H. S. Kim^{1,2,#}

Abstract

마그네슘은 인체의 구성성분으로 체내에서 독성 반응을 일으키지 않으며 밀도와 탄성계수가 골조직과 유사하다는 장점을 지닌다. 특히, 마그네슘은 생체 내 분해 특성을 지니고 있어 생분해성 생체재료로 이용될 경우 제품 회수를 위한 2차적 수술이 필요하지 않다는 장점을 지니고 있다. 그러나 순 마그네슘이 정형외과용 임플란트 소재로 이용되기에는 치유 정도에 비해 빠른 부식 속도와 낮은 강도를 지녀 고정 안정성이 불충분하다는 단점이 있다. 부식 속도와 강도 조절을 위해 인체 내 구성 원소인 Zn, Ca 등의 성분을 이용한 합금 설계가 이루어졌다. Mg-Zn-Ca 합금은 Zn/Ca 원소 비율이 1.2 이하일 때 $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$ 와 Mg_2Ca 의 두 가지 이차상을 지닌다. 일반적으로 이러한 이차상의 존재는 Mg-Zn-Ca 합금의 기계적 물성을 감소시킨다고 알려져 있다. 그러나 어떤 조건에서 이차상이 인장 물성에 영향을 미치는지에 대한 연구는 아직 잘 논의되지 않았다. 본 연구에서는 이차상의 분율 차이가 Mg-1 wt.%Zn-1 wt.%Ca 합금의 인장 거동에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 실험 결과 이차상의 분율이 많은 조건에서 연성이 낮은 것이 확인되었고, Ex-situ 인장 시험 결과를 통해 이차상 내부에서부터 미세 균열이 발생하여 균열의 전파가 확산되는 것이 확인되었다. 유한요소해석 분석을 통해 이차상 분율이 많을수록 인장 조건에서 이차상에 응력이 집중되어 빠른 균열을 유발하는 것이 예측되었다.

Keywords: Mg alloy, Micro-digital image correlation, Second phase, Deformation behavior, Finite element method

1. 서론

마그네슘은 생체적합성이 우수하고 생체 흡수성의 성질을 지니고 있어 차세대 정형외과용 임플란트 재료로 주목을 받고 있다. 그러나 순 마그네슘이 정형외과용 임플란트 소재로 이용되기에는 치유 정도에 비해 빠른 부식 속도와 낮은 강도를 지녀 고정 안정성이 불충분하다는 단점이 있으므로 부식 속도와 강도 조절을 위해 인체 내 구성 원소인 Zn, Ca 등의 성분을 이용한 합금 설계에 대한 연구가 이루어졌다.

Mg-Zn-Ca 합금은 Zn/Ca 원소 비율이 1.2 이하일 때 $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$ 와 Mg_2Ca 의 두 가지 이차상을 지닌다. 일반적으로 이러한 이차상의 존재는 Mg-Zn-Ca 합금의 기계적 물성을 감소시킨다고 알려져 있다. 그러나 어떤 조건에서 이차상이 인장 물성에 영향을 미치는지에 대한 연구는 아직 잘 논의되지 않았다. 본 연구에서는 이차상의 분율 차이가 Mg-1 wt.%Zn-1 wt.%Ca 합금의 인장 거동에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 이차상의 영향만 고려하기 위해 서로 다른 열처리 조건을 통해 결정립 크기와 집합조직의 영향을 배제하여 각 시편의 이차상 분율을 조절하였다. Ex-situ 인장 실험과 이차상 분율 및 형태를 고려한 시뮬레이션을 통해 실험적, 이론적으로 이차상이 인장 물성에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

1. 포항공과대학교, 신소재공학과

2. 포항공과대학교, 고엔트로피합금센터

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

2. 실험방법

Mg-1 wt.%Zn-1 wt.%Ca 합금(ZX11)은 이산화탄소와 SF₆ 혼합가스 환경에서 주조되었으며, 주조재를 300 °C 에서 열간 압연하였다. 열간 압연을 통해 얻어진 재료에 400 °C에서 30분(A400) 열처리를 진행했으며, 뒤이어 100 °C에서 30분(PA100) 열처리를 진행하였다. 미세조직은 OIM(Orientation imaging microscopy) 분석 소프트웨어를 기반으로 전자 후방 산란 회절(EBSD; Electron back scatter diffraction)을 이용하여 분석되었다. 인장 시험은 실온에서 변형 속도 10^{-3} s^{-1} 에서 진행되었으며, 두께 2 mm, 표점 거리 5 mm의 인장 시편의 인장 시험이 진행되었다. X-ray 회절 패턴은 XRD(X-ray diffraction) 장비를 통해 40 kV, 30 mA 조건에서 2θ 의 20–80°를 측정했다. 이론적인 온도 별 각 상의 몰 분율은 JMatPro 소프트웨어를 통해 계산했다. Ex-situ 인장 시험은 시편 표면 위의 은 패턴 형성을 통해 2, 4, 6% 인장 변형율에서 진행되었다. 각 인장 변형율에서 얻은 은 패턴 이미지를 이용하여 GOM 소프트웨어를 통해 변형 분포율을 계산하였다. OM(Optical microscope) 이미지에서 얻은 두 상의 정보를 입력하여 Dream3D 소프트웨어와 ABAQUS를 이용한 유한요소해석이 진행되었다.

3. 결과 및 고찰

A400과 PA100 시편의 미세구조 분석 결과 결정립 크기와 집합조직이 유사하였으나, 인장 물성에서 차이를 보였다. 특히, A400은 $14.9 \pm 1.6\%$ 의 연성을, PA100은 $6.1 \pm 1.8\%$ 의 연성을 지니는 것이 인장 시험을 통해 측정되었다. 이러한 이유는 이차상 분율의 차이에 있으며 이차상 분율은 JMatpro로 측정되었다. 이차상 분율 차이가 인장 물성에 미치는 영향을 알아보기 위해 Ex-situ 인장 시험을 실시했다. A400에서는 결정립계를 통한 미세 균열이 발생했고, PA100에서는 이차상 내부의 미세 균열이 발생하여 균열이 결정립 내부로 확장되는 양상을 보였다. 유한요소해석을 통해 이차상의 분율이 많은 PA100에서 변형이 일어나는 동안 이차상에 응력이 집중되는 현상이 관찰되었다.

4. 결론

Mg-Zn-Ca 합금은 이차상 분율이 증가함에 따라 이차상 내부의 미세 균열이 유발된다. 이차상 분율이 적은 조건에서는 결정립계를 통한 변형이 발생하지만, 이차상 분율이 많아질수록 응력이 이차상에 집중된다. 응력이 집중된 이차상 내부에 발생하는 미세 균열이 결정립 내부로 전파되어 브리틀한 균열 양상을 촉진시켜 재료 전체의 연성 저하를 유발한다.

8. 특 별 세 셴

설계기반 미래 성형기술
(제 3 발표회장)

비정형롤판재성형 공정 실험과 유한요소해석 결과의 성형성 비교에 관한 연구

길민규¹ · 박지우¹ · 윤준석¹ · 강범수[#]

Comparative Study for Formability of Experimental and Numerical Results using Flexibly-reconfigurable Roll Forming

M. G. Kil, J. W. Park, J. S. Yoon, B. S. Kang

Abstract

Flexibly-reconfigurable roll forming is a novel technology conducive to manufacturing the multi-curvature sheet metals. FRRF produces the multi-curvature sheet metals by distribution of strain along longitudinal direction using a couple of flexible rollers and guides which can be controlled height of its own. FRRF has a difficulty of inconsistent between the results of the numerical simulation and the experiment. This problem is directly related to the reduction of the reliability of the numerical simulation for saving the material cost and time. Therefore, the distinction between the experimental and numerical simulation results should be reduced. In this study, the numerical simulation and experiments were conducted using three different sheet metals, Al1050, Al2024, and Al5052 to determine which of the manufacturing process factor makes distinction of the results from each method. The numerical simulation was conducted by ABAQUS, commercial program, and the prototype machine was used to do the experiments. The thickness deformation was measured to verify the strain along longitudinal direction is applied appropriately. Finally, from the results, the way to reduce the distinction between experimental and numerical simulation results was presented.

Key Words : Flexibly-reconfigurable roll forming, FE simulation, Experiment

후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. NRF-2014R1A2A1A11054473)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

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

Numerical Simulation of the Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process: the Sensitivity of FE Results to Various Process and Simulation Parameters

H. Ghiabakloo¹, M.G. Kil¹, J.W. Park¹, J. Kim¹, B.S. Kang^{2,#}

Abstract

As a response to the needs of modern manufacturing lines for doubly-curved sheet metal surfaces in small-lot batches, the flexibly-reconfigurable roll-forming (FRRF) process is introduced that is capable of producing such parts continuously. In this process, a curved roll gap which is non-homogeneously distributed in transverse direction produces a residual stress field in the material that makes it undergo curvature changes after rolling. Since the final shape is unknown in FRRF unlike the conventional die forming processes in which the final shape is imposed by the solid dies, the first step of analysis is shape prediction in this process. Several solution approaches have been proposed in the literature based on the volume constancy principle or by the finite element method that most of them lack accuracy or efficiency for the analysis of FRRF. In the present study, we introduce a new numerical approach based on the FEM by taking into account the special deformation mechanism in FRRF. Then, we evaluate the sensitivity of the final shape to various simulation and process parameters and compare them with those achieved from the other studies.

Keywords: Flexibly-reconfigurable roll forming process, Finite element method, Elastoplastic analysis

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) through the Engineering Research Center (No. 2012R1A5A1048294). Also, this work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea (NRF-2015H1C1A1035499).

1. Department of Aerospace Engineering, Pusan National University, Busan 46241, South Korea

2. Engineering Research Center (ERC) of Innovative Technology on Advanced Forming (ITAF), Pusan National University, Busan, 46241, South Korea

Corresponding author / E-mail: bskang@pusan.ac.kr, TEL: +82-51-510-2310

Multi-objective Optimization of Multi-point Forming Process with Uncertainties

M. Abebe¹, B. S. Kang[#]

Abstract

The significance of the stochastic nature of a multi-point forming (MPF) process for final product accuracy has been extensively recognized. It is also an under-researched area in terms of effective techniques and computational tools for easy industrial applications and implementation. It is recognized that wrinkling and dimpling are the most MPF product defects. Deterministic multi-objective optimization algorithms and finite element (FE) analysis have been used to improve the formability of the MPF process; however, not considering noises of the system could affect the variation of the final product quality. In this study, the uncertainty parameters are considered to reduce or avoid the random variation of the final product accuracy for the same control process parameters. In addition, to avoid the computational expensive FE analysis the metamodel is introduced for both product defects. A Monte Carlo simulation is applied to find how the variation in the uncontrollable parameter affects the final product quality regards to wrinkling and dimpling. A six-sigma robust optimization is applied to obtain both reliable and robust MPF products. A result of a convex target shape shows that the wrinkling and dimpling defect can be controlled by optimizing the process parameters. This approach can also be simply applied to any metal forming processes in any cases where attainable accuracy is an essential criterion.

Key Words: Multi-point Forming, Metamodel, Wrinkling, Dimpling, Uncertainty

후 기

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. 2015R1A2A2A01005494)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

1. 부산대학교 항공우주공학과

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

Cohesive Zone Model을 이용한 PET 코팅 강판의 박리 예측

윤수환¹ · 정재봉¹ · 정지용² · 김지훈[#]

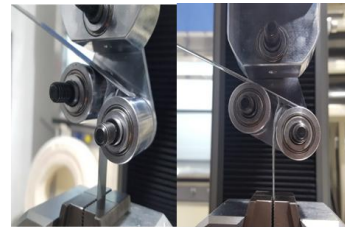
Prediction of Delamination of PET Coated Steel Sheet Using Cohesive Zone Model

S. H. Yun, J. Jung, J. Y. Jeong, J. H. Kim

Abstract

In the polymer coated sheet metals, coating layers are prone to delamination during sheet forming processes such as deep drawing and bending. In this work, peel tests were carried out for the PET layer of the PET coated steel sheets. To account for the effect of deformation on adhesion, peel forces were measured for the pre-strained samples. It was found that the peel force decreased with pre-strains. Finite element simulations were performed for the peel test using the cohesive zone model. The predicted peel forces agreed well with the measurements.

Key Words : PET film(PET film), Delamination(박리), Finite element analysis(유한 요소 해석), Cohesive zone model(접착 지역 모델)



<롤 시편을 이용한 Floating Roller 박리시험>
ASTM D3167

1. School of Mechanical Engineering, Pusan National University

2. Metal & Ceramic Solution Team, LG Electronics

Corresponding Author : School of Mechanical Engineering, Pusan National University, kimjh@pusan.ac.kr

9. 일반 논문 발표

(제 4 발표회장)

미세구조 기반 유한요소해석을 활용한 강재의 구멍 확장성 예측

박시욱¹ · 정진욱¹ · 김경일¹ · 김성일² · 이명규¹ · 한흥남^{1#}

Prediction of hole expansion ratio using microstructure based finite element analysis

S. Park¹, J. Jung¹, K.I. Kim¹, S. I. Kim², M. G. Lee¹, H.N. Han^{1#}

Abstract

복합상 미세 구조를 갖는 AHSS와 같은 고강도 강재의 경우 자동차 부품 설계시 재료 성형성에 대하여 신뢰할만한 예측이 필요하다. 본 연구에서는 강재의 구멍 확장비(HER)를 예측하기 위해 스케일 연계형 유한 요소법을 사용하였다. 매크로 스케일에서는 판재의 구멍 확장 시험에 대한 전산모사가 수행되었으며 실제 공정에서의 초기 변형 효과를 고려하기 위하여 편칭과정에 대한 유한요소모델링 또한 수행되었다. 매크로 스케일 해석을 통한 각 요소의 변형 이력은 마이크로 스케일 대표 체적 요소(RVEs) 모델의 경계 조건으로 적용되었다. 재료의 유동 거동은 전위 밀도 기반의 구성 방정식을 사용하여 모델링 되었다. 전위 밀도는 전위의 적체(pile-up) 과정에서 발생하는 Peach-Koehler 힘이 외부의 응력과 같아지는 조건을 통하여 유도하였으며[1], 전위 평균 자유 경로(dislocation mean free path)는 전위 밀도의 역제곱근에 비례하는 값으로 설정하여 Taylor-type의 모델에 반영되었다[2-3]. HER 값의 정확한 예측을 위하여 재료의 미세구조적 특징이 반영된 새로운 연성파괴기준이 제시되었다. 제시된 연성파괴기준이 적용된 유한요소 해석은 기존의 연성파괴기준에 비하여 높은 정확도로 HER 값을 예측하였다.

Key Words : 구멍확장비; 대표체적요소; 연성파괴;

참고문헌

- [1] L.H. Friedman, d.C. Chrzan, Philosophical Magazine A. 77:5 (1998) 1185-1204.
- [2] Surajit Kumar Paul, Materials and Design 44 (2013) 397-406
- [3] Surajit Kumar Paul, Abhay Kumar, Computational Materials Science 63 (2012) 66-74

1. 서울대학교 재료공학부

2. POSCO 기술연구원

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

판상금속재료의 신장플랜지성 지배인자

윤재익¹ · 정재면¹ · 김형섭[#]

Factor governing stretch-flangeability of sheet metals

Jae Ik Yoon, Jaimyun Jung, and Hyoung Seop Kim

Abstract

Stretch-flangeability, measured using hole expansion testing, represents the ability of sheet metals to endure edge fracture during complex shape forming. Regardless of a property essential for automotive part applications of advanced high-strength steels or ultra-high-strength steels, factor governing stretch-flangeability are still not well understood. The aim of this study is to discover factor governing stretch-flangeability, which is universally applicable to various sheet metals. To investigate these governing factors, the mechanical properties of sheet metals with various microstructures were evaluated using tensile, fracture initiation energy, and hole expansion tests. It was found that the fracture toughness is a universal governing factor of stretch-flangeability. Also, we showed that the hole expansion ratio could be well anticipated using the finite element analysis related with a simple ductile damage model, without explicitly considering the microstructural complexity of materials. This simulation validates the fracture toughness as a key factor governing stretch-flangeability of sheet metals.

Key Words : Hole expansion ratio, Mechanical characterization, Advanced high-strength steels, fracture toughness, Finite element method

1. 서론

본 연구에서, 판상금속재료의 신장플랜지성 지배인자를 규명하기 위해 고강도 강, 저강도 강 뿐만 아니라 비철소재까지 포함하는 다양한 재료를 연구하였다. 본 연구에서 사용한 판상금속 재료의 경우 다양한 미세조직, 변형이력, 기계적 특성을 가지므로 판상금속재료의 신장플랜지성을 지배하는 보편적인 인자를 규명할 수 있을 것이다. 연구 결과 재료의 파괴인성이 신장플랜지성을 지배하는 보편적인 인자임을 밝혀내었다. 또한, 연성파괴모델을 사용한 유한요소해석을 통해 신장플랜지성의 지배인자가 파괴인성임을 교차 검증하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 신장플랜지성의 보편적인 지배인자 규명을 위해 초기 미세조직, 변형이력, 기계적 특성이 다양한 8개의 판상금속재료를 선정하였다. 평가대상 재료의 신장플랜지성 평가를 위한 시험은 국제 표준 규격인 ISO16630 규정에 따라 수행되었다. 또, 기계적 물성 평가를 위해 ASTM E8 규정에 따라 인장시험, 변형률속도민감도지수 평가시험, 이방성 평가시험, ASTM E1820 규정에 따라 파괴인성시험을 수행하였다. 기계적 물성 평가 시험의 변형은 디지털이미지 보정 기법을 활용하여 측정하였다. 미세조직분석을 위해 EBSD 분석을 수행하였다.

1. 포항공과대학교 신소재공학과

#: 포항공과대학교 신소재공학과, hskim@postech.ac.kr

3. 결과 및 고찰

EBSD 분석 결과 평가대상 재료가 다양한 결정립도, 상을 가짐을 확인하였다. 다양한 미세조직학적 특성을 갖는 재료를 분석함으로써, 판상금속재료의 신장플랜지성을 지배하는 보편적인 인자를 규명할 수 있을 것이다. 평가대상 재료의 인장물성 평가 결과, 넓은 범위의 인장물성을 가짐을 확인하였다. 그러나, 기존 연구에서 보고된 바와 달리 개별 인장물성과 신장플랜지성간의 상관관계를 찾아볼 수 없었다. 이를 통해, 개별인장물성과 신장플랜지성간의 상관관계는 특정 재료에서만 성립하는 지엽적인 상관관계임을 알 수 있다. 반면, 평가대상 재료의 파괴인성과 신장플랜지성은 비례하는 상관관계를 보임을 확인하였다. 이는, 재료의 파괴인성이 신장플랜지성을 지배하는 핵심 인자임을 의미한다. 또한, 재료의 파괴거동을 고려하기 위해 단순 연성파괴 모델을 이용하여 신장플랜지성 평가 시험의 유한요소해석을 진행한 결과, 실험적으로 측정한 신장플랜지성과 전산모사를 통해 예측한 신장플랜지성이 유사한 결과를 보임을 확인하였다. 이를 통해, 재료의 신장플랜지성을 지배하는 핵심 인자는 파괴인성임을 교차 검증하였다.

4. 결론

다양한 판상금속재료의 신장플랜지성을 지배하는 보편적인 인자를 찾으려는 연구를 수행하였다. 연구 결과, 평가대상 재료의 파괴인성과 신장플랜지성은 선형적으로 비례함을 확인하였고, 이는 파괴인성이 신장플랜지성을 지배하는 핵심 인자임을 의미한다. 따라서, 우수한 신장플랜지성을 가지는 고강도 재료의 개발 시 파괴인성을 우수하게 하는 미세조직학적 인자들을 고려하여 재료를 설계하여야 한다.

참고문헌

- [1] J.I. Yoon, J. Jung, J.G. Kim, S.S. Sohn, S. Lee, H.S. Kim, Key factors of stretch-flangeability of sheet materials, J. Mater. Sci. 52 (2017) 7808-7823.
- [2] J.I. Yoon, J. Jung, S.-H. Joo, T.J. Song, K.-G. Chin, M.H. Seo, S.-J. Kim, S. Lee, H.S. Kim, Correlation between fracture toughness and stretch-flangeability of advanced high strength steels, Mater. Lett. 180 (2016) 322-326.

전자기 성형을 이용한 알루미늄 관재와 판재 사이의 기계적 체결 거동

박현일^{1,2}, 이진우¹, 이영선¹, 김지훈², 김대용^{1#}

Mechanical joining behavior between an aluminium tube and sheet using electromagnetic forming

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

Abstract

전자기 성형(electromagnetic forming) 공정은 코일에 고 에너지를 순간적으로 방전시켜 코일 주변에 생성된 자기장과 소재에 유도된 전류 사이의 상호 작용으로 발생하는 로렌츠 힘(Lorentz force)을 이용하여 소재를 초고속으로 성형 시키는 기술이며, 코일 형태에 따라 접합이나 관재 및 판재 성형 등 여러 가지 공정에 적용이 가능하다. 본 연구에서는 관재를 확관하여 관재와 기계적 체결하는 방법을 제시하였고, 이때의 체결 거동을 분석하기 위해 확관 성형에 적합한 실험실 규모(lab scale)의 와선형 코일(Helix coil)을 제작하였다. 제작된 코일을 사용해 3.0mm 두께의 6063-O 알루미늄 합금 관재를 팽창시켜 구멍이 가공되어있는 3.0mm 두께의 알루미늄 합금 7075-T6 판재와 기계적 체결을 수행하였다. 실험 중 입력 전압이 미치는 영향을 살펴보기 위해 5.7 kV에서 11.1 kV까지의 전압이 인가되었고, 관재와 판재 사이의 체결-분리 실험(pull-out test)를 수행하여 그 체결 강도를 측정한 결과, 관재의 항복강도보다는 높고 인장강도보다 낮은 체결력을 갖고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 체결 거동을 보다 자세히 분석하기 위해 전자기-변형이 연계된 다물리 해석(multi-physics simulation)을 수행하여 각 조건에 따른 로렌츠 힘 분포를 분석하였고, 체결 해석 후의 요소 정보를 이용해 체결-분리 실험 해석을 수행하여 실험에서 측정된 체결력과 비교 분석하였다.

Key Words : Electromagnetic forming (전자기 성형), Tube expansion (확관), Mechanical joining (기계적 체결), Helix coil (와선형 코일), Aluminum alloy tube (알루미늄 합금 관재), Multi-physics simulation (다물리 해석)

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 부산대학교 기계공학부

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

금형 변형을 고려한 초고강도 강판의 스프링백 해석

서성현¹ · 권구관¹ · 김형종² · 조준행³ · 송정한⁴

Springback Analysis of a UHSS Sheet Considering Tool Deformation

S. H. Seo, K. K. Kwon, H. J. Kim, J. H. Joe, J. H. Song

Abstract

최근 국내외 자동차 산업은 이산화탄소 배출 및 에너지 관련 규제와 충돌안전 규제에 대응하기 위해 경량화 관련 연구에 많은 노력을 기울이고 있다. 차량 경량화는 일반적으로 중량 10%당 5~7%의 연비 향상으로 이어지며, 연비와 충돌안전성을 향상시키는 방안으로 초고강도강의 적용 비율을 확대하고 있다. 그러나 소재가 고강도화 될수록 스프링백 과다 등 재료의 기계적 성질에 기인하는 문제뿐만 아니라, 금형 변형에 따른 성형 제품의 치수정밀도 저하나 금형 손상, 수명 감소 및 구조 불안정 등 금형 관련 문제들이 더욱 심각해진다. 금형 변형을 고려한 성형해석 사례를 보면, 성형 완료 시의 소재-금형 간의 반력으로부터 금형의 변형형상을 계산하고 이를 성형해석에 다시 적용하는 방법이 대부분이다. 그러나 이 방법으로는 성형 도중의 금형 변형과 이를 고려한 스프링백 변화는 확인하기 어렵다. 금형 변형은 소재 강성이 높을수록, 금형 크기가 클수록 커지므로 본 연구에서 사용한 1.5GPa급 초고강도강의 경우 실시간으로 금형 변형을 반영할 수 있는 해석기법이 필요하다. 본 연구에서는 판재성형 전용 해석 프로그램인 PAM-STAMP를 사용하여 실시간으로 금형 변형을 고려한 성형 및 스프링백 해석을 수행하였으며, 정밀한 스프링백 예측을 위해 재료의 경화식으로 Yoshida 모델을 사용하였다.

Key Words : Springback (스프링백), UHSS (초고강도강), Tool Deformation (금형변형), Finite Element Method (유한요소법)

후 기

본 논문은 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 산업핵심기술개발산업의 지원을 받아 수행된 연구임.
(과제명 : 1.5GPa급 초고강도 차체부품 변형제어 냉간 정밀 프레스 성형 기술 개발)

1. 강원대학교 대학원
2. 강원대학교 기계융합공학부
3. ㈜세원물산
4. 한국생산기술연구원

Hydroforming 공정을 이용한 telescopic tube screw 제작

나재현¹ · 정희석¹ · 한상욱¹ · 문영훈[#]

Manufacturing a telescopic tube screw using a hydroforming process

J. H. Ra, H. S. Jeong, S. W. Han, Y. H. Moon

Abstract

The telescopic tube screw, which can provide an adjustable length feature, has been used in a wide variety of applications that allow for a secure and perfect fit. This study investigates an innovative hydroforming process for producing a telescopic tube screw with internal thread on the outer tube and outer thread on the inner tube. The investigation is supported by finite element analysis to determine the optimum thread shape. The structural strength of tube screw is experimentally estimated by lateral three-point bending test. The superior structural strength of the tube screws strongly confirms the reliability and applicability of the telescopic tube screws manufactured in this study.

Key Words : Telescopic tube screw, Hydroforming, Finite element method (FEM), Lateral bending, Thread

1. 서론

관재 하이드로포밍 공정은 액압을 이용하여 원하는 형상을 얻는 공정으로 기존의 공정에 비해 무게 경량화, 2차 공정 감소, 높은 강성 및 재료 비용 절감 등 많은 이점을 갖는다. 나사 형상의 관재는 열 교환기, 석유, 광업 및 토목 구조물과 같은 다양한 산업에서 사용된다[1, 2]. 본 연구는 관재 하이드로포밍 공정을 이용하여 telescopic tube screw를 제작하는 간단하고 강건한 방법에 초점을 맞춘다. Telescopic tube screw 제작은 외부 관재와 내부 관재가 유기적으로 체결되도록 하기 위하여 외부 관재와 내부 관재를 개별적인 하이드로포밍 공정을 적용하여 진행한다.

2. 실험방법

Telescopic tube screw의 최적 형상을 설정하기 위해 여러 변수에 따라 FE 해석을 수행하였고, 선정된 형상에 맞춰 하이드로포밍 장비로 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 관재는 SUS304이며 외부 관재의 외경과 두께는 각각 50.8mm, 0.9mm이고 내부 관재는 49.0mm, 1.1mm이다. 본 연구에서는 외부 관재와 내부 관재의 체결을 용이하게 하기 위해 외부 관재와 내부 관재를 개별적으로 하이드로포밍하였다. 우선, 하이드로포밍한 외부 관재를 두 섹션으로 커팅한다. 그 다음, Fig. 1(a)와 같이 그 내부에 내부 관재를 삽입하고 금형의 공동에 관재를 배치한 후 Fig. 1(b)와 같이 하이드로포밍한다.

1. 부산대학교, 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구센터

문영훈: 부산대학교, 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구센터, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

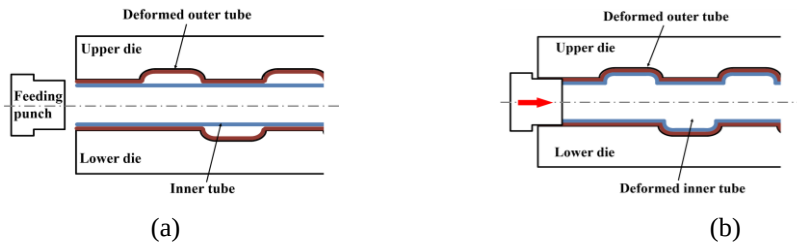


Fig. 1 Schematic illustration of tube hydroforming process: (a) load concentric tubes and (b) hydroforming of concentric tubes

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 위의 과정으로 만들어진 내부 나사 형상의 관재를 하이드로포밍한 외부관재와 체결시킴으로써 제작한 telescopic tube screw이다. Fig. 3은 telescopic tube screw의 구조적인 강도를 확인하기 위해 삼점굽힘 실험을 수행한 것을 나타낸 그림이다. Fig. 4를 통해 telescopic tube screw(combined threaded tubes)가 이중 관재보다 높은 강도를 가진다는 것을 알 수 있다.



Fig. 2 Connected hydroformed tubes



Fig. 3 Lateral three-point tube bending test

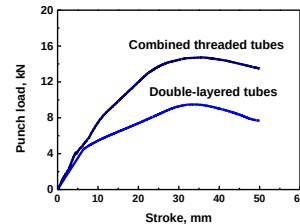


Fig. 4 Measured lateral bending loads with punch stroke

4. 결론

본 연구의 목적은 관재 하이드로포밍 공정을 이용하여 외부 관재와 내부 관재를 체결하는 telescopic tube screw를 제작하는 것에 있다. 외부 관재와 내부관재의 개별적인 하이드로포밍을 통해 길이 조절이 가능한 telescopic tube screw를 제작할 수 있다. 또한, 삼점굽힘 실험을 통해서 telescopic tube screw가 일반 관재에 비해 강도측면에서 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

5. 후기

이 논문은 2012년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294)

참고문헌

- [1] S. Pathak, N. K. Jain, I. A. Palani, 2017, Effect of applied voltage and electrolyte parameters on pitch, runout, flank topology, and finishing productivity of the straight bevel gears in PECH process, Mater. Manuf. Processes, Vol 32, No. 3, pp. 339~347.
- [2] Gh. Faraji, R. Hashemi, M. M. Mashhadi, V. Norouzifard, 2010, Hydroforming limits in metal bellows forming process, Mater. Manuf. Processes, Vol 25, No. 12, pp. 1413~1417.

가변롤포밍 시 원형 홀이 판재의 뒤틀림에 미치는 효과

강필규¹ · 우영윤¹ · 문영훈[#]

Effect of Circular Holes on Warping of Blank during Flexible Roll Forming

P. G. Kang, Y. Y. Woo and Y. H. Moon

Abstract

During flexible roll forming process, web warping can be generated in roll formed products. Web warping is one of the major shape defects found in roll formed products. In this study, the characteristic features of the web warping occurring in the flexible roll forming of perforated blanks was investigated numerically. In order to investigate the cause of web warping on perforated blanks, the longitudinal strain variations during flexible roll forming are examined in terms of position of holes. The results showed that holes intensify web warping due to the increased difference of longitudinal strain between flange and web zone. And the degree of web warping varies with position of holes. From this results, the optical position of holes in the blanks are proposed to reduce the web warping.

Key Words : Flexible roll forming, circular hole, web warping, finite element method

1. 서론

가변롤성형은 일반적인 롤성형 공정과 달리 성형롤이 고정되어 있지 않고 폭방향 이송 및 회전운동을 통해서 성형롤이 가변의 롤 궤적을 따라 움직여 가변단면의 제품 성형이 가능한 공정이다. 가변롤성형 공정을 이용한 홀이 있는 제품 제작 수요가 최근에 증가하고 있다[1]. 홀이 있는 블랭크의 가변롤성형 공정 시 발생하는 주요 형상결함 중 하나는 웹 뒤틀림 현상이다. 블랭크에 홀이 있으면 변형에 대한 저항이 감소해 뒤틀림 정도가 더 커진다. 이러한 뒤틀림은 플랜지와 웹의 변형률 차이로 인해 발생하고 이는 가변롤성형 된 제품의 품질 저하의 가장 큰 원인 중 하나이다[2]. 본 연구에서는 홀이 있는 블랭크에서 발생하는 웹 뒤틀림 현상의 특성을 홀의 위치에 따라 유한요소해석을 통해 분석하고 뒤틀림을 최소화 시킬 수 있는 최적의 홀 위치를 제시하였다.

2. 유한요소해석

상용해석 소프트웨어 ABAQUSTM-Standard를 사용하여 홀이 있는 블랭크의 가변롤성형 해석을 진행하였다. 해석 모델링의 경우 Fig.1과 같이 한 쌍의 30° 성형롤과 블랭크 절반이 사용되었다. 블랭크의 경우 사다리꼴 형태이고 대칭형상이기 때문에 해석 시간 단축을 위해서 절반이 모델링 되었다. 홀의 위치는 Fig.2와 같이 시작, 중심, 끝단부 세 가지 영역으로 나누어 분석하였다.

1. 부산대학교 기계공학부

문영훈: 부산대학교, E-mail: yhmaoon@pusan.ac.kr

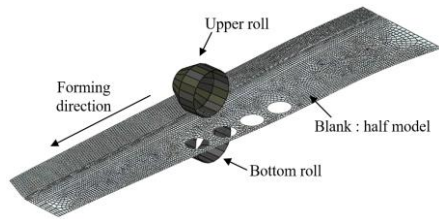


Fig. 1. Modeling of forming roll with perforated blank

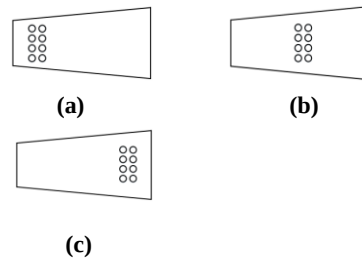


Fig. 2. Position of holes: (a) front, (b) middle (c) end

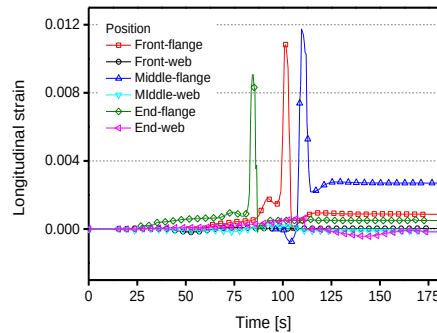


Fig. 3. Differences of longitudinal strains between flange and web

3. 결과 및 고찰

홀의 위치에 따른 플랜지와 웹의 변형률 차이를 Fig.3에 나타냈다. 변형률 차이는 홀이 중심부에 위치해 있을 때 가장 크게 나타나고 끝단부에 위치해 있을 때 가장 작게 나타난다. 이는 홀을 끝 단부에 위치시킬 때 변형률 차이를 감소시키고 뒤틀림 현상을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유한요소법을 이용해 홀이 있는 판재의 가변률성형 공정 시 발생하는 뒤틀림 현상을 홀의 위치에 따라 분석하고 뒤틀림을 최소화 시킬 수 있는 최적의 홀의 위치를 찾는 방법을 제시하였다. 사다리꼴 형태의 블랭크의 경우 끝단부에 홀이 위치할 때 뒤틀림 현상이 최소화 되었고 동일한 방법으로 다른 형태의 블랭크의 경우에도 최적의 홀의 위치를 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

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

참고문헌

- [1] S. K. Choi, W. T. Kim, Y. H. Moon, 2004, Analysis of deformation surrounding a hole produced by tube hydro-piercing, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. Vol. 218, No.9, pp.1091-1097.
- [2] A. Abvabi et al, 2015, The influence of residual stress on a roll forming process, International Journal of Mechanical Sciences. Vol. 101, pp. 124-136.

핫스탬핑 공정에서 가열조건에 따른 금형 보상

심규호¹ · 김재홍² · 박철진¹ · 김병민[#]

Die compensation according to heating condition in hot stamping process

G. H. Shim, J. H. Kim, C. J. Park, B. M. Kim

Abstract

Recently, hot stamping process has been widely used to improve the formability and spring-back. In the automotive industry, the tailored property has been applied to the hot stamping parts. The manufacturing of such parts is carried out by using different variables of the conventional hot stamping process or by utilizing tailored semi-finished parts, such as Tailor Welded Blank (TWB), Tailor Rolled Blank (TRB) and partial heated blank. Generally, in the hot stamping process, it is expected that no spring-back occurs. However, when partial heated blanks are applied to the hot stamping process, spring-back occurs in heated regions to low temperatures. In this study, spring-back was predicted to compensate the spring-back in the hot stamping process by partial heated blank. Also, the effect of spring-back on the heated range and the length of the transition zone were evaluated. Finally, the hot stamping die with compensated spring-back was designed using the geometry data.

Key Words : Hot stamping(핫스탬핑), Die compensation(금형 보상), Spring-back(스프링백), Partial heated blank(국부가열소재)

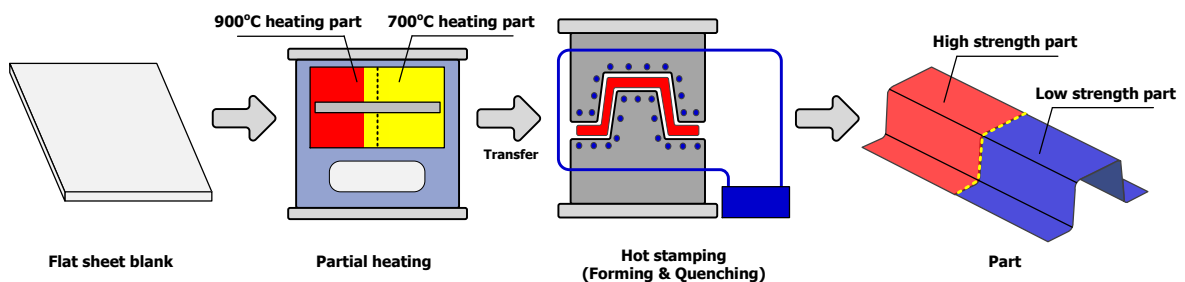


Fig. 1 Hot stamping process by partial heating

1. 에코플라스틱㈜

2. 부산대학교 기계공학부

Corresponding Author : School of Mechanical Engineering, Pusan National University, E-mail : bmkim@pusan.ac.kr

알루미늄 합금 판재를 이용한 자동차 히트 프로텍트 부품 개발

박동환^{1#} · 김진봉¹ · 탁윤학¹ · 이용운² · 서준혁²

Development of Heat Protector Parts using Aluminum Alloy Sheet for Automobile

D. H. Park, J. B. Kim, Y. H. Tak, Y. W. Lee, J. H. Seo

Abstract

Low cost manufacturing in the automotive industry is one of the main targets in most of the industries due to the ever increasing global competition. Lightweight materials such as aluminum alloys are used to realize low fuel consumption for automobiles. This paper is to develop heat protector parts using aluminum alloy sheet for automobiles to improve the formability and reduce the wrinkling.

Key Words : Heat Protector, Aluminum Alloy Sheet, Forming, Automobile, Die

1. 서론

본 연구는 알루미늄 합금 판재를 이용하여 엠보싱 성형기술과 프레스 성형기술을 융합하여 자동차 히트 프로텍트 부품을 개발하고자 한다. 자동차 저연비 실현을 위한 경량화 목적으로 알루미늄 소재를 이용하여 품질 향상, 생산성 향상과 원가절감 기술을 확보하고자 한다. 블랭크 소재의 높은 재고 비용 삭감과 금형 구조 개선과 코팅기술 적용으로 성형 불량률을 줄이고 생산 효율성을 향상하고자 한다.

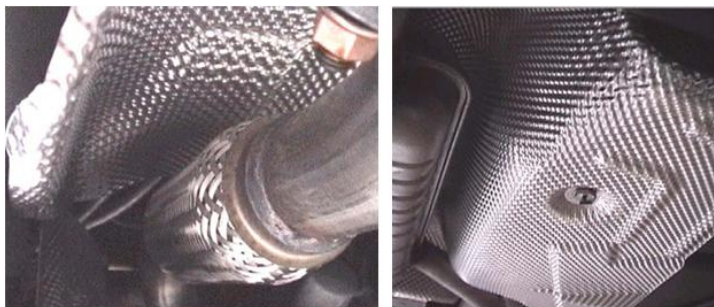


Fig. 1 Application example of heat protector parts using aluminum alloy sheet

1. 경북하이브리드부품연구원

2. (주)영진

교신저자: 경북하이브리드부품연구원,

E-mail: pdh@ghi.re.kr

2. 실험방법

알루미늄 합금 판재를 이용하여 자동차 히트 프로텍트 부품을 개발하기 위하여 트랜스퍼 금형을 설계 제작하였다. 트랜스퍼 금형은 주물 다이세트를 사용하여 주요 펀치와 다이는 합금공구강을 사용하였다. 알루미늄 합금 소재 두께는 0.4mm를 사용하고, 드로잉 성형을 하기 위해서는 터짐이 발생되거나 주름이 심하게 발생되므로 제품 형상에 따라 드로우 비드를 적절히 배분하여 제작하였다.



Fig. 2 Heat protector die for drawing aluminum alloy sheet

3. 결과 및 고찰

히트 프로텍트 부품은 고온의 배기가스 방사열에 의해 공간이 협소한 엔진 룸이나 배기계 주변에 설치되는 각종 센서 등의 전장부품이 손상되는 것을 방지하기 위한 차열 기능과 배기가스의 온도를 일정하게 유지시켜 주는 방열 기능을 가지는 부품이다. 본 연구는 알루미늄 합금 판재를 이용하여 주름과 터짐이 발생하는 원인을 분석하여 히트 프로텍트 금형을 개발하여 최적 히트 프로텍트 부품을 개발하였다.



Fig. 3 Heat protector parts of aluminum alloy sheet

참고문헌

- [1] 박동환, 정창식, "자동차 시트 쿠션 패널의 복합자동화 금형 제조기술에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제23권, 제2호, pp. 75-81, 2014.
- [2] M. Tiza, "High Strength Steels and Aluminum Alloys in Lightweight Body Manufacturing," Archives of Materials Science and Engineering, Volume 88, Issue 2, pp. 68-74, 2017.

소재의 기계적 물성을 고려한 인발 공정 자동 최적설계 프로그램 개발

조동혁¹ · 백인호¹ · 이영석[#]

Development of automatic optimization program for drawing process considering mechanical properties of material

D. H. Cho, I. H. Baik, Y. Lee

Abstract

A GUI program is developed which suggest optimum process parameters of drawing process when mechanical properties of materials and optimization goals are given. Artificial Neural Network(ANN) and Non-dominated sorting genetic algorithm-II(NSGA-II) are applied to design optimum drawing process (determine die angle, reduction of area, etc.) according to mechanical property of materials. The goal is to maximize strain and minimize drawing force and contact stress without fracture of materials.

Data for training ANN were created by finite element analysis(FEA) which was validated by 45 cases of physical drawing experiment. Fracture locus is employed to predict ductile fracture of material during drawing.

With the developed program, whenever material properties from typical tensile testing are entered, engineers can get results of multi-objective optimum design for the drawing process automatically. In other words, one can determine the best drawing process parameters within 10seconds for any metallic materials.

Key Words : Artificial Neural Network, NSGA-II , Multi-Objective optimization, Drawing, Ductile fracture, Design automation,

1. 중앙대학교 기계공학부

교신저자: 중앙대학교 기계공학부, E-mail: ysl@cau.ac.kr

유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브 압출 금형 설계

최병진¹ · 강성훈¹ · 오영석¹ · 이호원[#]

Design of Extrusion Dies for Seamless Titanium Tube using Finite Element Analysis

B. J. Choi, S. H. Kang, Y. S. Oh, H. W. Lee

Abstract

타이타늄은 높은 내식성, 내열성, 낮은 중량 및 높은 강도로 인해 해수 담수화 플랜트, 항공, 해양 플랜트 및 기타 산업에서 핵심 소재로 사용된다. 특히, 플랜트 시장에 주로 쓰이는 타이타늄 용접관은 용접부 응력부식균열(stress corrosion crack)의 발생으로 인해 내식성이 급격히 저하되는 단점이 있다. 이러한 문제점으로 인해 확관, 압출 및 인발 등의 새로운 공정을 적용한 심리스 튜브 제작에 대한 관심이 증대되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 심리스 타이타늄 튜브의 압출 공정을 분석하여 금형, 맨드렐 등의 기계 부품 및 공정 변수를 설계 하였다. 해석에 사용된 유동 응력은 고온 압축 실험을 실시하여 획득하였고, 해석을 통하여 하중, 최종제품치수, 온도의 변화를 공정 변수인 초기 빌렛 크기, 맨드렐 형상, 금형 각도, 금형 랜드부 길이, 금형 코너 반지름값에 따라 분석하였다. 또한, 압출 공정 중 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 금형 수명을 예측하기 위하여 금형탄성해석을 수행하여 금형에 발생하는 최대 주응력을 분석하였다. 최종적으로 이를 통하여 금형 수명을 극대화하기 위한 압출 공정에서의 최적의 조건을 도출 하였다.

Key Words : Extrusion, Finite Element Analysis, Seamless tube, Titanium



Fig. 1 Titanium welded Tube & Pipe

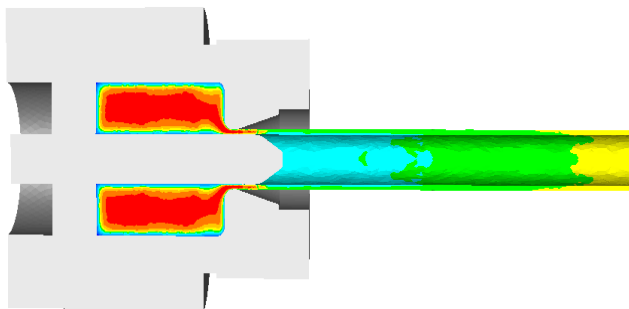


Fig. 2 The extrusion process of titanium seamless tube was designed using finite element (FE)

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

인발 가공 공정을 이용한 In-situ-MgB₂ 초전도 선재 개발 현황

장세훈¹ · 김효성¹ · 임재덕¹ · 강성훈² · 오영석² · 황덕영^{1#}

The development status of In-situ-MgB₂ Superconducting wires fabricated by drawing process

S. H. Jang¹, H. S. Kim¹, J. D. Im¹, S. H. Kang², Y. S. Oh² and D. Y. Hwang^{1#}

Abstract

MgB₂ 초전도체의 임계전이온도는 약 39K 로 고가의 액체헬륨을 사용하지 않고 냉동기 사용만으로 초전도 특성을 구현할 수 있고 저렴한 원료분말과 장선재 제조에 용이한 공정 등의 장점으로 인해 상용화에 적합한 초전도 선재로 차세대 의료 및 전력기기 산업에 응용연구가 활발히 진행 중이다. 그러나 MgB₂ 초전도 선재를 MRI, 전력 케이블, 모터, 한류기와 같은 응용기기에 적용하기 위해서는 고성능의 균질한 임계전류 특성을 갖는 km 급의 장선재 제조가 반드시 필요하다. 일반적으로 MgB₂ 선재는 PIT(Powder-In-Tube)법을 이용하여 원료분말의 형태에 따라 In-situ 방식과 Ex-situ 방식으로 제조되며 MgB₂/확산방지층/최외곽시스 구조의 다수의 필라멘트로 구성된 복합다심선재로 제조된다. 하지만 소성가공에 의한 In-situ 방식으로 제조되는 MgB₂ 다심선재의 원료 분말인 Mg, B 는 연성이 부족하고 소재의 가공한계에 의한 단선과 소세징 현상과 같은 균일성 및 건전성 저하로 인해 MgB₂ 장선재의 제조에 많은 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해선 입자크기, 입도, 충전율과 같은 분말의 균일성 외에 인발 다이스 설계 및 공정 설비 최적화를 통한 균일한 소성가공이 필요하다.

MgB₂ 다심선재의 모듈 수에 따른 기계적 특성 비교 결과 인장강도, drawing force, 경도값이 증가하는 경향을 보였고 본 연구에서는 안정적인 장선재 제조 기술 개발을 위해 항복강도 직선상 영역에서 인발 가공이 가능하도록 다이스 설계 및 인발 공정 최적화 연구를 진행하였다. 인발 가공 시 균일 변형을 부여하기 위해서 shape factor를 고려하여 단위 감면율, 어프로치 각도, 베어링 길이 및 인입소재 접촉 구간과 같은 다이스 설계 인자 최적화 연구를 진행하였고 위 연구 결과를 바탕으로 제조된 MgB₂ 선재의 균일성과 건전성을 평가하였다.

Key Words : MgB₂, 초전도선재, PIT, 인발, 다이스, drawing force,

1. Kiswire Advanced Technology Ltd. (KAT)
2. Korea Institute of Materials Science (KIMS)
교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.(KAT)
E-mail: dyhwang74@kiswire.com

고강도 초세립 선재 제조를 위한 하이브리드 인발공정 개발

조동혁¹ · 백인호¹ · 유상빈¹ · 이영석[#]

Development of Hybrid Drawing Process for Manufacturing of High strength Ultra Fine Grained Wire Rod

D. H. Cho, I. H. Baik, S. B. You, Y. Lee

Abstract

A hybrid plastic working process which combines groove rolling process and drawing process was developed based on FE analysis. Steel processing companies are trying to induce as high strain as possible on the material under recrystallization temperature to improve mechanical properties of steel products. But there is a limitation of cold working. Crack occurs in the material when the plastic deformation exceeds limitation due to ductile fracture.

Wire drawing and groove rolling are one of the most used plastic working process for manufacturing wire rod. Both processes have limitation. During drawing process ductile damage are accumulated in the center and sometimes crack occurs which is called chevron crack. In contrast, during groove rolling process ductile damage are accumulated on the surface of wire rod and it causes surface defects. With the hybrid process, higher strain can be induced without crack occurrence so that improvement of mechanical properties are increased. Moreover, distribution of strain is being uninformed.

Key Words : Drawing process, Groove rolling process, Chevron crack, Surface defect, Grain refinement

1. 중앙대학교 기계공학부

교신저자: 중앙대학교 기계공학부, E-mail: ysl@cau.ac.kr

두방향 두께 편차를 가지는 Tailor Rolled Blanks

한상욱¹ · 우영윤¹ · 황태우¹ · 문영훈[#]

Tailor Rolled Blanks with Thickness Deviation in Two directions

S. W. Han, Y. Y. Yun, T. W. Hwang, Y. H. Moon

Abstract

Tailor-rolled blanks (TRB) is a semi-finished part, which changes the blank thickness during a rolling process that leads to a continuous thickness transition between thick and thin. In the previous TRB research, Only the characteristics of the thickness variation in the longitudinal direction were considered. However, for auto-body door ring, thickness variations in the width direction as well as in the longitudinal direction are required to maximize the performance. Therefore, a TRB with Thickness deviation in two directions (longitudinal and width direction) was investigated in this study. The manufacturing process of TRB was analyzed by FE simulation using three types of the solid blank and hollow blanks having circular and square holes. This study suggests using hollow blanks with circular and square holes instead of solid blank which can manufacture sound blanks with acceptable.

Key Words : Tailor-rolled blanks (TRB), FE simulation, Transition zone, Hollow blank

1. 서론

Tailor-rolled blanks (TRB)는 압연공정을 기본 토대로한 완제품 전단계의 반제품(Semi-finished part)을 제작할수 있는 기술로써, 압연롤러의 압하량을 조절하여 선택적으로 두께 변화를 부여한 블랭크를 의미한다[1]. 원하는 두께로 조정이 가능하기 때문에 두께 최적화에 의한 중량 절감 효과, 접합 방식에서 발생하던 용접 불량 개선 및 구조적 단순화에 의한 공정 간소화가 가능하므로 다양한 부재에 적용되고 있다[2]. 이전의 TRB 연구들의 경우, 압연 방향으로의 성형 특성에만 주안점을 두었다. 하지만 자동차 차체 부품중에 하나인 도어링 (Door ring) 같은 경우 제품의 성능을 극대화 하기위해 길이방향 뿐만 아니라 폭방향으로 까지 두께변화가 필요한 실정이다. 이에 본연구에서는 유한요소해석을 이용하여 두방향(길이방향, 폭방향)으로 두께 편차를 가지는 TRB의 제조 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 또한 치수 불안정을 야기시키는 기존의 블랭크의 해결방안을 제안하였으며, 형상의 비교 분석을 통해 중공 블랭크의 타당성을 검증 하였다.

2. 유한요소해석

Fig. 1은 압연 공정에 의해 두방향으로 두께 편차를 갖는 TRB의 구조를 나타내었다. 각 영역별로 두께가 1.4, 1.2, 1.0mm로 변화하며, 각 영역별 사이는 천이구간이 존재한다. 압연재는 SABC 1470 소재를 이용하였으며, 블랭크의 치수는 길이 방향 320mm, 폭방향 320mm, 두께 1.4mm로 하였다. TRB의 거동 특성을 분석하기 위하여 상용해석 소프트웨어인 ABAQUS를 이용하였으며, Fig. 2에 시뮬레이션 모델을 제시하였다. FE 해석의 경우, 길이방향으로 블랭크의 두께를

1. 부산대학교, 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구센터

문영훈: 부산대학교, 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구센터, E-mail:yhmoon@pusan.ac.kr

1.2mm로 1차 압연을 한후 다시 블랭크를 폭방향으로 1.0mm의 두께로 2차 압연이 되게 롤러의 경로를 설정하였다.

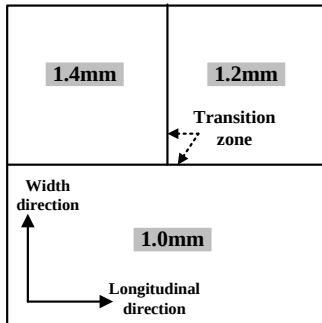


Fig. 1. Schematic of a TRB with thickness deviation

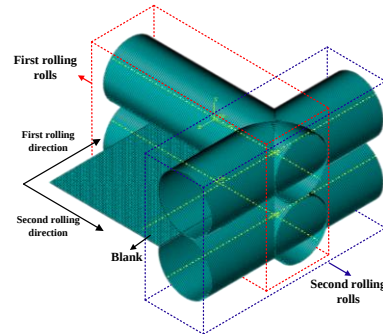


Fig 2. Finite element simulation model

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 길이방향과 폭방향으로 FE 해석을 수행한 TRB의 형상을 나타내었다. 기존 블랭크의 경우 블랭크 전반에 걸쳐 힘이 크게 발생하였다. 이는 1차 압연이후 2차 압연을 하는 과정에서 가변 두께들이 응집하는 천이구간에서 과도한 변형집중으로 인해 블랭크의 힘이 점차적으로 가속화되어 치수불안정성이 발생한 것으로 판단된다. 이에 반해 중공 블랭크들의 경우 치수 불안정성을 야기시키는 천이구간 영역에 어떠한 영향도 받지않으므로 블랭크의 형상은 상당히 안정화 된 것을 확인할 수 있다.

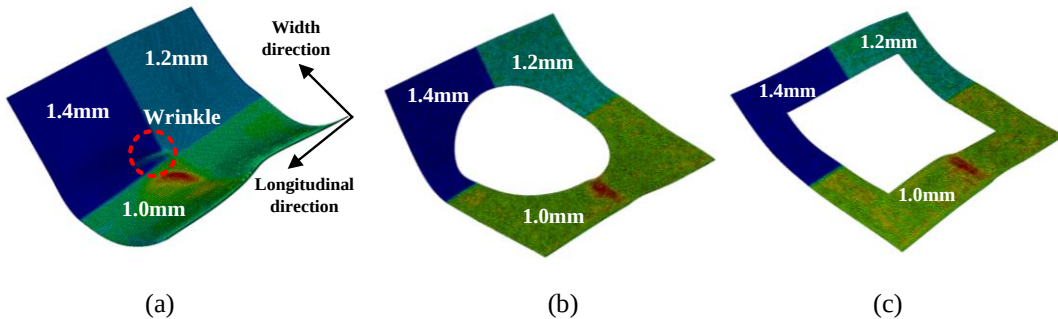


Fig. 3. Comparison of TRB shapes: (a) solid blank, (b) circular hole and (c) square hole

4. 결론

두방향 두께편차를 가지는 TRB 제조 가능성을 확인하기 위해 유한요소해석을 실시하였다. 기존의 블랭크는 겹쳐진 천이구간영역에서의 변형집중으로 인해 치수불안정을 야기시키는 반면, 중공 블랭크는 겹쳐진 천이구간 위치를 타공하기 때문에 변형집중이 완화되어 치수 불안정성을 상당히 개선시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] R. H. Lu, X. H. Liu, S. D. Chen, L. Feng, X. L. Hu, Lu, L. Z. Liu, 2017, Springback Behavior of Tailor Rolled Blank in U-Shape Forming, J. Iron. Steel Res. Int. Vol. 24, No. 8, pp. 787~794.
- [2] A. Meyer, B. Wietbrock, G. Hirt, 2008, Increasing of the Drawing Depth Using Tailor Rolled Blanks— Numerical and Experimental Analysis, Int. J. Mach. Tools Manuf. Vol. 48, No. 5, pp. 522~531.

실험계획법을 적용한 라이너 단조 공정의 유한요소해석

김용관¹ · 강경필¹ · 서승재² · 이재근² · 윤태식³ · 이경훈[#]

DOE approach in the FEA of Liner Forging Process

Y. G. Kim, K. P. Kang, S. J. Seo, J. K. Lee, T. S. Yoon, K. H. Lee

Abstract

유한요소해석에 실험계획법을 적용하면 다양한 조건들의 복합적인 변화가 공정에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 그러나 변수의 조합에 따라 수십 또는 수백 개의 샘플을 모델링 해야 하며, 각각의 샘플에서 결과를 추출하여 비교 분석하는데 많은 시간이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 실험계획법의 과정을 일괄적으로 수행할 수 있도록 고안된 시스템으로 라이너 단조의 금형 설계에 적용하였다. 라이너 단조공정에서 금형 설계변수에 따른 소재의 유효 변형률 분포를 평가하여 제품 위치에서의 변형률이 균질하도록 하는 최적의 금형 형상을 선정하였다.

Key Words : DOE(Design of Experiment, 실험계획법), Finite Element Analysis(유한요소해석), Forging(단조), Optimization(최적화)

1. 서론

유한요소해석법은 제품생산에 앞서 수치 해석을 통해 다양한 결함들을 예측하여 소재의 변형 정도, 금형 형상, 공정 절차 등을 설계 과정에서 수정함으로써 공정설계의 시간과 비용을 절감하는 역할을 해왔다. 최근에는 다양한 조건들의 복합적인 변화가 제조 공정에 미치는 영향을 분석하기 위해 유한요소해석에 실험계획법(DOE)을 적용하는 사례가 증가하고 있으며 공정을 최적화하는 데 유용한 도구로 사용되고 있다.

하지만, 실험계획법을 유한요소해석에 적용하기 위해서는 변수의 조합에 따라 수십 또는 수백 개의 샘플을 모델링 해야 하며, 각각의 샘플에서 변수의 영향도 또는 관심 영역의 결과값을 추출하여 비교 분석하는데 많은 시간이 필요하다. 특히 3 차원 문제의 경우 계산시간이 큰 비중을 차지한다. 따라서 실험계획법의 변수에 따른 모델

생성 및 해석을 자동화하고 결과 평가 과정을 일괄적으로 수행할 수 있도록 하는 시스템이 요구된다. 주로 다단공정으로 이루어진 단조공정에서는 금형의 형상, 금형과 소재의 마찰, 성형하중에 따라 제품의 미충진과 접힘 현상이 발생하기 때문에 이러한 시스템의 도입이 필수적이다.

본 연구에서는 실험계획법을 효율적으로 적용하도록 고안된 DEFORM 시스템을 사용하여 라이너 단조 공정의 금형 설계에 적용하였다. 냉간 단조 공정을 통해 제작되는 라이너는 성형공정 동안 내부조직을 미세화하면서 물성의 편차를 작게 하기 위해 변형률의 균질화를 이루어야 한다.

2. 해석 개요 및 실험계획법 설정

2.1 라이너 단조 기본 설정

실험계획법 설정에 앞서, 기준이 되는 라이너 단조 공정해석을 수행하였다. 본 연구에서는 초기 라이너 소재가 비대칭 형상 및 변형률 분포를 포함하고 있으므로

1. ㈜ 솔루션랩

2. ㈜ 풍산

3. 방산기술지원센터, 광운대, 방위사업학과 박사과정

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

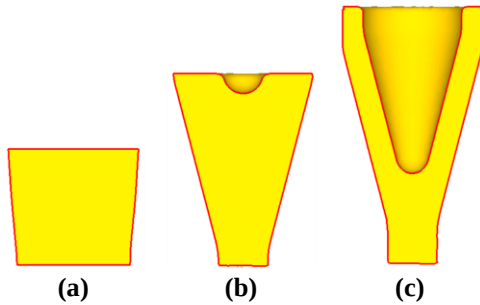


Fig. 1 Liner forging process : (a) Initial workpiece, (b) 1st forging, (c) 2nd forging

DEFORM 3D를 이용하여 Full model 해석이 수행되었다. 소재는 Fig. 1 과 같이 총 2 공정의 단조 공정을 거쳐 최종 단조품을 만든 후 절삭 과정을 거쳐 완성하게 된다.

2.2 설계변수의 선정 및 샘플링

라이너 단조 금형의 형상에서 선택된 설계변수는 최종 단조 펀치의 원뿔면 각도(A), 하부 금형의 그림부 직경(B)과 원뿔면 각도(C)이며 Fig. 2 와 같다.

설계변수는 Table 1 과 같이 최대/최소 범위에서 5 단계로 설정하였고 대표적인 실험 계획법인 다구찌(Taguchi)의 직교배열표를 이용하여 총 25 개의 Case 를 구성하였다.

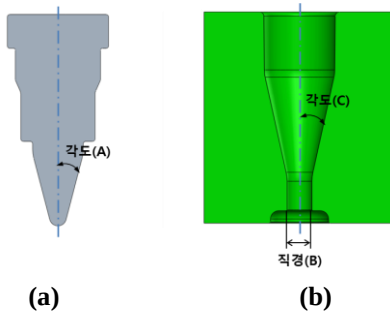


Fig. 2 Definition of design variables : (a) Punch, (b) Lower Die

Table 1 Factors and levels used in FEA

Factor	Unit	Level 5	
		Max.	Min.
A : Punch Angle	degree	12.5	17.5
B : Die Diameter	mm	12.5	17.5

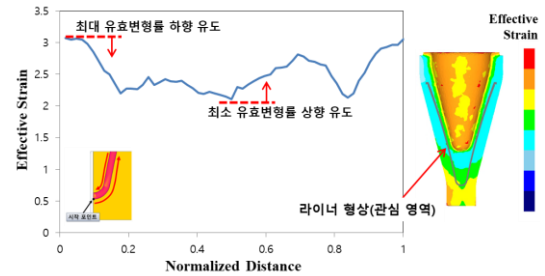


Fig. 3 Region of interest in 2nd forged product

C : Die Angle	degree	12.5	17.5
---------------	--------	------	------

3. 결과 및 고찰

설계변수 값의 변화에 따른 결과는 최종 제품(절삭품) 위치에서의 유효 변형률로 선택하였고 단조품의 균질화 여부를 판단하기 위해 최대/최소 유효 변형률을 추출하여 편차의 정도를 분석하였다. 분석 결과에서 편차의 원뿔면 각도(A)와 하부 금형의 원뿔면 각도(C)가 소재의 최대/최소 유효 변형률에 영향을 주는 것으로 확인이 되었으며, 변수 A 와 C 는 최소값, B 는 최대값일 때 가장 작은 변형률 편차를 보이는 것으로 예측되었다.

실험계획법 기능이 적용된 DEFORM 시스템에서 변수 선정 및 샘플링 자동화, 관심 영역의 결과 분석 등이 가능해진 것은 공정설계 업무에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 방위산업기술지원센터로부터 연구비를 지원받아 수행되었습니다(계약번호: UC160008D).

참고문헌

- [1] 장수호, 박경채, 2011, 성형작약탄용 구리 라이너의 미세조직 제어연구, 한국군사과학기술학회지, 제 14 권, 제 6 호, pp. 1114-1120.
- [2] 여흥태, 박건형, 허관도, 2006, 최적화기법의 적용을 통한 냉간단조품의 성형공정 평가, 한국소성가공학회지, 제 15 권, 제 3 호, pp. 226-231.

알루미늄 5083 합금을 이용한 블레이드 실린더 루트의 열간자유단조공법에 관한 연구

권용철^{1#} · 윤영섭¹ · 김상석²

A Study on Hot Open Die Forging Method of Blade Cylinder Root using Al 5083 Alloy

Y. C. Kwon, Y. S. Yoon, S. S. Kim

Abstract

The blade cylinder roots is one of the key components connecting the blade and pitch bearing of a wind turbine and accounts for 20% of the manufacturing cost of the blade. Typically, blade cylinder roots are manufactured by open die forging method using steel alloy. However, the blade cylinder root for 750KW class wind turbine is manufactured using Al 5083 casted material in order to reduce the weight. This study aims to develop a hot open die forging method through Experiment and FE-Analysis using Al 5083 material manufactured by continuous casting. In case of the open die forging for large forged part, pass schedule of forging process is most important because it can affect final dimensions of product. In this paper, the forging process was designed by applying the mandrel forging method. Hot compression tests were carried out to obtain the flow stress of cast microstructure at different temperature and strain rates. The measured dates were used to simulate the forging process of cast ingot using the practical material properties. The control parameters of each forging process, such as temperature, damage value, strain and stress, were analyzed and compared to predict the suitability of the mandrel forging process. Finally, high productivity, internal quality, shapes and dimension was verified by the prototypes manufactured by the proposed forging process for blade cylinder root. In addition, the prototypes were investigated the mechanical properties for direction.

Key Words : Open Die Forging(자유단조), Flow Stress(유동응력), Mandrel Forging(멘드렐 단조) , Blade Cylinder root(블레이드 실린더 루트), Wind Turbine(풍력발전기)

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역산업 창의융합 R&D 사업으로 수행된 결과입니다. (과제번호:R005924)

1. 한국건설생활환경시험연구원 영남미래산업본부
2. ㈜피에스엠 기술연구소
한국건설생활환경시험연구원, yckwon@kcl.re.kr

Ni기 초합금 CEDM Nozzle 개발을 위한 열간 단조공정 해석 및 특성연구

김영득[#], 배현나¹, 박승희²

A Study of Hot-Forging Simulation and Property for Ni-base superalloy CEDM Nozzle Development

Y. D. Kim[#], H. N. Bae¹, S. H. Park²

Abstract

발전소 원자로의 핵연료 연쇄반응을 제어하는 제어봉 이동을 위해 CEDM Nozzle이 사용된다. 작동 환경은 고온, 다습 및 중압 하에 노출되어 있으며 Ni base의 Inconel 690이 사용된다. 국내 모든 발전소는 전량 수입에 의존하고 있어 납기 및 가격 면에서 어려움을 겪고 있지만, 제조 전용 설비 구축과 고온에서의 난성형 특성 및 까다로운 요구 Spec.으로 인해 성공적인 제품제조가 어렵다. 본 연구에서는 특수 정련강괴 소재로부터, 소재특성 및 최적 단조온도 구간을 구축 하였다. 특히, 열간 단조 공정 확보를 위하여 소성해석 전용 프로그램인 Simufact.Forming을 이용하여 프레스 타입 별 단조효과 특성파악과 설비 특성을 고려한 최적 단조프로세스를 정립 하고 실소재 단조, 열처리 후 시험평가를 통해 요구 Spec. 을 만족하는 조건을 확보하였다.

Key Words : CEDM Nozzle; Inconel 690; 2-Die/RFM/4-Die Forging; Forging process; Simufact.forming;

1. 서론

원자로 노심내의 핵분열 수를 조절하기 위해 봉소-카바이드로 구성된 제어봉이 노심 내로 이동 할 수 있도록 중공형의 CEDM(Control Element Drive Mechanism) Nozzle 부품이 필요하다. 사용 환경조건은 고온, 다습 및 중압(2,500psi)으로 소재는 Ni-base의 Inconel 690이다[1]. 국내 발전소는 전량 해외수입에 의존하고 있어 납기 및 가격뿐 아니라 구매자이지만 공급사의 편의를 우선해야 상황이다. 개발을 위해서는 고가의 전용설비 구축, 열간 난성형 장애기술 극복 및 까다로운 요구 Spec.을 만족해야 하는 어려움이 있다. 본 연구에서는 특수 정련강괴 제작 후 단조, 열처리기술을 정립하고 실품 제작 및 요구 Spec.을 만족하는 기술개발을 이루었다. 특히, 품질결정에 결정적 역할을 하는 단조기술 개발을 위해 Simufact.Forming 14.0 S/W를 이용하여 프레스 타입 별 공정 시뮬레이션을 수행하여 프로세스 기반을 정립하고 실 부품 제작 후 시험평가 하여 모든 Spec.을 만족하는 조건을 확보 하였다.

2. Ni기 초합금 정련강괴 제작

상용소재의 성분 스펙 범위에서 성분 최적화 테스트 후 VIM+ESR 강괴를 제작하였다. ESR 정련 시 주요 원소(Ti, Al 등)의 상평형 및 최저용점 조건을 고려하여 Slag 조성 및 조업조건을 구축하여 제작하였다. 그림 1은 $\phi 380 \times L4,580$, 4.2톤 전극과 ESR 공정 후 $\phi 550 \times L2,160$ 강괴를 제작하였다. 표 1은 강괴 후 최종 제조 된 성분결과로 요구 Spec.을 모두 만족하였다.

[#]: 교신저자: 두산중공업 기술연구원 소재기술개발팀,

E-mail: youngdeak.kim@doosan.com

1: 두산중공업 기술연구원 소재기술개발팀

2: SIMECS, SIMUFACT.FORMING



Fig. 1 Photograph of manufactured ingots by using the VIM+ESR process

Table 1 Dimensionless composition of manufactured inconel 690 product

Contents	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu	Co	Ti	Nb	Fe	Ni
Spec.(wt. %)	0.015 ~ 0.025	0.17 ~ 0.27	0.2 ~ 0.3	Max. 0.004	Max. 0.003	28 ~ 30	0.005 ~ 0.015	0.2 ~ 0.3	Max. 0.015	0.01 ~ 0.03	0.25 ~ 0.35	0.01 ~ 0.03	9.2 ~ 9.6	Rem
Dimnesionless composition	1.00	9.55	10.91	0.26	0.03	1,299	0.38	10.45	0.14	0.73	13.94	0.94	428.8	Rem

3. 단조공정해석 및 조건 도출

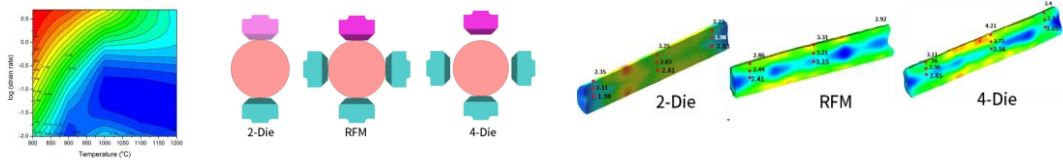


Fig. 2 Set-up of forging window and forging process factors through FE simulation

그림 2는 DMM(Dynamic Materials Model)[2]에 의한 단조온도 설정과 S/W를 이용한 프레스 타입 별 단조공정 시뮬레이션 통해 공정 조건($\epsilon \geq 3.5$) 들을 설정하였다.

4. 초합금 단조 및 특성검토

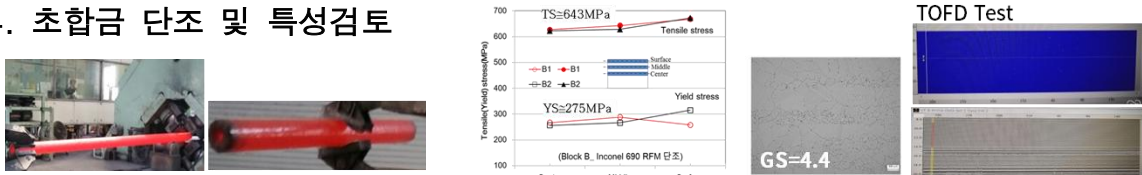


Fig. 3 Actual forging product and test results for CEDM nozzle

그림 3은 도출한 공정조건에 따른 실 단조 작업과 열처리 후 시험특성 평가를 수행한 결과이다. 요구하는 물성($TS \geq 586\text{MPa}$), 결정립($3 \sim 7.5$) 및 TOFD(No echo) Spec. 등 모두를 만족하는 조건들을 확보 하였다.

5. 결론

원자로의 핵심 부품인 Ni-base Inconel 690 초합금 재인 CEDM Nozzle에 대한 특수정련 제작과 단조공정 시뮬레이션을 통한 조건설정 후 실품 단조 작업 및 시험 특성 평가 등을 수행하여 요구 Spec. 들을 모두 만족하는 조건($\epsilon \geq 3.5$) 등을 확보하여 성공적인 기반 기술 조건들을 구축하였다.

참고문헌

- [1] EPRI, Proceedings: alloy 690 workshop, 1989, NP-6750-SD PJT S408-1
- [2] Y.V.R.K. Prasad, Metall. Mater. Trans. 27A (1996) 235~236

Voce 유동응력 모델의 고찰

모하마드카스완디라자리¹ · 이라니 미쌈¹ · 전만수[#]

Consideration of Voce's flow stress model and its variants

M. K. Razali, M. Irani, M. S. Joun

Abstract

In this paper, conventional mathematical models of expressing flow stress curve at the elevated temperature are criticized in terms of accuracy and applicability. A potentially promising approach is introduced which is still under developed. The approached can describe the flow stress curve with applicable scheme of obtaining its associated parameters. The model has six parameters that can be determined systematically. It is shown that the stress-strain curve acquired by this model are in great concurrence with the experimental data.

Key Words: Voce Flow Stress Model (Voce 유동응력 모델), Dynamic Recrystallization (동적 재결정), Accuracy (정확도)

1. Introduction

The understanding of deformation behaviors of metals and alloys at the elevated temperature is of great importance for process design engineers in metal forming because it can give them some insights on conceptual process design. During hot metal forming, the materials are subjected to complex deformation history under strain, strain rate and temperature, which causes different metallurgical phenomena [1] such as microstructural evolution and heat treatment.

Plastic flow stresses at the elevated temperature are too complicated to be revealed in a practical way by the application engineers, for example, because the hot materials are hardened at small strain below the peak strain and softened at the larger strain due to dynamic recrystallization, i.e., the dominant restoration process in microstructural evolution.

Many researchers have suggested mathematical

models of the stress-strain curves of some selected materials for a certain range of temperature and strain rate. Among those previous works, Voce [2] attracted more attention in the 1970s when analysis of large strain curves gained interest. He formulated the flow stress in terms of Zener-Hollomon parameter Z, describing the combined influence of strain rate and temperature. The flow stress divided into two terms, whereby the first one describes the strain hardening and the second describes softening by dynamic recrystallization. This model is suitable to take into account both for strain hardening and for dynamic softening occurring during hot forming conditions.

Recently, Ebrahimi et al. [3] have improved the Voce model and studied the flow behavior of a Ti-IF steel.

In this paper, the Voce model and Ebrahimi et al. model are criticized in terms of accuracy

1. 경상대학교 기계항공공학부

경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

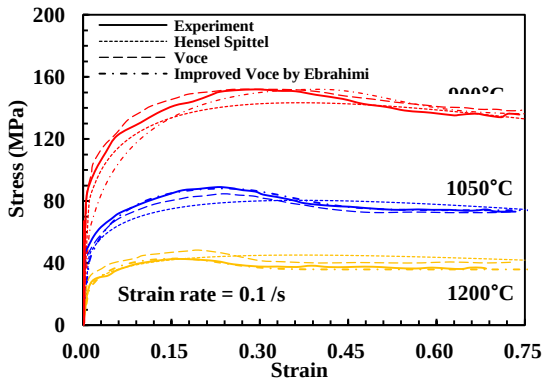


Fig. 1 Comparison of Voce, Hensel-Spittel and Ebrahimi et al. with experiments

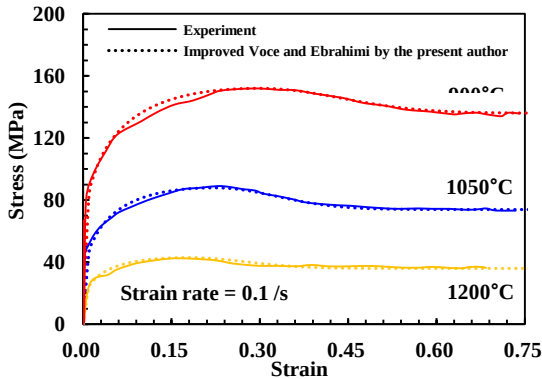


Fig. 2 Comparison of experiments with new model.

2. Voce model and improvements

According to L. W. Meyer [2], Voce model reflects well the flow stress of 20MoCrS4 material while Hensel-Spittel does not give good results. The same results were presented by P. Opěla [1].

In this study we compared Voce, Hensel-Spittel and Ebrahimi et al. with experiments, as shown in Fig. 1. It can be seen that no flow stress model can cover the whole sampled temperatures. Especially 5-parameter Hansen-Spittel model is the worst because it exhibits distinct difference in flow stress especially in steady-state condition at the higher strain.

Voce model predicts the flow stress with acceptable accuracy for the lowest temperature. However, it gives inaccurate flow stress for the other two temperature. It can be seen that Voce's problem was much improved by Ebrahimi et al.

However, the proposed scheme is relatively complicated. Ebrahimi et al. model have 10 material constants that need to be identify systematically from detailed observation over several characteristic curves.

Based on the understanding of previous studies, the authors are studying material characterization for two aims. The first aim is to improve the flow stress model for the higher accuracy and more systematic and easier way of determining the material parameters. The second aim of our study is to generalize the model for covering wide ranges of strain rate and temperature to give flow stress information at any condition during metal forming.

Fig. 2 involves our intermediate results of fitting the flow stress curves for the same example with those in Fig. 1. As can be seen in Fig. 2, our curves best fit the experiments.

3. Conclusion

In this paper, flow stress models of metal material at the elevated temperature including Voce's model, Hensel-Spittel model, etc. were criticized and the improvement direction was given with an application example.

Acknowledgement

이 연구는 중소기업청의 WC300 프로젝트 기술개발지원사업(과제번호:S2415560)과 산업통상자원부의 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 10081334)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- [1] P. Opěla, I. Schindler, P. Kawulok, F. Vančura, R. Kawulok, S. Rusz, and T. Petrek, 2015, Hot flow stress models of the steel C45, *Metalurgija*, 54(3), 469-472.
- [2] L. W. Meyer, A. Weise, and F. Hahn, 1997, Comparison of constitutive flow curve relations in cold and hot forming, *Le Journal de Physique IV*, 7(C3), C3-13.
- [3] R. Ebrahimi, S. H. Zahiri, and A. Najafizadeh, 2006, Mathematical modelling of the stress-strain curves of Ti-IF steel at high temperature, *Journal of Materials Processing Technology*, 171(2), 301-305.

베어링 외륜 열간단조 중의 결정 진화 예측을 위한 재료상수의 획득 및 실험적 검증

이라니 미쌤¹ · 임수근² · 전만수[#]

Acquisition of Coefficients of JMAK Model for Microstructural Evolution using a Hot Forging Process of Outer Race

M. Irani, S. G. Lim, M. S. Joun

Abstract

The coefficients of Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov (JMAK) model for predicting grain size are obtained through a new method recently presented by the current authors. In this method, an optimization tool minimizes the error between experimental values and corresponding finite-element solutions iteratively. A three-stage forging process is employed to obtain the main coefficients of the grain size equation for 100CrMnSi6 alloy steel. A good agreement was observed between the predicted grain size using the obtained coefficients and experimental values.

Key Words : Dynamic recrystallization (동적재결정), Grain size (결정크기), Steel (강), Material Properties (물성치)

1. Introduction

The size of recrystallized grain is calculated via Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov(JMAK) model [1]:

$$D_{drx} = a d_0^h \varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) + c \quad (1)$$

The nomenclature of the above equation is: T , temperature (K); gas constant ($R = 8.134472$ J/Kmol); d_0 , initial grain size (μm); D_{drx} , recrystallized grain size (μm); Q (J/mol), activation energy for dynamic recrystallization and a , h , n and m are material coefficients. The coefficients are typically obtained from experimental observations using the regression techniques.

In this study, the first and second stages of a three-stage forging process is employed to obtain the

coefficients of the equation for 100CrMnSi6 steel using finite element analysis and optimization techniques.

2. Material and methods

The chemical compositions of the studied steel are given in Table 1. A metal forming simulator, AFDEX2D coupled with HyperSTUDY is utilized to predict D_{drx} in the first and second stages. The error between predicted grain size and experimental value is minimized to acquire the DRX coefficients. Fig. 1 shows the schematic diagram of the forging process used in the experimental procedure.

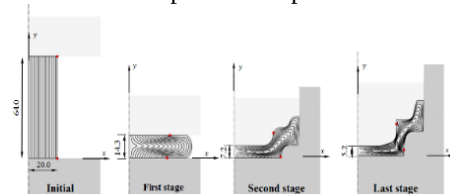


Fig. 1. Schematic diagram of the three stage for gining process with metal flow lines

1. 경상대학교 기계항공공학부
2. 경상대학교 나노·신소재공학부
경상대학교 기계항공공학부
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

Table 1 Chemical composition of 100CrMnSi6.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr
Wt. %	0.99	0.62	1.1	0.11	0.01	1.52
Element	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Fe
Wt. %	0.03	0.01	0.01	0.26	0.2	Bal.

The objective function is defined as [2-3]:

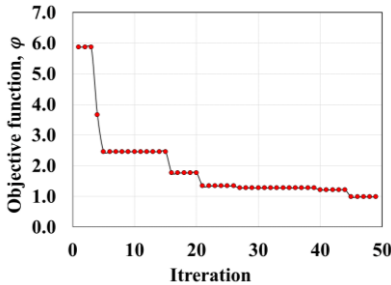
$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{drx,exp(i)} - D_{drx,pre(i)})^2} \quad (2)$$

where $D_{drx,exp(i)}$ and $D_{drx,pre(i)}$ are the measured and predicted grain sizes at i^{th} sample point. a , m , n , Q and h , respectively are considered as the design parameters. The constraints are applied as:

$$\begin{aligned} 0.0 < a < 2.0, 0.0 < h < 1.0, -0.5 < n < 0.5, \\ -0.5 < m < 0.5, -100.0 < Q < -50.0 \end{aligned} \quad (3)$$

3. Results and discussion

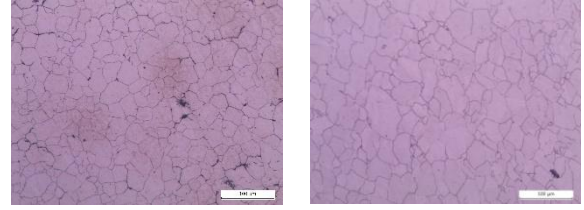
The variation of objective function with iteration is depicted in Fig. 2, showing the value converges to 0.92 after 50 iterations.

**Fig. 2. Variation of objective function**

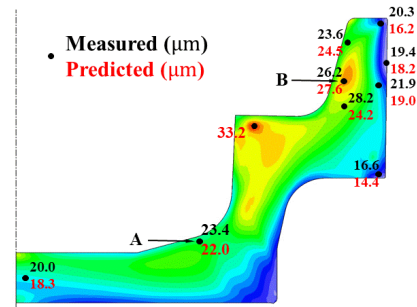
The obtained values of the coefficients are represented in Table 2.

Table 2 Obtained DRX coefficients

Coefficient	Value
a	9.3×10^3
h	0.261
n	-0.085
m	-0.065
$Q(\text{kJ/mol})$	76.49

**Fig. 3. Parent austenite grains at points A and B shown in Fig. 4**

Parent austenite microstructures at two selected points are illustrated in Fig. 3. We used the obtained coefficients to predict the grain size at the last stroke of final forging stage. The results are depicted in Fig. 4 showing a good agreement between the predicted and measured grain size with the average error of 10.5%.

**Fig. 4. Measured and predicted grain sizes at the final stage**

Acknowledgement

이 연구는 중소기업청의 WC300 프로젝트 기술개발지원사업(과제번호: S2415560)과 산업통상자원부의 경량소재 국가전략프로젝트 산업기술혁신사업(과제번호: 10081334)의 지원을 받아 수행된 연구임. 시험에 협조해 준 세일 단조와 실험에 협조해 준 Mr. M. K. Razali에 감사드립니다.

References

- [1] M. Irani, M. S. Joun, 2018, Determination of JMAK dynamic recrystallization parameters through FEM optimization techniques. Computational Materials Science, Vol.142, pp. 178~184.
- [2] M. Irani, M. S. Joun, 2017, Obtaining parameters of dynamic recrystallization kinetics using FEM and optimization technique. KSTP Fall Meeting, pp.91~92.
- [3] M. Irani, M.S. Joun, 2017, Practical Approach to Determining Material Parameters in Microstructure Evolution. KSTP Spring Meeting, pp. 122~123.

10. 특 별 세 셴

뿌리기술연계 항공부품 제조기술
(제 5 발표회장)

뿌리기술연계 항공부품 · 소재 제조기술 및 발전동향 분석

최호준^{1#} · 신영철¹ · 김봉환¹ · 이기영² · 정민수¹ · 이정민¹

Analysis on The Development Trend and Manufacturing Technology of Aircraft Parts and Its Material Connected with The Fundamental Manufacturing Technology(Ppuri technology)

H. J. Choi, Y. C. Shin, B. H. Kim, K. Y. Lee, M. S. Jung, J. M. Lee

Abstract

Aerospace industry is generally stated as a developed industry and the future of manufacturing industry on a scale of market, profitability, market growth and the ripple effect of technology. Also the key technologies forming an aerospace industry are combined and complicated technologies such as machine, new materials, software, electricity and electronic, and IT. Most of aircraft parts are made of fundamental manufacturing technology named as Ppuri technology. Ppuri industry is the fundamental industries that manufacture materials into parts, parts into complete products through main Ppuri technologies such as casting, molds & dies, metal forming, welding, surface treatment and heat treatment. Automobile, shipbuilding, semiconductor and aerospace industry are closely connected with Ppuri industry. Specially increase of the technology power in the manufacturing the aircraft parts is a key role of competitiveness for the aerospace industry. And then the long-term development of the parts manufactured by the Ppuri technology is needed for growing the national aerospace industry. In a viewpoint of the material treated in Ppuri technology, military aircraft require the characteristics of stealth, composite and smart material to obtain weight-lighting, making smart and stealth function. On the other hand, commercial aircraft needs those of composite and smart material to obtain weight-lighting and making smart. Especially in aerospace industry, the development process from a material to manufacturing a part corresponds with the certification steps form MMPDS/AMS to NADCAP. Also QT and evaluation should be satisfied by customer audit related to requirements of manufacturing company of the aircraft.

Key Words : Aerospace Industry, Fundamental Manufacturing Technology, Ppuri Technology, Ppuri Industry, Weight-lighting, Aircraft Parts, MMPDS, NADCAP

1. 한국생산기술연구원

2. (주)케이피씨엠

교신저자: 한국생산기술연구원, hjoon@kitech.re.kr

항공기 재료 및 공정 인증체계에 관한 고찰

이은석¹ · 이강이[#]

Study on Certification System for Aircraft Material and Process

E.S. Lee, K.Y. Lee

Abstract

항공기에 사용하는 재료와 공정은 항공기 설계 및 제작에 있어 필수 안전 요건이다. 재료 규격과 공정 절차에 대한 안전성을 입증해야한다. 민간 항공기의 경우 형식증명을 받아야하는데 재료물성치, 설계허용치 및 공정은 규격으로써 형식설계자료의 필수 구성요소이다. 즉 감항당국으로부터 승인을 받아야한다. 우리나라에서 설계하고 제작하는 항공 제품이 지속적으로 증가하고 있지만, 재료와 공정은 대부분 기존 안전성이 확인된 해외 재료를 수입하고 있다. 항공 제품은 매우 보수적으로 설계, 제작된다. 새로운 재료와 공정이 적용되기에는 감항기준이라는 높은 문턱을 넘어야한다. 항공 제품 특성상 항공기 설계 기준과 인증절차는 국제 기준과 동등해야 한다. 본 연구에서는 재료와 공정에 대한 국내외 감항기준과 인증체계를 확인하였고 우리나라의 인증체계의 구축 방안에 대하여 고찰해 보았다.

Key Words : Aircraft(항공기), Material(재료), Process(공정), Airworthiness(감항), Certification(인증)

1. 항공안전기술원 항공기인증실

교신저자: 항공안전기술원 항공기인증실, kylee@kiast.or.kr

항공MRO 산업과 IT 솔루션에 대한 분석

김상돈¹, 이찬호²

Analysis of aviation MRO IT solution with industry

S. D. Kim, C. H. Lee

Abstract

국내 민간 항공기 증가 속도에 발맞춰 항공MRO 시장의 규모는 급속도로 성장해 왔다. 하지만 실상을 보면 국내 주요항공사의 외주비율이 51%를 넘으며, 이마저도 많은 부분을 해외업체에 의존하고 있어 질적인 면에서 한계를 보인다. 최근 들어 이를 해소하기 위해 국토교통부에서는 항공사로 하여금 자체 정비 비율을 높이도록 권장하고 있으며, 해외 정비를 통한 외화유출을 방지하기 위해 전문 MRO 회사(3rd MRO company)의 설립을 지원하고 있다.

하지만 상대적으로 노무비의 비중이 큰 항공MRO 산업에서 이미 임금이 높은 국내 항공MRO 업체가 값싼 노동력과 풍부한 경험을 갖춘 해외 업체를 상대로 경쟁력을 확보하기는 쉽지 않다. 이 난제를 해결하기 위한 요건으로는 엔지니어링 능력(계획, Task 관리 등) 및 정비 능력 확보, 정비 조직 및 프로세스의 최적화 등이 있다.

항공MRO IT 솔루션은 이 모든 요건을 지원하기 위한 최적의 솔루션으로, 항공MRO 산업만의 특수성을 반영한 다양한 기능을 제공하고 있다. 정비 요건 관리를 통한 정비 계획 수립 지원, 각 정비 자원(인력, 자재 등)의 최적화, 정비 능력(기술) 관리 지원, best-practice 프로세스의 제공 등으로 항공 정비 작업의 계획, 수행, 종료에 이르는 모든 업무의 최적화를 지원한다.

본 연구에서는 항공MRO 비즈니스의 특성과 연계한 IT 솔루션의 정의 및 특징을 분석하고 이를 기반으로 한 솔루션의 핵심적인 기능을 제시한다.

Key Words : Maintenance Repair Overhaul(MRO), Aviation MRO, System Integration, IT Solution, Aircraft IT

1. ㈜부품디비, 선임연구원
2. ㈜부품디비, 이사

항공부품용 고강도 알루미늄 합금 개발

양승윤^{1,2} · 김봉환[#] · 김세광²

Development of high-strength Al alloys for aerospace application

S. Y. Yang, B. H. Kim, S. K. Kim

Abstract

수송과 운송의 핵심인 항공기는 연비 향상을 위해 경량소재를 사용해 왔다. 항공기에 사용되는 대표적인 경량소재 중 하나로 알루미늄 합금을 들 수 있다. 특히 항공기의 중요 구조물에는 알루미늄 합금 중 최대 강도를 갖는 열처리형 7000 계 합금이 전통적으로 적용되어 왔다. 초초듀랄루민(extra super duralumin)으로 명명되는 7000 계 합금은 다른 알루미늄 합금에 비해 제조 공정이 복잡하고 매우 엄격한 품질관리를 요구하여, 국내 생산인증 기업은 전무한 실정이다.

본 연구에서는 항공기 랜딩기어에 적용되는 7175 합금의 국내 제조 및 부품화 공정을 통한 품질 및 특성 평가를 수행하여 국산화 가능성을 확인하고자 하였다. 또한 고 Mg 을 함유하는 비열처리형 Al-Mg 합금을 개발하여 항공용 부품 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

Key Words : Aerospace, Aluminum Alloy, 7000 Series, Extra Super Duralumin, Al-Mg alloy

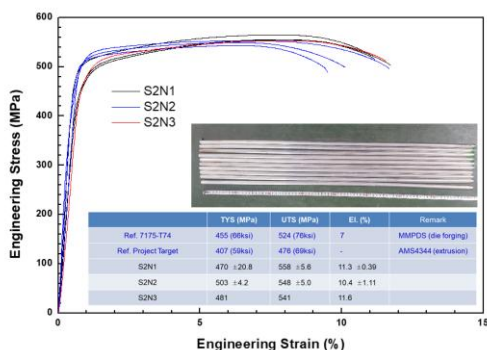


그림1. 7000계 개발합금의 기계적 특성

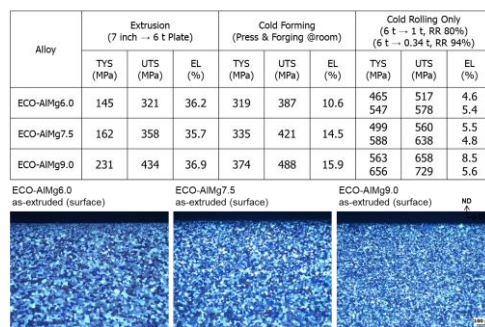


그림2. Al-Mg 개발합금의 기계적 특성

1. 성균관대학교

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: bonghk75@kitech.re.kr

항공우주용 대형 빌렛 & 슬라브 제조 시스템 구축

백창현

C.H.Baeg¹

Abstract

국내에서는 현재까지 항공우주용으로 사용에 적합한 고강도 대형 알루미늄소재를 제작하지 못하여 왔습니다. 이유는 국내의 대형 알루미늄 소재 제조기술력의 부재와 내수시장의 규모가 뒷받침되지 못하였던 면도 없지 않습니다. 그러나, 동양에이케이코리아는 국가 사업을 통하여 해외 선진 기술의 이전을 받았으며, 그 결과 국내 최대크기의 점보빌렛과 슬라브를 제조할 수 있는 기술을 획득하였습니다. 동양에이.케이코리아는 국가로부터 받은 국내 최고 수준의 기술을 더욱 발전시켜서 아시아 항공소재 시장, 세계 시장에서 세계적인 소재 업체들과 겨룰 수 있는 우수한 기술력을 갖춘 회사로 발전해 나아갈 것입니다.

Key Words : Aerospace grade, Jumbo billet & Slab, LARS(Liquid Aluminum Refining System), Mil 2154 AA Class

1. 서론

국내 알루미늄 합금 빌렛을 생산하는 회사는 대기업과 중견기업들이 상당수 있습니다. 과거 IMF 즈음에 많은 업체들이 도산으로 쓰러졌으며, 그 와중에 국내 알루미늄 제련, 주조 등 관련 분야의 많은 유명 업체들이 사라져갔습니다. 현재 국내 알루미늄분야는 각기 다른 분야 주조, 압출, 단조가공 등을 다양한 사업체들이 존재합니다. 하지만, 해외와 달리 국내는 압출제품 생산업체들이 월등히 많은 실정입니다.¹⁾ 그런, 항공우주용으로 사용하기에 적절한 품질의 제품을 생산하는 업체는 거의 없다고 봐도 무방합니다.

(주)동양에이.케이코리아는 국가 사업, 즉 철충교역 사업을 통하여 해외 선진업체로부터 “항공우주용 대형 빌렛 & 슬라브 주조기술”을 이전받았고, 이러한 기술이전을 “우리의 것, AK의 것”으로 만들어 국가가 요구하는 수준의 우수한 제품을 생산판매하기 위하여 우수한 생산설비들의 도입과 우수한 인재들을 선발하여 최고의 제품을 만들어 갈 것입니다.

더불어, 향후에 항공우주용으로 국내외시장에 선보이기 위하여 (주)동양에이.케이코리아는 관련된 해외 인증을 하나둘 획득해나아가고 있습니다.

1. (주)동양에이.케이코리아 기술연구소, rndchb@akglobal.net



Jumbo size slab (Size :1620mm×520mm×6000mm)



Jumbo size billet(size : Ø 1060mm×6000mm)

참고문헌

- [1] 중소기업기술로드맵 2017-2019 “금속소재”
- [2] “4세대 알루미늄산업 육성전략수립 및 타당성 조사 용역”, 2017년 6월, 경상북도

항공 부품용 알루미늄 소재의 단조특성 평가 기술

신영철^{1,2} · 최호준¹ · 김봉환¹ · 하성호¹ · 정택균² · 현승균[#]

Forging Characteristics Evaluation Technology of Aluminum Alloys for Aerospace Components.

Y. C. Shin, H. J. Choi, B. H. Kim, S. H. Ha, T. K. Jung, S. K. Hyun

Abstract

In this study, a standardized test method is proposed to evaluate the formability of aluminum alloys suitable for forging process and to evaluate material properties and fatigue characteristics depending on the strain level. A testing dies, which is suitably combined of the progressive strain imposition characteristics of free forging and the reproduction characteristics of the die forging, is devised and used to gradually accumulate deformation in the center of the rod-shape specimen with the increase in the upsetting pass. In particular, the shape of the dies and specimen is designed to enable upsetting under plane strain conditions to ensure that the strain in the longitudinal center is as uniform as possible. After a continuous upsetting, the specimen remains the same after the upsetting. Since it is possible to extract tensile and fatigue specimens according to ASTM standard from the upset specimens, it is possible to evaluate the variation in tensile properties and fatigue characteristics depending on the strain level of the specimen center for aluminum materials of interest. In addition, the formability depending on the temperature of the aluminum materials can be assessed from the number of upsetting passes, where cracks are observed at both ends of the specimen, within the range of approximately 130% strain. Through the test method developed in this study, it has been verified that the characteristics of aluminum materials for aircraft that require high reliability can be quantitatively analyzed from various perspectives.

Key Words : Forging, Formability, Forgeability, Characteristics Evaluation, Aerospace component

1. 한국생산기술연구원

2. 인하대학교

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

QPL연계 항공기 유압 시스템용 21,000kPa급 Fitting 개발

정우석¹ · 김영우¹ · 이동건¹ · 김형익² · 이찬주[#]

Development of 21,000kPa-class Fittings in Aircraft Hydraulic Systems

W. S. Jung, Y. W. Kim, D. G. Lee, H. I. Kim, C. J. Lee

Abstract

본 연구는 항공기 유압 시스템용 21,000kPa급 피팅 개발이다. 개발 피팅은 항공부품 중 기술표준품에 해당하는 부품으로 PRI-QPL(Performance Review Institute-Qualified Products List, 제품인증목록) 등록이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 SAE International에서 표준하고 있는 AS(항공우주 표준) 규격에 준하는 절차에 따라 AS4234 1/2인치 피팅 개발을 진행하였다. 또한, 개발제품에 대한 성능평가는 AS85421(Fittings, Tube, Fluid Systems, Separable, Beam Seal, 3000/4000 psi, General Specification For)에서 규정된 단품 성능시험과 Fitting assembly qualification inspection을 수행하였다. 본 연구에서는 CRES(corrosion resistance steel)과 Ti(Titanium) 재질에 대한 피팅개발을 수행하였으며, AS4232 code에 규정된 치수로 기본 설계를 수행하였다. AS4234 피팅은 External Swaging 결합구조를 가지는 피팅으로 작동압력의 4배까지 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. External Swaging 결합부 설계에 대한 검토는 스웨이징 공정해석 후 내압해석을 수행하는 과정을 통해 검증하였으며, 해석결과를 바탕으로 AS4232 1/2인치 피팅을 제작하였다. 개발 피팅에 대한 성능시험은 AS4459 code에서 규정된 튜브 조립체를 제작하여 진행되었으며, 압력별로 누설여부를 평가는 System pressure(작동압력), Proof pressure(작동압력 2배), Burst pressure(작동압력 4배) 시험을 수행하였다. 각 성능시험은 AS4459 code 규정된 시험절차에 의해 진행되었다. 본 연구는 PRI-QPL 인증확보를 위해 진행되기 때문에 성능시험은 PRI-QPL 등록된 해외공인시험기관에서 진행하였으며, 그 결과 작동압력 4배에서 진행된 Burst pressure 조건까지 누설이 없는 결과를 얻을 수 있었다.

Key Words : AS4234 Fitting, External Swaging, Qualified Products List, Fluid Distribution Systems

1. 디케이락

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: cjlee80@kitech.re.kr

CF/PPS L-Clip 품질 제어를 위한 고온 압축성형의 공정 제어에 관한 연구

허인성¹ · 이환주¹ · 전용준¹ · 이찬주¹ · 김동연^{#1}

A Study on Process Control of Hot Compression Molding for CF / PPS L-Clip Quality Control

I. S. Heo, H. J. Lee, Y. J. Jeon, C.J. Lee, D. E. Kim

Abstract

탄소섬유 열가소성 복합소재는 기존 열경화성 복합재 대비 높은 내충격 성능과 고내열 특성으로 항공기 Rib 및 Clip 등 중·소형 제품에 확대 적용되는 추세이다. 핫프레스 기반 압축성형에서 PPS, PEEK, PEKK, PAEK 등 항공기용 고성능 열가소성 소재는 기체 부품이 요구하는 높은 수준의 성형품질을 확보하기 위해 높은 온도 조건에서 정밀한 공정제어가 요구된다. 300℃의 고온 압축성형 공정에서 성형 속도 및 금형 온도는 수지의 유동성과 결정화도를 결정하는 주요인자로 열가소성 복합소재 내부의 함침성, 내부 공극 및 강화섬유 배향성 제어에 작용한다. 본 논문에서는 항공기 동체 보강용 L-Clip의 고온 압축성형 공정에서 성형 속도 및 금형 표면의 온도 제어가 열가소성 복합재 성형품 외관 품질에 미치는 영향을 실험을 통해 평가하였다. CF/PPS 프리프레그를 대상으로 V 형상 금형에서 함침과 성형을 동시에 진행하여 탄소섬유 열가소성 복합소재를 고속으로 성형하였다.

Key Words : CFRTP(Thermoplastic), Aircraft Parts(항공 부품), L-shape, Deformation(성형), Warpage(뒤틀림 측정), Volume fraction(부피 분율), Molding speed control(성형속도제어)

1. 한국생산기술연구원(Korea institute of Industrial Technology)
교신저자: 김동연, E-mail: kdu0517@kitech.re.kr

가스터빈 고온부품 열차폐코팅 기술

이성훈 · 변응선 · 유연우

Thermal barrier coatings for the hot section parts of the gas turbine engine

S. Lee, E. Byon, Y. W. Yoo

Abstract

열차폐코팅 기술은 고효율 가스터빈 기술에 있어서 터빈입구온도 향상을 위한 핵심 소재기술이다. 현재 요구되는 TIT 1600°C 이상의 가스터빈 구현을 위해 기존 대비 100°C 이상의 단열효과 향상이 가능한 첨단 열차폐코팅 기술개발이 요구되고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위한 첨단 열차폐코팅 개발 연구로서 Pyrochlores(GZO), Perovskites, Advanced defect cluster oxides 등 기존 7~8 wt% YSZ의 특성을 초과하는 신소재 연구뿐만 아니라 Cascading-arc plasma guns, LPPS-Hybrid PS-PVD, Solution/suspension plasma spray 등 신공정 기술 적용을 통해 적용 소재의 열차폐코팅 성능을 극대화시키기 위한 연구가 전세계적으로 활발히 전개 되고 있다.

Key Words : 가스터빈, 고온부품, 열차폐코팅, EB-PVD

1. 서론

최근 무인기 개발 사업의 활발한 추진 및 국내 독자모델 발전용 가스터빈 개발 진행으로 국내에서도 항공기 추진 및 전력 생산을 위해 사용되는 가스터빈 엔진 소재부품 기술개발에 대한 관심과 노력이 날로 증대되고 있다. 오늘날 전세계적으로 항공 및 발전용 가스터빈 개발은 지속적인 연료 가격 상승, 유해 물질 저감요구에 대응하기 위한 고효율화 추세를 보이고 있다. 가스터빈 고효율화를 위해서는 터빈입구온도(turbine inlet temperature, TIT)를 상승하여야 하며, 최신 가스터빈 기술에서는 TIT 1600~1700°C까지 TIT 상승을 요구하고 있다. 이를 위해서는 기존 대비 100°C 이상 고온소재의 온도 수용성 향상이 필요하지만 초고온 내열소재의 온도수용성 향상에는 현실적인 어려움이 있다. 따라서 초고온 환경으로부터 소재를 보호하기 위한 냉각 및 단열을 통한 소재 보호 기술 향상이 필수적이다. 본 발표에서는 최근 가스터빈 고효율화를 위한 열차폐코팅 기술 현황과 첨단 연구동향을 소개하고자 한다.

2. 첨단 열차폐코팅 기술 동향

가스터빈 고온부품 열차폐 코팅은 1970년대 NASA에서 J-75 가스터빈 엔진의 터빈 블레이드에 적용하여 그 우수성이 입증된 이래로 가스터빈에서 고온의 연소화염으로부터 고온부품을 보호하는 핵심 기술로 자리잡고 있다. 열차폐 코팅은 기지 금속인 초내열합금의 산화를 방지하며 최외층의 세라믹층과의 안정적인 접합을 담당하는 금속 합금층(본드코트)과 단열 성능을 담당하는 세라믹층(탑코트)로 구성된다.

현재 가스터빈 엔진의 열차폐코팅(탑코트)으로 가장 널리 사용되는 재료는 이트리아 안정화 지르코니아(Yttrium-stabilized zirconia, YSZ)이다. YSZ는 낮은 열전도도, 높은 화학적 안정성 및 고온내구성 등 우수한 특징을 지니고 있으며, 주로 6 ~ 8 wt.% Y_2O_3 첨가한 조성이 산업적으로 적용되고 있다. YSZ 코팅 형성은 플라즈마 용사법(Atmospheric plasma spray, APS) 혹은 전자빔 물리기상 증착법(Electron beam physical vapor deposition, EBPVD)에 의해 이루어진다. 코팅으로 형성된 YSZ는 준안정 정방정상(t' -phase)을 가지게 되는 데, 이는 1200°C 이하에서는 상변화로 인한 문제가 발생하지 않지만 1200°C 이상의 고온에서 정방정(tetragonal)과 입방정(cubic)상으로 상분리가 진행되고, 냉각과정에서 정방정상이 단사정(monoclinic)상으로 상전이하면서 ~ 4 vol%의 부피팽창을 동반하여 균열 생성 및 전파에 의한 파괴가 쉽게 일어난다. 또한, 세라믹 코팅의 고온 장시간 노출시 고온 신터링 현상에 의한 입자 치밀화, 기공 및 입계 감소 효과에 의해 열전도도 상승, 단열효과 저감이 수반되어 YSZ 사용온도의 제한요소가 된다. 가스터빈 고효율화를 위한 TIT 상승을 위해서는 현행 YSZ의 사용온도 제한을 극복하기 위한 첨단 열차폐코팅 기술 개발이 필수적으로 요구된다.

현행의 플라즈마 스프레이 또는 EB-PVD 공정에 의한 7~8 wt% YSZ 기술로부터 새로운 TBC 시스템으로의 기술 전개를 위한 방향은 크게 소재 탐색 연구와 코팅 공정 연구로 대별할 수 있다. 소재 탐색 연구에 있어서는 Pyrochlores(GZO), Perovskites, Advanced defect cluster oxides 등 기존 7~8 wt% YSZ의 특성을 초과하는 신소재연구가 전개되고 있으며, 코팅 공정 연구는 Cascading-arc plasma guns, LPPS-Hybrid PS-PVD, Solution/suspension plasma spray 등 신공정 기술 적용을 통해 적용 소재의 열차폐코팅 성능을 극대화 시키기 위한 연구가 전개되고 있다.

최근 국내에서도 재료연구소와 세라믹기술원 등을 중심으로 1200°C 이상의 고온에서도 사용 가능한 새로운 고온소재 탐색 연구와, 탑코트의 미세구조 개선을 통하여 고온 내구성과 열전도도를 낮추기 위한 신공정 연구로서 초미세 세라믹 분말을 서스펜션 형태로 제작하여 플라즈마 스프레이하는 서스펜션 플라즈마 용사공정 기술개발을 진행하고 있다.

3. 맺음말

국내에서의 항공 엔진 가스터빈 기술개발은 최근 무인기용 고효율 터보팬 기술개발 사업으로 연구 분위기가 활성화 되고 있고, 발전용 가스터빈의 경우 두산중공업에 의한 G급 가스터빈 개발 완료를 목전에 두고 있어, 국내 최초 OEM 제조사 탄생에 대한 기대와 함께 연구개발의 활기를 더하고 있다. 향후 TIT 1600°C 이상급 고효율 가스터빈 기술 구현을 위한 최적의 열차폐코팅 솔루션은 소재 탐색과 코팅 공정 연구의 두 가지 방향의 접근이 동시 전개 될 때 보다 효과적으로 얻어질 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

- [1] S. Sampath, U. Schulz, M. O. Jarligo, S. Kuroda, Processing Science of Advanced Thermal-Barrier Systems, MRS Bull., 37 (2012) 903-910.
- [2] S. HADA, K. TSUKAGOSHI, J. MASADA, E. ITO, Test Results of the World's First 1,600°C J-series Gas Turbine, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 49 No. 1 (March 2012)

3D 프린팅용 금속분말 제조기술

양상선^{1, #} · 유지훈¹ · 김용진¹ · 김상권²

Preparation of Metal Powders for 3D Printing Process

S. Yang, J. H. Yu, Y. J. Kim and S. K. Kim

Abstract

Spherical nickel and titanium powders were prepared by various kinds of inert gas atomization methods. In these methods, the parameters that determine the size of the powder include various parameters such as gas pressure, gas density, viscosity and surface tension, but the relative velocity between the injected gas and the molten metal is the powerful factor. Various gas atomization methods to control the size of the powder will be introduced. Process variable experiments with cubic parts prepared by powder bed fusion (PBF) type 3D printing process will be also introduced to optimize the process using the prepared metal powders.

Key Words : Metal, Powder, 3D printing, Gas atomization

1. 서론

항공 부품용 금속 소재는 내식성과 비강도 등이 높은 타이타늄 합금과 고온내식성과 초내열 특성 등이 우수한 니켈 합금이 주로 사용되고 있다. 이러한 합금을 사용하여 3D 프린팅 기술(3차원의 CAD data를 활용하여 금형이나 기계적 가공없이 3차원의 물체를 제조하는 기술)로 항공용 부품을 제조하기 위한 원소재는 금속 선(wire)이나 금속 분말(powder) 형태가 주로 사용된다. 금속 분말을 사용하는 3D 프린팅 방법에는 powder bed fusion(PBF) 방식과 direct energy deposition(DED) 방식이 주로 사용되고 있으며, 그 방식에 따라 사용되는 분말의 크기가 달라, PBF 방식의 경우에는 10~45 μm 크기의 분말이 주로 사용되고 DED 방식의 경우에는 45~150 μm 크기의 분말이 사용되며 분말의 유동도(흐름성)가 좋아야 하므로 주로 구형 분말이 사용된다.

구형 금속 분말은 주로 가스 분무법(gas atomization)으로 제조되며 이 방법에는 vacuum induction inert gas atomization process(VIGA), vacuum induction inert gas atomization process with cold crucible(VIGA-CC), electrode induction gas atomization process(EIGA), plasma gas atomization process(PGA) 등이 있다. VIGA 공정은 진공 배기 후 불활성 가스로 치환된 위쪽 챔버 내부의 세라믹 도가니 안에서 금속(ingot)을 유도(저항)가열 방식으로 고온으로 가열하여 액체 상태의 금속인 용탕을 만들고 이 용탕을 오리피스(orifice)를 통하여 아래 챔버로 유출시키고 이 용탕의 흐름에 고압의 가스를 분사하여 작은 액적으로 쪼개고 이 액적을 냉각시켜 금속 분말을 제조하는 방법이다.

EIGA 공정은 금속 봉재를 원료로 하며 이 봉재 주위에서 유도 가열을 통해 봉재 끝 부분만 녹아 아래로 자유낙하하며 이 용탕 줄기에 고압의 가스를 분사하여 금속 분말을 제조한다. VIGA-CC 공정은 세라믹 도가니 대신에 수냉되는 구리 재질의 금속 도가니(cold crucible)을 사

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS)

2. ㈜케이앤케이메탈

교신저자: KIMS, E-mail: nanoyang@kims.re.kr

용하며 모든 공정은 VIGA와 같다. PGA 공정은 진공 배기 후 치환된 챔버 내부에 연속적으로 공급되는 금속 선(wire)에 고온의 플라즈마를 인가하여 미세 액적을 만든 후 냉각시켜 금속 분말을 제조하는 방법이다. 니켈 합금의 경우에는 VIGA 공정과 EIGA 공정 및 PGA 공정으로 구형 분말을 제조할 수 있으며, 타이타늄 합금의 경우에는 액체 타이타늄의 높은 산소 친화력으로 인해 세라믹 도가니를 사용할 수 없어 수냉 금속 도가니가 사용되는 VIGA-CC 공정과 EIGA 공정 및 PGA 공정으로 구형 분말을 제조한다.

가스 분무 공정에서 금속 분말을 제조할 때 금속 액적에 작용되는 전단력에 의해 그 크기의 제어가 가능하므로 분사 가스의 종류(질량), 압력(속도) 및 금속 용탕의 점성 등이 주된 제어 변수로 알려져 있다[1]. 금속 분말을 다양한 3D 프린팅 공정에 사용하기 위해서는 가스 분무 공정의 이해와 그 공정 제어를 통한 분말의 크기와 특성 등의 제어가 필요하다[2].

2. 결과 및 고찰

3D 프린팅 공정을 통해 항공용 부품 제조에 사용될 수 있는 구형 니켈 합금과 타이타늄 합금 분말을 VIGA, VIGA-CC 및 EIGA 공정을 사용하여 제조하였으며 다양한 가스 분무 공정 변수가 금속 분말 크기에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다.

VIGA 공정의 경우 용탕이 유출되는 오리피스스의 직경의 제어가 가능하여 제조된 분말의 입도가 위 3가지 방법 중에 가장 작음을 알 수 있었다. 분사되는 가스를 773 K까지 가열하면 그 속도가 약 2배 정도 증가하므로 금속 용탕의 액적에 가해지는 전단력이 증가하여 273 K의 가스를 사용할 때 보다 약 30% 미세한 크기의 분말 제조가 가능하였다. VIGA-CC 공정의 경우 수냉 도가니를 사용하는 특성상 원소재의 skull이 발생하여 분말 제조 수율이 가장 낮았으며 전력 소모가 높았다. VIGA, VIGA-CC 및 EIGA 공정에 대한 개략적인 특성을 아래 표와 같이 정리하였으며, 가스 분무공정을 통해서 분말의 크기를 제어할 수 있는 새로운 방법들과 제조된 구형 분말을 사용하여 3D 프린팅 공정에 적용하기 위한 기초 특성 평가 결과를 발표할 예정이다.

Table 1 Characteristics of various kinds of gas atomization processes

방식	원료	평균입도 (D ₅₀ , μ m)	특징
VIGA	scrap, ingot, bar, ...	10~300	-원료형상 제한 없음 -Ti, Zr 불가능 -상대적 미세 분말 -in-situ 합금 설계 가능 -미량 세라믹 혼입 -대량 생산 유리
VIGA-CC	scrap, ingot, bar, ...	50~300	-원료형상 제한 없음 -반응성금속 가능(Ti, Zr) -상대적으로 높은 순도 -in-situ 합금 설계 가능 -높은 전력 소모 -대량 생산 어려움
EIGA	bar	60~300	-원료는 반드시 봉상 -높은 가스 소모량 -장비 구조 간단 -가장 고순도 -상대적 큰 분말 크기 -대량 생산 유리

참고문헌

- [1] R. Kaiser, C. Li, S. Yang and D. Lee, 2018, A numerical simulation study of the path-resolved breakup behaviors of molten metal in high-pressure gas atomization: With emphasis on the role of shock waves in the gas/molten metal interaction, Adv. Powd. Tech., Vol. 29, pp. 623~630.
- [2] P. Sun, Z. Z. Fang, Y. Zhang and Y. Xia, 2017, Review of the Methods for Production of Spherical Ti and Ti Alloy Powder, JOM, Vol. 69, No. 10, pp.1853~1860.

금속 3D 프린팅 기술개발 동향

최한신

Technological trends of metal additive manufacturing

Hanshin Choi

Abstract

At the current state of metals additive manufacturing, powders, wires, and sheets are used as feedstock according to building principles. Among them, powders are widely used. According to feeding manner of feedstock powders, metals AM can be divided into blown powder AM and pre-placed powder AM. Powders are carried into moving molten pool with carrier gas for the former blown powder AM (directed energy deposition AM). On the other hand, 2 dimensional patterns are directly translated on pre-placed powder layer in the latter pre-placed powder AM (powder bed fusion AM and binder jetting AM). In the case of sheet lamination AM, metallic sheet layering, ultrasonic welding of the sheet, and laser cutting for pattern formation are repeatedly carried out until completion of 3D part fabrication.

Metals additive manufacturing technology is compatible with the keywords of future manufacturing paradigm such as resources utilization efficiency, mass personalization, decentralized supply chain, smart factory, open architecture products, bio-inspired design, manufacturing-on-demand, and so on. With respects to industrial adoption of metal AM, market penetration has been tried for low-volume market products, low buy-to-fly ratio products, expensive products, difficult-to-machine products, complex designed products, and spare/obsolescence parts. However, extensive adoption will happen only after it cross the chasm in the disruptive innovation technology adoption life-cycle. Uncertainty for final product quality, lack of materials selectivity, low productivity, and lack of expertise are considered as main obstacles for AM market expansion. Lots of researches have been devoted to overcome the obstacles. Uncertainty of product quality is caused by complexity of current AM technology. There are lots of parameters affecting processing ability and corresponding product quality. To solve the problems, in-situ diagnostics and feedback system and multiscale simulation of whole life-cycle prediction are extensively studied. In-line monitoring of molten pool characteristics is an example for the in-situ diagnostics and feedback system while powder layering, laser-powder interaction, consolidation, temperature development, and stress-strain generation are simulated and they are interfaced. In the case of surface finish, hybridization of metal AM technology and CNC is prevailing for PBF AM-CNC, DED AM-CNC, and so on. Multi-laser system is introduced to improve productivity. Materials become hot issues in metal AM technology. Processing ability and part properties are largely dependent on materials properties and cost-effectiveness is determined by materials cost. Last but not least, qualification and certification for materials, machines, and parts are key issues for industrial AM adoption in particular for regulation-intensive industries such as aerospace, bio-medical devices, pharmaceuticals, and construction. Standardization activities are briefly overviewed in this study.

Key Words : Additive manufacturing, 3D printing, metal AM, standard technologies

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 융합공정소재연구그룹
교신저자: 최한신 (hschoi@kitech.re.kr_

항공산업 3D 프린팅 기술

임수창¹

3D Printing in Aerospace

S.C.Lim

Abstract

4차 산업 혁명, 스마트 팩토리 등 급변하는 제조 공정에서 3D 프린팅(AM) 기술은 항상 거론되고 있는 혁신적인 제조 방식이다. 적층 가공이라는 새로운 패러다임을 적용하여 일반적인 시제품 제작을 넘어서 최근에는 완제품을 생산에 적용하는 분야가 굉장히 다양해 지고 있다. 하지만 대량 생산에는 아직까지는 미흡한 제조 방식이기 때문에 현재에는 다품종 소량 생산에 적용되고 있다. 특히 의료 분야와 항공우주 분야에 가장 빠르게 적용되고 있다. 이번 페이지에서는 신뢰성 있는 생산을 위해서 필요한 필수적인 내용들과 함께 항공 산업에서 활용 되고 있는 사례를 중심으로 다루고자 한다.

Key Words : 3D Printing, Additive Manufacturing, Metal 3D Printing, Aerospace, Polyamide, Selective Laser Sintering, SLS

1. 맞춤형 생산, 다품종 소량 생산, 4차 산업 혁명 등 새로운 패러다임의 제조 트렌드로 3D 프린팅 (AM)은 항상 거론되고 있고, 다양한 연구도 활발하게 이루어 지고 있다. 특히 의료 분야와 항공우주 분야에서 활용 사례가 증가하고 있는 추세이며, 금속 3D 프린터와 함께 폴리머 (PA) 소재의 응용 사례도 증가하고 있다.

2. 적층 가공 방식의 3D Printing 방식은 기존의 제조 방식에 대비되는 개념이기 때문에 신뢰성에 대한 문제로 인증 절차의 표준이 마련되지 않아서 국한적인 부품 혹은 제품에 대해서 활용이 되고 있다. 특히 금속 3D 프린터는 제조 회사 별로 추구하는 방향이 다르고, 제조 공정 변수의 기준이 모두 다르기 때문에 가장 공통적으로 필수적인 부분에 대한 논의와 적용되고 있는 분야에 비추어 우리나라의 3D 프린팅 공정 개발 방향이 정해져야 한다.

3. 다양한 금속 3D 프린팅 방법론에 대해서 설계의 변경, 서포트의 생성, 프린팅 결과 값 시뮬레이션, 소재의 개발 등이 3D 프린팅 발전을 위하여 앞으로 나아가야할 방향이고, 3D 프린팅 선진국의 활용 사례들을 참조하여 우리나라의 실정에 맞는 어플리케이션을 발굴해야 할 것이다.

1. 임수창 씨이피테크 Soochang.lim@ceptech.co.kr

4. 결론



금속 3D 프린팅 기술개발 동향

임영목 박태규

Technological trends of metal additive manufacturing

Y.M. Lim and T.K. Park

Abstract

제조산업의 미래성장을 견인할 휘발성 소량 다품종 시장에 대한 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해서 실물제조기술과 디지털기술이 융합된 생산기술 (CPS: cyber-physical system)이 제시되고 있다. 실제로, 소량 다품종 시장에 대한 유연한 공급이 가능하기 위해서는 기존의 분화되어 있는 제품시장을 가로질러 공급이 가능한 생산기술이 요구되고 이는 제품 전주기에서 요구되는 니즈에 대응하는 최적화된 생산 시스템과 운영체제를 갖추었는가? 휘발성 시장에 대한 단기 공급능력을 갖추었는가? 제품의 특성에 대한 시장 신뢰성을 확보할 수 있는가? 로 결정된다고 할 수 있다. 이러한 CPS 제조 시스템을 가능하게 하는 요인으로는 생산 흐름에 따라 자율적 공정, 모니터링, 진단, 제어가 가능한 소프트웨어-하드웨어-ICT 환경, 제품 전주기 측면에서 요구되는 data의 종류와 유형 및 data 생성, 전달, 저장, 취출의 체계 표준기술, 실물과 디지털 정보가 동기화 (twin)된 추적가능한 체계와 새롭게 생성되는 DB를 피드백하는 기술, 다수의 요소공급자가 원활한 활동이 이루어지도록 협업 작업에 대한 지원이 가능한 시스템이 있다. 반면에, 4차 산업혁명명으로 대표되는 제조산업 패러다임 전환은 제품화 요소기술을 가진 경쟁력 있는 중소-중견 기업간의 시장중심 협업망 형성능력이 요구되나 현 중소-중견 제조기업은 기술도입의 사각지대에 놓여 있다. 실제로, 현재의 디지털-실물제조 융합기술은 기술집약적인 특성을 가지고 있어 자본, 기술, 인력수급 및 시장창출 능력이 낮은 중소-중견기업이 도입하기 어려운 실정이다. 따라서, 중소-중견기업이 도입하고 활용 가능한 CPS 기술의 개발과 보급이 요구된다. 금속 소재부품 및 제품화 기술에서는 기존 생산기술의 첨단화/지능화와 함께 3D 프린팅 기술이 미래 CPS에 최적화된 기술로 주목 받고 있다. 미래시장 니즈에 대응하기 위해서는 CPS 활용이 가능한 동시에 공정과 공장이 단순한 구조가 되어야 하며 3D 프린팅 기술은 프린터 장비가 공장과 동일하므로 현재 기준 가장 적합성이 높은 기술로 평가할 수 있기 때문이다. 그러나, 현재 3D 프린팅 기술은 매우 제한적인 분야에서 산업화가 전개되고 있고 대부분의 중소-중견기업의 기술도입이 지연되고 있다. 이러한 기술도입의 한계요인을 규정하고 기술도입이 활성화될 수 있는 촉진기술과 환경적 요인을 정부중심으로 추진할 필요가 있다. 이러한 맥락에서 본 발표에서는 3D 프린팅 기술, 특히 금속 3D 프린팅 기술 연구개발을 위한 정부의 투자전략을 소개하고자 한다.

Key Words : 3D printing, metal additive manufacturing, industrial adoption, R&BD strategy

1. 한국산업기술평가관리원 금속재료 PD
2. 산업자원통상부,
교신저자: 임영목 (rhyim@keit.re.kr)

11. 포스터 발표

(제 6 발표회장)

고Mn 해드필드(Hadfield)강의 미끄럼마멸과 침식마멸 거동

구본우¹, 김용석^{1#}

Dry sliding and erosive wear behavior of the Hadfield steel

B. W. Gu, Y.-S. Kim

Abstract

Metals used in industrial fields need to have advanced mechanical properties including high wear resistance. Many processes and equipments such as a shot blast, crusher liners, and jaw crushers require abrasion and erosion resistance. The most commonly used steel for the processes and equipment is the high-manganese hadfield steel. The steel is known to have superior work hardening capability, which gives the steel high wear resistance. During wear of a metal, a subsurface layer is formed, which has different properties from those of the original wearing metal. Since the wear occurs at the layer and material properties in the layer are different from the underlying body, it is important to understand how the wear rate varies with the character of the layer. This study was conducted to investigate the sliding and erosive wear behavior of the hadfield steel under various conditions including very high load and particle velocity. After the wear tests, worn and eroded surfaces, wear debris and cross sections were analyzed by SEM and TEM. Wear rates of the hadfield steel specimens tested at different loads, sliding speeds and erosive particle velocities were analyzed considering the effects of the severely deformed subsurface layer with different thickness and distribution.

Key Words: Hadfield steel, API X70 steel, Sliding wear, Erosive wear, Severe wear condition.

금속의 마멸이란 상대재에 대해 상대적 운동을 하는 금속면에서 기계적 굽힘, 응착, 소성변형, 산화 등에 의해 발생하는 표면 손상을 의미한다. 마멸면 표면에는 금속의 초기 조직과 크게 다른 표면층이 형성되는데, 금속의 초기 물성과 다른 물성을 지닌 표면층은 금속재료의 마멸을 단순한 기계적 특성으로 설명하기 어렵게 한다. 따라서 마멸면 표면층(이하 표층으로 표기함)의 형성 기구와 이들이 마멸에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요하다. 건축, 교량, 채광, 선박, 철도 산업 등의 여러 산업 현장에서 많이 사용되는 금속 재료는 용도에 따라 우수한 기계적 성질과 다양한 외부 조건에 대한 마멸저항성이 요구된다. Shot blast liners, Crusher liners, Jaw crusher 등과 같은 장비에서 요구되는 내마멸 특성은 연삭과 침식마멸에 대한 저항성으로, 이들 조건에 적합한 강은 고망간강(High-manganese steel)이다. 대표적인 고망간강의 하나로 해드필드강(Hadfield steel)을 들 수 있다[1, 2]. 본 연구에서는 해드필드강의 미끄럼마멸과 침식마멸 거동을 여러 조건에서 연구했다. 저하중과 고하중 조건에서 미끄럼마멸시험을 실시하여 하중에 따른 표면 변형층의 형성과 미세조직의 변화를 규명하였고, 입사각에 따른 침식마멸시험을 입자의 속도를 달리하여 시험하고 그 침식마멸 거동을 일반강의 거동과 비교하여 연구하였다.

1. 국민대학교

Corresponding Author: Kookmin University

E-mail: ykim@kookmin.ac.kr

28 mmx 28 mmx 8 mm 크기의 해드필드강 시편을 가공하였고, 가공된 시편의 표면을 연마와 polishing 한 후, ball-on-plate 마멸시험기를 이용하여 상온에서 미끄럼마멸 시험하였다. 상대재로 alumina (Al_2O_3) ball을 사용하였고, 시험 하중은 50 ~ 380 N, 미끄럼 속도는 0.08 ~ 0.1 m/s로 변화시켰다. 또한 Erosion tester를 이용하여 입자의 입사 속도를 40 ~ 120 m/s, 입사 각도를 $15^\circ \sim 90^\circ$ 로 변화시키며 침식시험하였다. 침식 입자(erosive particle)로는 경도 1800 Hv, 크기 $46 \mu m$ 의 alumina 입자를 사용하였다.

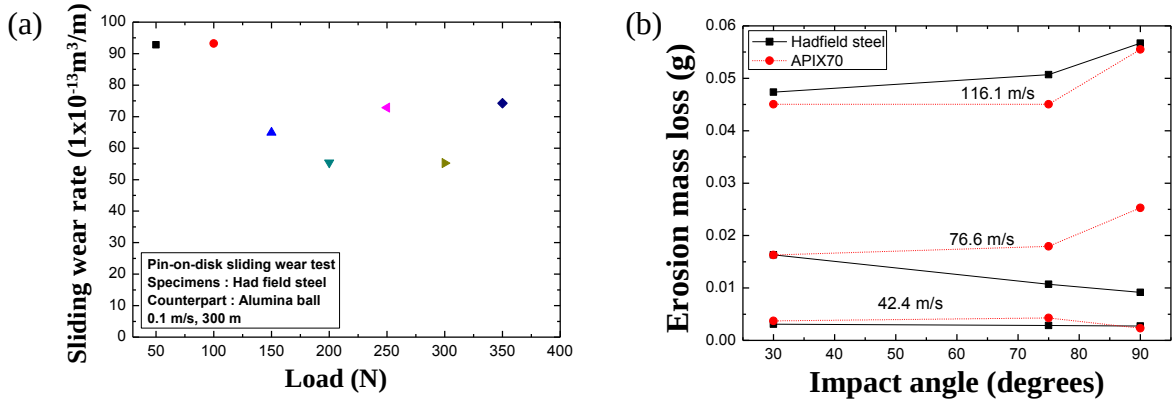


Fig.1 Variation of sliding wear rate (a) and erosion mass loss (b) of the Hadfield steel specimen as a function of load and impact angle of the erodent. The erosion mass loss of the APIX70 steel is compared.

그림 1(a)는 Hadfield steel의 하중에 따른 미끄럼마멸 속도의 변화를 보인다. 낮은 하중인 50 N, 100 N에서 마멸속도가 $90 \times 10^{-13} m^3/m$ 이상으로 높게 나타났으나, 150 N 이상 하중에서는 $80 \times 10^{-13} m^3/m$ 이하의 낮은 마멸속도가 일정하게 유지되었다. 마멸속도가 변화하는 구간인 100 N~150 N 하중에서 미끄럼 마멸기구가 변화한 것을 알 수 있다. 저 하중 구간 시편의 마멸면과 마멸입자를 확인한 결과 마멸면에 산화층이 형성되어 있었고 산화층 파괴와 함께 마멸이 진행되었다. 이 현상은 비금속 상대재를 상대하여 마멸될 때 나타나는 산화마멸[3]로 해석되었다. 그림1(b)에 입자의 입사속도가 42.4~116.1 m/sec로 변화할 때 입자의 입사각 변화에 따른 해드필드강과 일반 강관용 강재의 침식 마멸량 변화를 나타내었다. 두 강 모두 입자의 입사속도가 증가할수록 마멸량이 증가했고, 해드필드강은 낮은 두 입자속도에서는 입사각 30° 에서 가장 높은 마멸량을 보였으나, 116.1 m/s 입사 속도에서는 90° 입사각에서 가장 높은 마멸량을 나타내었다. 76.6 m/s 이하 입자속도에서는 해드필드강이 APIX70 강보다 마멸저항성이 더 우수했으나, 116.1 m/s에서는 두 강의 마멸저항성이 역전되었다. 이는 높은 충격속도에서 두 강에 형성되는 표층의 형성 기구와 파괴 기구가 다른 때문으로 해석되었다.

참고문헌

- [1] Erick Oberg and F. D. Jones Machiner's Handbook Eighteenth Edition Industrial Press Inc. 1970 Page.
- [2] S. Bhattacharyya 1966, A friction and wear study of hadfield manganese steel, Wear, Vol. 9, Issue 6, pp. 451-461
- [3] B. W. Gu, H.W. Gwon, Y.-S. Kim, 2016, The influence of the counterpart on the sliding-wear rate variation in a pure iron, KSTP Spring conference, pp. 146~149.

6082 알루미늄 주조재 및 압연재의 열간단조 후 시효시간에 따른 조직 및 기계적 특성 변화

전효원¹ · 서창희^{1#} · 권태하¹ · 오상균¹ · 전진호² · 최현열²

Variation of microstructure and mechanical properties according to aging time after hot forging of 6082 aluminum casting and rolled materials

H. W. Jeon, C. H. Suh, T. H. Kwon, S. K. Oh, J. H. Jeon, H. Y. Choi

Abstract

Suspension parts of automobiles have been manufactured using iron-based materials, but in recent years, attempts to apply aluminum materials have been increasing. Al6082 is widely used for suspension parts. Aluminum billets are prepared and T6 heat treatment is performed after hot forging for part manufacture. In this research, variation of microstructure and mechanical properties according to aging time after hot forging of 6082 aluminum casting and rolled materials is studied. In both materials, the strength increased as the aging time increased. In cast material, recrystallization hardly occurred. On the other hand, in rolled material, recrystallization and grain growth occurred after heat treatment.

Key Words : Aluminum(알루미늄), Cast material(주조재), Rolled material(압연재), Hot forging(열간단조), Aging treatment(시효처리)

본 연구는 산업통상자원부 지역주력산업육성기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

1. 대구기계부품연구원

2. 화신정공

교신저자: 대구기계부품연구원, E-mail: suhch@dmi.re.kr

Ti-6Al-4V 판재의 SPF 공정을 이용한 항공기 부품 성형 기술 개발

김성욱¹ · 김경환^{#1} · 이용남¹ · 권용남²

Development of Aircraft part forming technology used SPF Process of Ti-6Al-4V Sheet.

S. W. Kim¹, K. H. Kim^{#1}, Y. N. Lee¹, Y. N. Kwon²

Abstract

SPF(Superplastic Forming)공정은 특정 온도와 변형속도를 만족 할 때 재료의 연신율이 최대 100% 이상을 갖는 성질을 이용한 성형 공정이다. 본 연구에서는 초소성 성형의 대표적인 합금인 Ti-6Al-4V 판재를 SPF 공정에 적용하여 항공기용 Nozzle Fairing 부품을 개발하였다. 국내 Ti-6Al-4V 합금 항공기 부품은 전량 수입에 의존하고 있어 이를 국산화하기 위해 본 연구를 수행하였다. 초소성 성형은 상온에서 가공이 어려운 Ti-6Al-4V 판재를 복잡한 형상으로 제조가 가능하며 부품의 일체화, 경량화가 가능하며 성형품의 잔류응력 감소로 피로특성 향상 등의 장점이 있다. 초소성 성형은 Ti-6Al-4V 합금 용융점 절반의 온도에서 수행하므로 성형을 위한 금형 소재와 성형 장비의 설계가 까다로운 단점이 있다. 하지만 항공기의 고성능화 고효율화에 대응하기 위한 항공기 부품 소재의 경량화, 일체화 요구에 따른 Ti 합금 적용율이 높아지고 있어 기술개발이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금 판재를 초소성 성형하기 위한 금형 소재의 선정과 금형 소재의 특성을 분석하였으며 양산성을 향상을 위한 금형의 설계, 초소성 성형의 최적 조건을 연구하였다.

Key Words : 초소성 성형, 타이타늄 합금, 알파케이스, 판재 성형, 항공기

English Key Word: Superplastic Forming, Ti Alloy, Alpha-case, Sheet forming, Air craft

후 기

본 논문은 산업통산자원부의 “산업기술혁신사업 - 항공우주부품기술개발사업”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

1. 대화항공산업㈜

2. 재료연구소

교신저자: 대화항공산업㈜, project@daicoaero.com

ECO Mg(with CaO)을 첨가한 고강도·고연신 Al-Mg(7, 9wt.%) 합금의 미세조직 및 인장 변형 거동

백민석¹, 김영균¹, 김세광², 김봉환², 이기안^{1*}

Microstructures and Tensile Deformation Behaviors of High strength·elongation Al-Mg(7, 9wt.%) alloys with ECO Mg(with CaO) added

Min-Seok Baek¹, Young-Kyun Kim¹, Shae-K. Kim², Bong-Hwan Kim², Kee-Ahn Lee^{1*}

Abstract

본 연구는 modified Mg(with CaO)을 첨가한 고 강도·연신 Al-Mg(7, 9wt.%)합금의 미세조직 및 인장 변형 거동에 대해 조사하였다. Mg 함량은 각각 7, 9wt%로 5wt% 이상의 Mg 이 첨가되어 일부 grain boundary에 Mg_2Al_3 상들이 석출된 것을 관찰하였다. 그러나 modified Mg 첨가로 인해 Mg_2Al_3 상 사이에 Al_2Ca 상이 형성되어, Mg_2Al_3 상들이 망상 형태(network)로 이어져 있지 않고 분절된 것으로 관찰되었다. 상기 소재의 기계적 특성을 알아보기 위해 상온 인장 시험을 수행하였으며, modified Mg 함량이 높아질수록 강도가 향상되는 것을 확인하였다. 또한 연신율의 경우 modified Mg 함량이 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보였지만, 상용 Al-Mg 합금에 비해 높은 연신율을 수준을 보였다. 상기 소재의 기계적 특성을 규명하고자 미세조직과 인장 파단면을 분석/관찰하였으며 modified Mg 첨가에 의한 미세조직적 변화 및 기계적 특성 향상에 미치는 미세조직적 인자를 고찰하고자 하였다.

Keywords : ECO-Mg(modified Mg), Tensile test, High Mg Al-Mg alloy, Al_2Ca (C15 phase), Strength model

1. 서론

Al-Mg 합금은 Al 합금 중 강도, 성형성, 내식성 등이 우수하여 오늘날 자동차, 선박, 항공 부품 등의 분야에서 구조재료로 널리 사용되고 있다. 이러한 Al-Mg 합금 Mg 함량이 높아질수록 기계적 특성이 향상되나 과도한 Mg이 첨가될 시 오히려 기계적 특성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 이는 Mg이 matrix에 고용되지 못하고 brittle한 Mg_2Al_3 상이 형성되기 때문이다. 따라서 최근 Mg 함량을 높이면서 Mg_2Al_3 상을 제어하려는 연구가 시도되고 있다.

최근에는 Seo et al.[1,2] 및 저자들의 이전 연구에서 기존 제어 방식과 다르게 Al-Mg 합금에 ECO Mg(with CaO)를 첨가하여 획기적으로 Mg_2Al_3 상 제어 후 특성 변화를 일부 제시한 바 있다. 그러나 A2024 및 7075 합금에 대한 연구의 일부만 수행되었으며 미세조직과 연계한 해석은 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 대부분의 연구들은 oxidation 특성에 초점이 맞추어져 있다.

따라서 본 연구에서는 ECO Mg(with CaO)가 첨가된 고강도·고연신 Al-Mg 합금의 미세조직 및 기계적 특성을 기반으로 인장 변형 거동을 규명하고자 하였다.

1. 인하대학교 신소재공학과

2. 한국생산기술연구원

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

2. 실험방법

EBSD 분석을 실시 하였으며, electron back-scattered diffraction(EBSD, OXFORD) 장비를 이용하여 관찰/분석해보았다. 그 분석 조건은 step size 50~500 nm으로 15kV 조건하에 진행하였다.

기계적 특성을 알아보고자 7Mg, 9Mg 소재의 경도 및 인장 시험을 수행하였다. 경도 시험은 Vickers Hardness 장비(MITUTOYO; HV-100)를 사용하였으며 정확한 data 확보를 위해 시편당 12회 이상의 시험을 수행하였다. 인장 시험 장비는 INSTRON 8501 장비를 이용하였으며 시험 조건은 strain rate 10^{-3} /s로 경도와 마찬가지로 신뢰성 확보를 위해 시편당 3회씩 인장 시험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

EBSD 를 통해 얻어진 inverse pole figure(IPF) map과 average grain size(AGS) 측정 결과를 Fig. 1에 도시하였다. 7Mg 소재의 AGS는 $10.70\ \mu\text{m}$, 9Mg 소재의 AGS는 $5.93\ \mu\text{m}$ 로 ECO Mg함량이 높을수록 AGS가 감소하는 경향을 보였다.

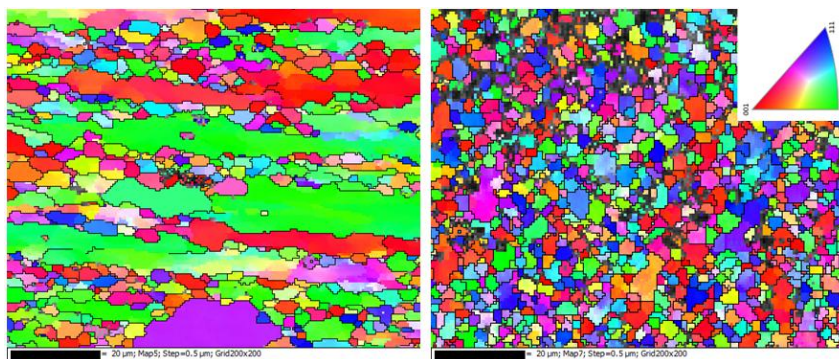


Fig. 1 EBSD inverse pole figure (IPF) maps showing (a) 7Mg (coarse grain), and (b) 9Mg (fine grain).

ECO Mg(with CaO)를 첨가한 소재의 Vickers hardness 및 인장 시험을 통해 얻어진 기계적 특성 결과, ECO Mg 함량이 증가할수록 경도 및 강도(항복 및 인장)가 증가하는 결과를 보였다.

연신율의 경우 ECO Mg 함량이 증가할수록 다소 감소한 경향을 보였으나, 상용 Al-Mg 합금(7 wt.%Mg 이상)에 비해 매우 높은 수준에 해당하고 있음을 알 수 있었다.

Table 1 Mechanical properties of Al-Mg(7, 9wt.%) alloys with ECO Mg added.

	Vickers Hardness [HV]	Y. S. [MPa]	U. T. S. [MPa]	El. [%]
7Mg	108	244	429	26.4
9Mg	129	276	479	21.2

4. 결론

본 연구에서는 ECO Mg을 첨가하여 Al-Mg(7, 9wt.%) alloy을 제조하고 ECO Mg 함량에 따른 미세조직, 기계적 특성(상온 인장)에 대해 조사했으며 위와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] S. H. Ha, J. K. Lee, S. B. Jung, Y. J. Kim, H. H. Jo, Shae K. Kim, 2006, Effects of CaO and Ca addition on microstructure and ignition resistance of pure Mg, J. Kor. Fou. Soc. Vol. 26 pp. 146-151
- [2] S. H. Ha, J. K. Lee, Shae K. Kim, 2007, Development trend of high temperature Mg alloys, J. Kor. Fou. Soc. Vol. 27 pp. 193-197

가열금형을 사용하는 마그네슘 Z31 합금판재의 전기저항 이중스폿용접

Sun Xiaoguang¹ · 진인태[#]

Electric Resistance Double Spot Welding Process of Mg Z31 Plates by Using Heating Dies

X. G. Sun · I. T. Jin

Abstract

In this paper, a double spot welding process using electric resistance heating dies is suggested for the spot welding of Mg Z31 plates for spot welding. This double welding process has two heating methods for the fusion welding at the interfacial zone between Magnesium plates, such as heating method by thermal conduction of electric resistance heated dies by welding current induced to heating steel dies, and heating method by electric resistance between contacted surfaces of two plates by welding current induced to copper electrode. This double welding process has welding variables such as each current induced in heating dies and in copper electrode, and outer diameters of heating dies.

Key Words : Double spot welding, Magnesium plate, Heating dies, Copper electrode, Welding strength, Electric resistance

1. 서론

경량화를 위한 비철금속의 사용이 증가하고 있으며 비강성이 우수한 마그네슘 비철금속판재의 전기저항 스폿용접성을 확보하기 위한 여러가지 전기저항 스폿용접에 관한 연구가 시도되고 있다. 그 중 한가지 방법으로 철계 가열금형에 구리전극을 삽입하고 전류공급에 의해 철계가열금형을 가열하여 금속판재를 가열한 다음 가열금형에 삽입된 구리전극에 의해 전기저항 스폿용접을 통해 마그네슘 금속판재를 용접하고자 한다. 본 연구의 목적은 이러한 철계가열금형에 삽입된 구리전극에 의한 스폿용접할 때 비철금속인 마그네슘금속판재의 전기저항 스폿용접 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험방법

Fig. 1 은 원통형 철계 가열금형에 삽입된 구리전극에 의하여 두 장의 중첩된 AZ31 판재를 스폿용접하는 전기저항 스폿용접전극의 단면도를 나타내고 있다. 가열금형과 구리금형이 동시에 접합판재를 접촉하여 초기가압한 다음 가열금형에 용접전류가 통전되어 발열된 가열금형에 의한 전도열이 금속판재에 공급하도록 하면서 구리전극에 통전된 전류에 의해서 두 금속판재사이의 접촉저항에 의한 발열로 금속판재의 계면을 용융용접하도록 하였다. 가열금형에 의한 스폿용접용 실험장비는 Fig.2 와 같이 AC 용 스폿용접기를 개조하여 사용하였다. 기존의 전극부분을 교체하여 가열금형내에 구리전극을 삽입한 전극을 자체 제작하여 설치하였다.

1.부경대학교 대학원 기계공학과

Corresponding Author : Pukyong National University,
Mechanical Engineering Dept., E-mail: jint@pknu.ac.kr

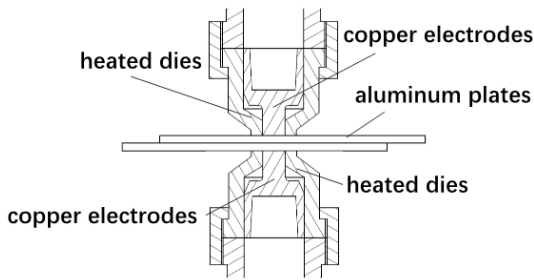


Fig. 1 Section view of heated dies and electrode



Fig. 2 Electric resistance spot welding machine using heated dies and copper electrode

3. 결과 및 고찰

No spring T=1.2mm	Surface	Magnesium - hole by sticking	Magnesium- nugget by sticking	Magnesium nugget size attached	Shearing load by tensile test (kN)	
D=0mm	I=13kA					1.68
	I=14kA					1.81
D=12mm	I=10kA					1.64
	I=11kA					1.85
	I=12kA					2.07
	I=13kA					2.21

Fig. 3 Appearance of surface and welded zone after tensile test

Fig.3은 가열금형을 사용하지 않은 경우 (D=0)와 사용한 경우(D=12)의 전단인장 시험 후 용접부표면의 사진과 너겟형상 및 전단강도를 비교하였다. 가열금형을 사용한 경우 표면상태가 양호하고 너겟형성과 용접 전단강도가 좋게 나타났다. Fig.4는 가열금형을 사용한 경우의 용접강도가 사용하지 않는 경우보다 용접강도가 크게 나타났다.

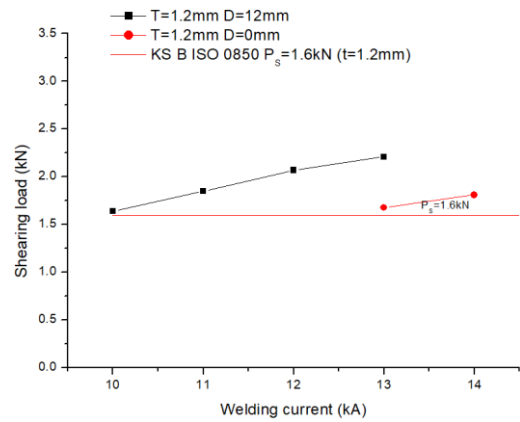


Fig. 4 Shear strength of welded plates

4. 결론

1) AZ31 마그네슘 금속판재에 가열금형을 사용한 전기저항 스폿용접결과 구리전극이 삽입된 가열금형의 내경이 6mm, 외경이 12mm 일 때 구리전극과 가열금형에 가해지는 전류의 크기가 13kA 의 용접전류인 경우 최대의 용접전단강도 2.21kN 를 얻을 수 있었다.

2) 가열금형을 사용하여 스폿용접한 결과 용접부의 너겟직경이 크졌으며 가열금형이 가지는 저항열에 의하여 용접부에 열적 전도가 진행되어 기존 같은 전류에 용접부의 너겟직경 보다 크진 것으로 사료된다.

3) 가열금형을 사용하여 전기저항 스폿용접할 때 용접시 스페터현상이 감소되었다. 이는 가열금형을 통한 용접시 판재의 용접부 주변에 발생되어 지는 와핑효과를 줄이고 용접시 코로나 본드부의 파열을 방지하여 스페터 현상을 감소시킬 수 있었다

5. 참고문헌

- [1] T. H. Kim, I. T. Jin, 2017, Characteristics of Drawing and Concurrent Spot Welding of Overlapped Aluminum Plates with Copper Electrodes Inserted in Heated Dies, Trans. Mater. Process, Vol. 26, No. 3, pp.174~180.

Al-Si-Cu 합금의 인장 및 마모 특성에 미치는 미세화 원소 첨가의 영향

강연지¹ · 허준영¹ · 윤상일² · 이기안[#]

Effect of Refining Elements Addition on Tensile & Wear Property of Al-Si-Cu Alloy

Y. J. Kang, J. Y. Heo, S. I. Yoon, K. A. Lee

Abstract

본 연구는 자동차 부품용(벨브바디) Al-Si-Cu 다이캐스팅재(ADC12)의 미세화 원소 첨가에 따른 미세조직과 인장 및 마모 특성에 대하여 조사하였다. 또한 미세조직과 연계한 기계적 특성을 알아보기 위하여 Al-Si-Cu합금에 미세화 원소(Ca, Sr)를 첨가하였다. 상기 두 소재의 XRD 상 분석 결과에서 Al 기지에 Si, Al₆(Mn,Fe), Al₂Cu 상들이 분석되었다. 미세조직 관찰결과 두 소재 모두 Al dendrite 및 공정 Si상들이 관찰되었으며, dendrite 계면의 Al₂Cu상과 다각형의 Al₆(Mn,Fe)상이 나타났다. SDAS(secondary dendrite arm spacing)은 ADC12 소재에서 약 10.6 μ m 수준으로, (Ca, Sr)첨가 소재에서 약 7.5 μ m 수준으로 측정되었으며, 공정 Si상의 크기는 각각 15.2 μ m, 2.5 μ m 로 관찰되어 (Ca, Sr)첨가 소재에서 현격히 작아진 것을 확인할 수 있었다. 마모 시험은 Pin-on disk 장비를 이용하여 dry 조건에서 2, 3, 4kgf, 1h 수행하였다. 그 결과 4kgf에서 1시간 수행 후 wear loss는 ADC12 소재에서 0.049g, 미세화 원소 첨가 소재에서 0.031g으로, 상기 미세조직 관찰 결과에서 Si상이 미세하게 나타났던 (Ca, Sr)첨가 소재의 내마모 특성이 향상되었다. 인장 시험은 INSTRON 8501 장비를 이용하여 strain rate 10⁻³/s 조건으로 진행되었다. 항복강도는 ADC12 : 155.5MPa, (Ca, Sr)첨가 소재 : 174.9MPa로 나타났고, 연신율은 ADC12 : 3.0%, (Ca,Sr)첨가 소재 : 4.4%로 미세화제 첨가 소재에서 강도와 연신율이 모두 증가한 결과로 나타났다. 추가적으로 FE-SEM을 이용하여 마모 변형 조직 및 인장 파단면 분석을 시행하였으며, 상기 기계적 특성에 미치는 미세조직적 요인과 미세화 원소 첨가 효과에 대해 토의하고자 하였다. [본 연구는 산업통상자원부, 중소벤처기업부의 재원으로 월드클래스300프로젝트 기술개발지원사업 지원에 의하여 이루어진 것임]

Key Words : Al-Si-Cu alloy, Refinement, Wear property, Tensile property

1. 인하대학교 신소재공학과

2. (주)삼기오토모티브

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

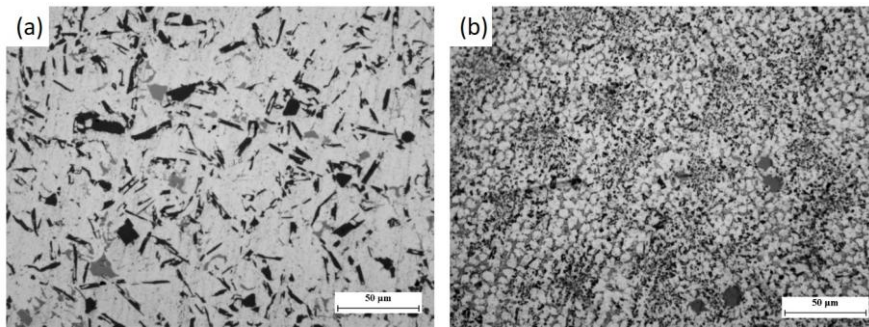


Figure 1. Microstructures of Al-Si-Cu alloy (a) ADC12 (b) refined Al-Si-Cu alloy

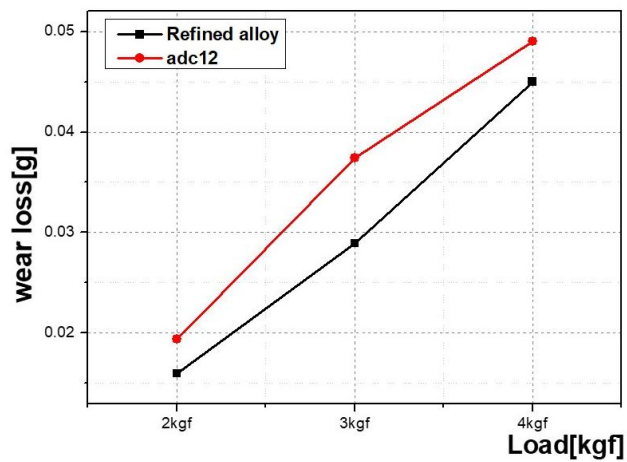


Figure 2. Weight loss of Al-Si-Cu alloy

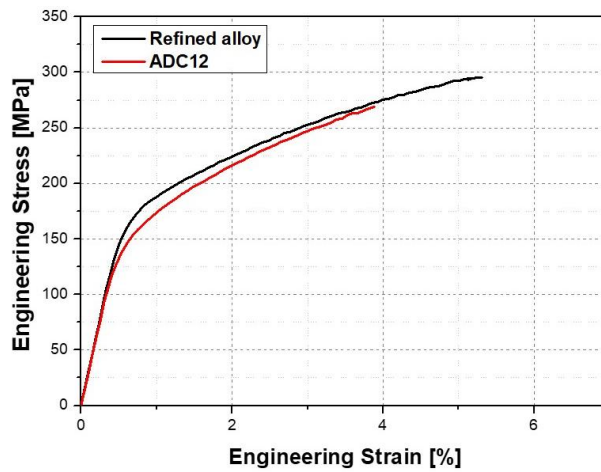


Figure 3. Result of tensile tests

Ti-6Al-4V 합금 판재의 고온 성형 한계에 관한 연구

유동훈¹ · 이진우¹ · 권용남¹ · 김대용[#]

Investigation of Formability for Ti-6Al-4V Alloy Sheet at Elevated Temperature

D. Yoo, J. Lee, Y. N. Kwon, Y. S. Lee, D. Kim

Abstract

Ti-합금 판재를 사용하여 고온 성형성 평가를 위해 신장 변형 모드에 따른 성형 한계 변형률을 측정하였다. 본 연구에서는 고온에서 한계 돔 높이(Limit Dome Height) 실험을 수행하기 위해 시편의 온도 구배를 최소화할 수 있도록 상부와 하부 다이 및 펀치를 가열할 수 있는 금형 및 시험 시편을 제안하였고 1.27mm 두께의 Ti-6Al-4V 합금 판재를 사용하여 성형 온도 650℃에서 펀치 속도 0.05mm/s로 한계 돔 높이 실험을 통해 성형 한계를 평가하였다. 성형 한계 변형률 측정을 위해 판재 표면에 1mm의 원형 점을 2mm 간격으로 전기화학적 에칭을 수행하였고, 에칭된 원형 점을 고온으로부터 보호하기 위해 부식방지제를 도포하였다. 성형된 판재는 3차원 광학 변형률 분석 장치(ARGUS)를 이용하여 판재 파단부 주위에서의 변형률을 측정하고 ISO/DIS 12004-2 규정에 따라 변형 모드에 따른 성형 한계 변형률을 정하였다.

Key Words : Formability(성형성), Forming Limit (성형 한계), Titanium Alloy Sheet (타이타늄 합금 판재), Ti-6Al-4V

사사

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업 (10067503)의 지원으로 수행되었습니다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 변형제어연구실
교신저자: 재료연구소, daeyong@kims.re.kr

선체 외판용 자동 열간성형에 관한 연구

이상익^{1#} · 박성진¹ · 공형열 · 공경열¹

A study on Automation for Hot forming of ship Hull plates

S. I. Lee, S. J. Park, K. Y. Kong

Abstract

선체 외판은 다양한 곡면으로 이루어져 있으며 주로 가스열원을 이용하여 작업자의 노하우에 따라 열간가공을 통해 곡면으로 성형하고 있다. 가공효율을 향상시키기 위해 작업절차 및 방법은 숙련된 작업자의 경험에 의존하게 되고 많은 시간이 소요되고 있다. 작업자의 수작업은 가스토치를 이용하여 전통적인 선상 가열 방법으로 숙련된 기능공의 경험에 전적으로 의존하고 있어 시행착오에 의해 반복 작업이 발생하기 쉽고 작업자는 가스 분출에 따른 소음과 고열 등 열악한 작업환경에 노출되어 있다. 본 연구는 선체외판용 자동 열간성형을 위해 자동 열간 장치를 개발하여 적용하였다. 작업자의 패턴을 분석하여 가열 기구를 설계하고 제작하였으며 선상 및 삼각 가열은 위해 작업자가 표기하는 마킹라인을 센서가 인식하고 위치를 연산하게 된다. 연산된 결과는 작업자의 마킹 라인을 따라 자동으로 높낮이 조절을 수행하며 작업자가 원하는 라인을 따라 선상가열 및 삼각가열을 수행하게 된다. 따라서 작업자의 수작업 패턴 분석으로 자동으로 가능하게 공정을 개선함으로써 생산성 및 품질을 향상 시킬 수 있었다.

Key Words : Ship Hull Plates(선체 외판), Plate(후판), Line Heating(선상가열), Triangle Heating(삼각가열), Automatic(자동), Hot forming(열간성형),

후기

본 논문은 중소기업기술정보진흥원의 “중소기업기술혁신사업”의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 변형제어연구실
교신저자: 재료연구소, daeyong@kims.re.kr

7xxx계 급 알루미늄 압출재 평가를 위한 미세조직 및 강도 특성 분석

우영호 · 이상용[#]

Analysis of the microstructure and the strength properties for the extrudate evaluation of 7xxx aluminum alloys

Y. H. Woo, S. Y. Lee

Abstract

자동차 산업 분야를 중심으로 7xxx계 급의 고강도 알루미늄 합금 압출재 개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 항공기에 적용되는 7xxx계 급 알루미늄의 압출의 경우에는 적용되는 부품의 부위에 따라 미세한 차이는 있지만 안정과 내구성을 위해 높은 수준의 균일한 강도 및 피로 특성을 가지도록 압출 공정의 철저한 관리가 요구된다. 이를 위한 전체 공정 조건과 가열, 열처리와 같은 소재의 이력 관리는 필수적이다. 자동차에서 요구되는 알루미늄 압출재의 개발 및 적용의 관심은 차체에의 적용이 큰 이슈가 되고 있다. 다. 차체는 요구되는 부위마다 요구되는 강도 특성의 종류와 범위가 다양하다. 요구 특성에 따라 적용되는 합금의 종류도 다양하게 선택되며 공정관리에 대한 요구 수준도 다양해진다. 여기에 압출순간의 주요한 가공조건을 확인하기 어려운 압출 공정의 특성으로 원하는 압출재를 얻기 위해서는 개발과 생산에서 많은 시행착오를 겪는 경우가 흔하다. 압출재의 개발의 마지막 단계는 압출재의 특성 평가이다. 제조된 압출재의 특성을 보고 공정을 보완하는 것이 일반적이다. 따라서 압출재의 특성평가는 중요하지만 많은 시간과 세심한 시험이 수행되어야만 시행착오를 줄이며 고품질의 압출재를 제조하는 것이 가능하다. 압출재의 특성을 평가하는 가장 일반적이며 기본적인 방법인 미세조직 분석과 인장시험의 활용이다. 부피와 면적이 큰 압출재를 제조하는 국부적인 미세조직으로 평가하는 것이기에 샘플 채취, 측정 부위 및 방법 선정에 따라 결과는 크게 변한다. 인장시험의 경우도 단순한 강도 및 연신율 값 만으로 공정 조건의 문제를 정확히 파악하기 어려운 경우가 많다.

본 연구에서는 7xxx계의 합금에 대해 미세조직 분석과 인장시험을 통해 압출재 품질 평가와 공정 조건의 연계의 정확도 또는 신뢰도를 높이는 방법을 찾기 위한 기초 연구를 수행하였다. 우선 일정한 형상으로 제조된 7xxx계 급 압출재에 대한 미세조직과 인장시험 특성을 현상학적으로 분석하였다. 인장시험편의 채취 위치, 부위별 공정단계별 미세조직의 변화 등을 고찰하였다. 미세조직 분석을 위해 광역 광학현미경 사진 관찰 뿐 만 아니라, SEM/EBSD를 활용하여 압출재의 미세조직이 어떤 특정한 형태를 가지고 있는지 관찰하고 분석하였다.

Key Words : 7xxx aluminum alloys, Extrusion evaluation, Microstructure, Tensile test

안동대학교 신소재공학부

[#] 교신저자: 안동대학교 신소재공학부 sylee@andong.ac.kr

FCEV용 고압 연료 탱크 연결 파이프의 성형형상을 고려한 체결력 해석

이정민¹ · 정화정² · 추성화² · 박준수³ · 전문수³ · 이형욱^{3#}

Fastening force analysis of connecting pipe of the hydrogen fuel tank for FCEV considering the formed shape

J. M. Lee, J. H. Jeong, S. H. Choo, J. S. Park, M. S. Chon, H. W. Lee

Abstract

본 연구에서는 FCEV용 고압 연료 탱크 연결 파이프의 성형형상을 이용한 해석과 설계상태의 형상을 이용한 해석의 결과를 비교하였다. FCEV는 수소를 사용하기 때문에 700 bar의 고압 연료 탱크 연결 시 고무 재질의 씰링방식을 사용하기 어려워 메탈 씰링을 사용한다. 특히 메탈 중에서도 수소 취성에 견딜 수 있는 SS316L 재질을 사용한다. 씰링 부의 수소 누출성을 Pipe와 fitting부의 접촉압력으로 판단하였다. 해석의 정밀도를 높이기 위하여 부품의 성형형상을 고려하여 해석을 진행하였다. 설계상의 형상과 성형후의 형상이 차이가 나타나기 때문에 두 가지 형상에 따른 체결력을 비교하도록 하였다. 해석 시 Pipe의 성형 금형은 도면을 토대로 구성하였고, 성형 후 회복기를 두어 탄성복원을 고려하였다. 이후 체결은 fitting부와 너트의 회전을 모사하기 위하여 접촉조건으로 처리하였고 이후 실제 배관에 가압되는 1.5배(1050bar)의 압력을 가하여 해석을 진행하였다. 두 가지 형상에 따라 변위에 따른 체결력, 씰링부의 von Mises 응력 및 유효소성변형률, 표면의 접촉압력을 비교하였다.

Key Words : Pipe fitting end, Hydrogen fuel tank, FCEV, Fastening force, Surface pressure

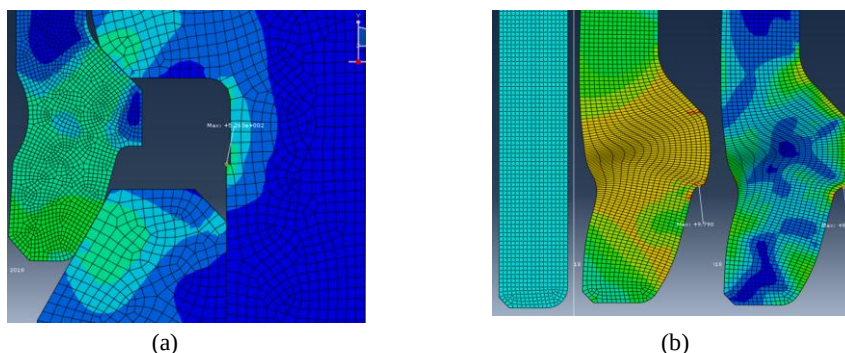


Fig. 1 Comparisons of deformed shapes in fastening stage (a) the designed model, (b) the model from forming

1. 한국교통대학교 자동차공학과 석사과정

2. (주) 한일튜브

3. 한국교통대학교 자동차공학과

교신저자: 한국교통대학교 자동차공학과, E-mail: hwlee@ut.ac.kr

2차전지용 고밀도 전극 가공 Retainer 변형 및 경향성 분석

김정웅¹ · 신재오² · 유관영² · 유준일³ · 서영진⁴ · 김민호[#]

Deformation and Tendency Analysis of High Density Electrode Retainer for Secondary Cell Battery

J. W. Kim, J. O. Shin, K. Y. Yoo, J. I. You, Y. J. Seo, M. H. Kim

Abstract

2차전지 전극용 Retainer는 양극과 음극으로 이루어져 있는 2차전지의 극판을 높은 정밀도로 절단하는 제품으로써 극판의 고밀도화로 인하여 점점 높은 치수정밀도를 요구하고 있는 추세이다. 따라서 매우 정밀한 Retainer가 설계 및 제작되어야 하는 것은 물론 정밀 공차가 제작 단계에서부터 사용 단계 그리고 재사용을 위한 재연마 단계까지 유지되어야 한다. 이에, 본 연구에서는 Retainer 사용 중 발생할 수 있는 변형 및 변형시효를 방지하기 위하여 복합소재를 적용하여 Retainer를 구축하였으며, Retainer에 임의의 하중을 인가하여 변형되는 정도를 비교 및 분석하고 복합소재 적용에 따른 경향성을 살펴보기 위하여 해석을 수행하였다.

Key Words : Retainer, 2차전지, 복합소재, 전극, 변형시효

1. 서론

2차전지 전극용 Retainer는 2차전지의 극판을 높은 정밀도로 절단하는 제품으로 극판의 고밀도화로 인하여 점점 높은 치수정밀도를 요구하고 있다. 본 연구에서는 Retainer 사용 중 발생할 수 있는 변형 및 변형시효를 방지하기 위하여 복합소재를 적용하여 Retainer를 구축하였으며, 복합소재 적용에 따른 Retainer의 변형 및 경향성을 분석하기 위해 해석을 수행하였다. 변형시효에 따른 Retainer의 변형 정도를 해석에 반영하는 방법은 현실적으로 거의 불가능하기 때문에 Retainer에 임의의 하중을 인가하여 변형되는 정도를 비교 및 분석하였으며, 복합소재 적용에 따른 경향성을 살펴보았다.

2. 실험방법

Retainer는 실제 적용되는 SKD11 소재의 물성치를 적용하였으며, 복합소재는 3종류의 복합소재(USN 150 B, UPN 069, URN 300 B)를 적용하였다. 항복조건은 Von Mises 항복조건을 사용하였으며, 해석의 지배 방정식은 다음과 같다.

$$[K^{\text{ep}}]\{\Delta U\} = \{\Delta F\}$$

해석 모델의 하부 판을 Fixed Support로 고정을 시킨 후 정적인 하중을 인가하였다. Case 1의 경우, Retainer의 길이 방향(X축) 양쪽으로 4종류의 하중(1,000 N, 2,000 N, 3,000 N, 4,000 N)을 인가한 후 4가지의 재질(SKD11, USN 150 B, UPN 069, URN 300 B)에 따른 변형 정도를 해석하였으며, Case 2는 Retainer의 폭 방향(Y축) 양쪽으로 4종류의 하중을 인가한 후 4가지 재질에 대하여 해석을 수행하였다. 또한, Case 3의 경우,

1. (재)한국화학융합시험연구원

2. 나이프코리아㈜

3. ㈜유디엔

4. 금오공과대학교

교신저자: (재)한국화학융합시험연구원,

E-mail: hujiitzky@ktr.or.kr

Retainer의 길이 방향 및 폭 방향 양쪽으로 4종류의 하중을 인가한 후 4가지 재질에 대하여 해석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

하중의 방향에 따른 변형은 동일한 하중을 길이 방향 및 폭 방향에 동시에 가한 Case 3에서 Total Deformation이 상대적으로 크게 나왔으며, 재질에 따른 Total Deformation은 Case 1에서 SKD11을 기준으로 복합소재의 변형이 USM 150 B는 1.08 %, UPN 069는 2.78 %, URN 300 B는 3.46 % 낮은 값이 나왔다. 또한, Case 2에서는 USM 150 B는 2.26 % 높게, UPN 069 및 URN 300 B는 각각 2.29 %, 4.48 % 낮게 나왔으며, Case 3에서는 USM 150 B는 2.01 % 높게, UPN 069 및 URN 300 B는 각각 3.05 %, 4.91 % 낮게 나옴을 확인하였다.

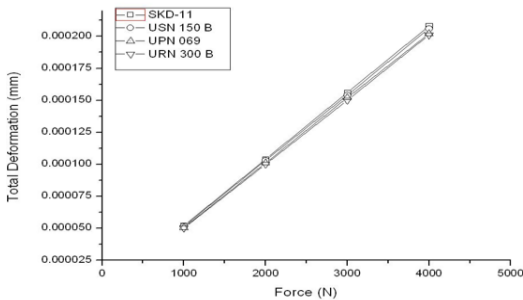


Fig. 1 해석결과 (Case 1)

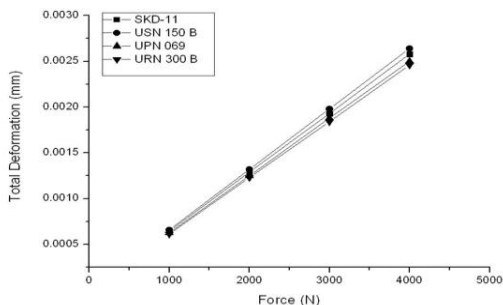


Fig. 2 해석결과 (Case 2)

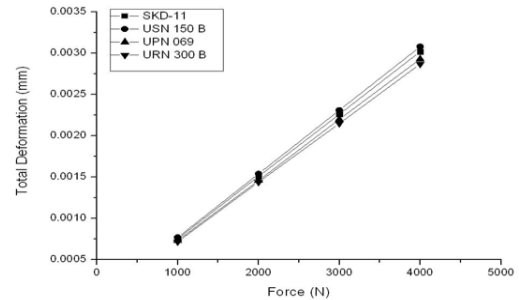


Fig. 3 해석결과 (Case 3)

4. 결론

Retainer에 임의의 하중을 가하여 해석을 실시한 결과 및 경향성을 분석한 결과, 구속하는 복합소재의 특성에 따라 변형량이 다소 달라지나 일반적으로 복합소재는 강재와 비교하여, 높은 강도와 강성을 가지기 때문에 Retainer를 복합소재로 구속하게 되면 변형시효 및 사용 중 발생하는 변형을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 적용되는 복합소재의 특성에 따라 변형에 대한 구속력이 달라지기 때문에 적절한 강도와 강성을 가지는 복합소재 선정이 중요할 것으로 사료되며, 특히 선정된 복합소재의 제작, Retainer에 와인딩하는 방법 및 조건 등에 따라서 변형에 대한 구속력 및 복합소재의 물성이 달라질 수 있기 때문에 실제 시험을 수행함으로써 해석에 대한 타당성을 검증하여야 할 것으로 보여진다.

후기

본 연구내용은 한국산업단지공단에서 시행한 2017년도 산단R&BD역량강화사업 지원사업[이전기술사업화]의 지원을 받아 수행한 연구개발 내용입니다.

(과제번호: R0005369)

참고문헌

[1] 이춘재, 임현준, Analysis and Simulation of Ultrasonic Wave Propagation and Scattering in Unidirectional Fiber Composites, 한국비파괴검사학회지, Vol. 21 No. 3, pp. 269 ~ 276(2001)

자동차 조향 시스템의 인너 세레이션 중공 샤프트 냉간 성형 공정 연구

이상교¹ · 최호준¹ · 임성식¹ · 신영철¹ · 김연구² · 신익철² · 임성주^{1#}

Cold Forming Process of Inner Serration Hollow Shaft Assembled in Vehicle Steering System

S. Lee¹, H. J. Choi¹, S. S. Lim¹, Y. C. Shin¹, Y. K. Kim², I. C. Shin², S. J. Lim^{1#}

Abstract

An inner serration hollow shaft is one of the steering functional components assembled in steering column shaft of an automotive vehicle. The inner serration hollow shaft which is considered for steering performance and stability characteristics in the automotive steering system has a lubrication surface for smooth longitudinal movement after assembly. In particular, the inner serration hollow shaft having thin thickness involves stringent forming requirements and it is very difficult to form a high dimension precision and geometrical accuracy under a cold extrusion process due to folding and buckling.

The present study was performed to optimize parameters influencing on cold extrusion process such as reduction ratio of area per pass, number of forming process, dimension of specimen, length of die land to form an outer serration of shank and head part of anti-symmetry. As the experimental and finite element analyses results, the optimized forming conditions to get a final product with good dimensional accuracy and surface quality were like these, length of die land was 3~5mm, area reduction ratio of three steps was about 23%, 16%, 35.8% respectively.

Key Words: Hollow shaft, Precision forming, Serration, Cold forming, FEA

자동차 스티어링 컬럼시스템은 Steering wheel, Column shaft, Lower shaft, Interm shaft set 등으로 구성되고 Interm shaft set 는 Yoke shaft, Clamp yoke 등으로 모듈화 되어 조향셋트 하단부에 랙피니언 기구와 연결되어 운전자의 운전방향을 운전자가 요구하는 대로 전달하게 하는 중간축으로 유니버설 조인트 역할을 수행하며 솔리드형 단조품, 기계가공품, 판재성형품, 튜브재형 성형품, 용접형 부품 등 다양한 제조방법으로 생산되고 있다.

본 연구의 대상 부품은 OPD 0.02 mm 급 중공형 인너 세레이션 샤프트로서 튜브소재를 적용한 냉간성형하는 제조공법으로 상당히 높은 정밀도를 요구한다. 냉간 성형 후 공차가 거의 기계가공 수준에 가까운 범위를 요구하고 있어 기술적으로 많은 어려움이 예상되는 냉간 성형품으로 특히 길이 약 100 mm 이상되는 튜브소재 내경에 세레이션 형상을 성형하는 경우 성형 중 좌굴이나 기타 결함 등이 발생할 소지가 매우 크기 때문에 이를 해결하기 위한 성형조건을 획득하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 패스당 단면감소율, 금형의 인입 각도, 랜드 길이 영향 등의 공정변수 분석을 위한 성형 해석과 실제 성형 실험을 수행하였으며, 그 결과로 정밀도가 높은 양질의 인너 세레이션 중공 샤프트 냉간 최적 성형을 위한 공정변수 최적 값을 제시하였다.

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

2. ㈜대림엔지니어링 소성가공연구실

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

1500MPa급 강판을 사용한 차량 Sill-side의 롤 포밍 공정 설계에 관한 연구

최선용¹ · 이종섭^{1#} · 이상교¹ · 노우람¹ · 김근호²

A study on design of the Sill-side roll forming process using 1500MPa grade steel sheet

S. Choi¹, J. Lee^{1#}, S. Lee¹, W. Noh¹, G. Kim²

Abstract

The roll forming process is a continuous process for manufacturing the automotive parts having the same cross section by passing a sheet metal through tandem set rolls. In the bending process such as the roll forming process, there is a problem that the sheet metal is not entered or the parts are not manufactured in the target shape by occur the springback. When the strength of the material increases, the amount of springback increases. Therefore, the research and development of roll forming design technology for manufacturing parts using high strength materials is needed. In this study, the roll forming process for manufacturing the sill-side is designed considering the springback of 1500MPa grade steel and finite element modeling and simulation are performed to verify it. The tensile test was performed to confirm the material property. The roll flower was designed considering springback. The 18 stages roll forming finite element model was made based on the roll flower. The Finite element analysis was performed using the LS-DYNA, a commercial finite element analysis program. From the result of the finite element analysis, it was confirmed that the sill-side can manufactured using the 1500MPa grade steel sheet. The experiment was performed through the actual roll forming process. As a result, it was confirmed that the sill-side could be manufactured actually.

Key Words : Cold roll forming process, Finite element analysis, Springback

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

2. ㈜아산

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

레이저 용융 기술로 적층된 AISI H13의 고온경도 및 미세 조직 분석

손종윤¹ · 윤희석¹ · 이기용² · 심도식^{3#}

Investigation of high-temperature hardness and micro structure of super alloy powder deposited by a laser melting process

J. Y. Son, H. S. Yoon, K. Y. Lee, D. S. Shim

Abstract

주조(die casting)와 같은 열간 성형공정에서는 작업온도가 높고 금형의 온도변화가 심하기 때문에 마모와 열피로로 인한 금형파손이 쉽게 발생한다. 이에 산업현장에서는 금형의 마모 및 파손발생 부위를 용접으로 재 육성하여 보수하고 있지만, 균일한 품질확보가 어렵고 과도한 후 가공과 작업자의 숙련도에 의존적인 단점이 있다. 본 연구에서는 조밀한 금속층 적층이 가능하고 열적 영향을 최소화 할 수 있는 레이저 용융 금속적층 공정을 이용하여 금형의 품질을 육성하고 보수할 수 있는 기술에 대하여 연구하고자 한다. 이에 DED(direct energy deposition) 기술을 이용하여 JIS SKD61 모재에 적층된 AISI H13 적층부의 단면 경도 분포와 미세조직을 관찰하고 고온경도를 확인하였다. 적층된 시편의 단면 경도를 측정된 결과, 모재부(substrate)의 경도는 약 220Hv, HAZ(heat affected zone)부의 경도는 약 400Hv, 그리고 적층부(deposited layer)와 혼합부(dilution)의 경도는 약 620Hv로 관찰되었다. 이러한 경도 차이는 레이저에 의한 용입열에 기인한 것으로 판단된다. 적층 시험편의 미세조직에서, 모재부는 연질의 페라이트 조직과 미세한 탄화물들이 관찰된 반면, HAZ부는 혼합부 부근에서 열처리 조직인 마르텐사이트 조직과 조대한 탄화물이 관찰되었고 모재부 부근의 영역에서는 탄화물의 크기가 상대적으로 작아진 것이 관찰되었다. 또한, 적층부와 혼합부에서는 전형적 응고 조직인 덴드라이트(dendrite) 조직이 관찰되었다. 한편, 적층 시험편의 고온경도를 측정하여 열처리된 SKD61 소재와 비교한 결과, DED 적층 시편의 경도값이 400℃에서 약 460Hv로, SKD61 소재의 경도값인 500Hv 비해 다소 낮게 관찰되었지만, 전반적으로 열처리된 SKD61 소재와 동일한 수준의 고온 경도값을 보여주고 있다.

Key Words : Super Alloy, DED, Direct Energy Deposition, Hot Hardness

1. 전남대학교 기계공학과

2. 한국생산기술연구원 스마트가공공정그룹

교신저자: 한국해양대학교 기계공학부, E-mail: think@kmou.ac.kr

PBF방식으로 제조된 SUS316L 부품의 DED공정 보수 후 인장 특성 분석

오욱진¹ · 김민섭¹ · 이욱진² · 심도식^{1#}

Study on tensile properties of PBF built SUS316L repaired by DED process

W. J. Oh, M. S. Kim, W. J. Lee, D. S. Shim

Abstract

본 연구는 최근 주목받는 선택적 레이저 소결 기술인 powder-bed-fusion (PBF) 로 제조된 SUS 316L 소재의 보수에 관한 것이다. SUS 316L 소재는 오스테나이트계 스테인리스강으로 고내식성, 고강도, 생체친화성 등이 요구되는 환경에 많이 사용된다. 최근에는 SUS 316L 분말을 이용한 PBF 방식으로 제조된 다양한 제품들이 실제 산업에 적용된 사례가 있다. 이러한 제품들이 사용 중에 파손이나 심각한 마모가 발생했을 경우, 용접 또는 PBF 방식으로 보수가 가능하다. 하지만 용접의 경우 높은 입열량으로 과도한 열 변형과 열 영향이라는 큰 단점이 있고, PBF 방식을 이용한 보수의 경우 제한적인 제품 크기, 보수 시 소모되는 과도한 분말량 등의 이유로 보수에 어려운 점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 direct energy deposition (DED) 을 이용한 보수 공정의 적합성을 검토하고자 한다. 적합성 판단을 위해 PBF 방식으로 제조된 소재를 사다리꼴 형상으로 가공한 후 DED 공정으로 보수를 진행하였고, 인장시편을 제작하여 인장시험을 진행하였다. 보수 후 PBF 소재의 인장강도와 항복강도는 각각 9%, 14% 정도 보수 전의 소재에 비해 감소하는 경향을 보였고, 계면에서 발생한 결함으로 인해 연신율이 42% 감소하였다. 파단된 시편의 DED 적층부, 열영향부, PBF 소재 부분 모두 파단면에서 딴플(dimple)이 관찰됨으로 보아 연성 파괴가 발생하였음을 확인할 수 있었다. 기계적 강도가 소폭 감소하였지만, DED 공정 시 발생하는 결함을 제거하게 된다면 PBF 제작 부품의 보수 공정으로 DED 기술이 적용 가능할 것으로 예상된다. 향후 DED 공정 시, 공정 변수와 보수 깊이 등에 관한 연구를 통해 보수 계면에서 발생하는 결함을 없애기 위한 연구를 진행할 계획이다.

Key Words : PBF, DED, SUS316L, Repair, Tensile test

1. 한국해양대학교 해양융합신소재융합공학과
2. 한국해양대학교 해양융합신소재공학과한국생산기술연구원 동남지역본부
교신저자: 한국해양대학교 해양융합신소재융합공학과, think@kmou.ac.kr

QForm VX를 사용한 헬리컬 롤링 밀의 피어싱 공정 해석

송가형¹ · 곽호택^{1#} · Paul Mordvintsev²

Simulation of piercing processes in a helical rolling mill using the QForm VX

Gahyeong Song, Hotaek Kwak, Paul Mordvintsev

Abstract

Cross roll piercing is a process for producing hollow tubes from initially cylindrical billets. Typically, a two-pass process is used in cross roll piercing, but with the use of computer simulation it may be possible to identify a one-pass procedure that reduces machine time and increases productivity. This paper details the development of a QForm computer simulation of a one-pass piercing process, and compares the simulation results with results obtained experimentally. This approach to the development of the production process can reduce tryout costs when designing new piercing regimes in order to implement them at the present production facilities.

Key Words: Simulation, Cross roll piercing, Finite Element Method, QForm VX

1. 서론

최근 FEM은 플랜트 산업의 금속 성형을 포함한 많은 제조 공정에서 광범위하게 사용된다. 이러한 시스템을 사용하면 신제품 개발이 쉬워지고 비용이 절감되며, 사양 외 조건을 예측하고 성형 작업에서 발생할 수 있는 위험을 예측할 수 있다. QForm VX는 크로스 롤 피어싱(cross roll piercing) 프로세스를 비롯한 광범위한 기술 문제를 해결하는데 사용되는 상용소프트웨어이다. 이 소프트웨어는 1991년부터 금속 성형 공정의 컴퓨터 시뮬레이션을 개발해온 러시아의 Quantorform Ltd.에 의해 개발됐다. 이 제품은 전 세계의 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다.[1] 본 연구에서는 2번의 크로스 롤 피어싱을 거쳐 생산되던 튜브의 생산공정을 1번의 공정으로 개선하기 위한 해석을 진행하였고, 실제 T/O 결과와 비교, 분석하였다.

2. 크로스 롤 피어싱(Cross Roll Piercing)

본 연구에서는 러시아 JSC VMZ의 'TPA 70-270' 크로스 롤 피어싱 장비를 사용하였다. 이 장비는 열간 압연 심리스 파이프를 생산할 때 주로 사용되며, 초기 소재로는 원형 빌렛을 사용한다.

3. 유한요소해석 및 T/O

두 가지 크기의 파이프에 대해 해석 및 T/O를 진행했다. Case 1은 $\varnothing 250 \times 2800\text{mm}$ (직경 x 길이)의 초기 빌렛에서 $\varnothing 270 \times 44.7\text{mm}$ (직경 x 두께)의 최종 제품을, Case 2는 $\varnothing 190 \times 2850\text{mm}$ (직경 x 길이)의 초기 빌렛에서 $\varnothing 200 \times 31.8\text{mm}$ (직경 x 두께)의 최종 제품을 생산하는 공정이다.

1. (주)씨에이이테크놀로지

2. Quantorform Ltd.

교신저자: (주)씨에이이테크놀로지,

E-mail: htkwak@caetech.co.kr

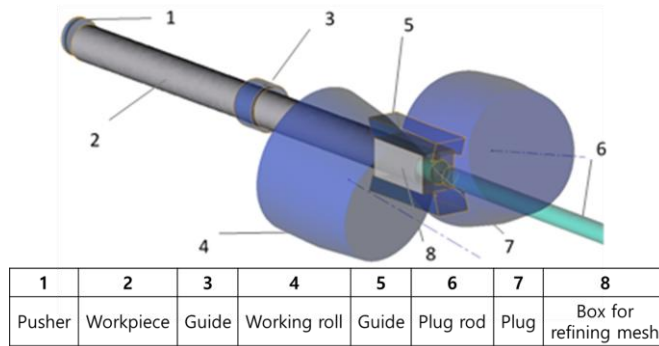


Fig. 1 Geometrical model of the workpiece and the tools of piercing stand TPA 70-270 for QForm simulation

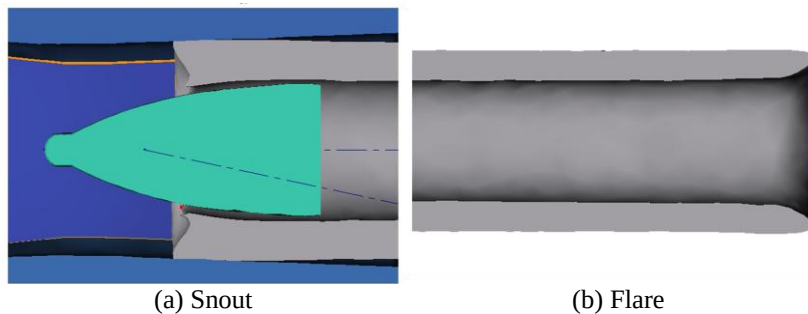


Fig. 2 The shape of the front and rear end of the pipe during the QForm simulation

Table 1. Comparison of the simulation and experimental results

	T/O		Simulation		Deviation, % (T/O-Simulation)	
	Diameter, mm	thickness	Diameter, mm	thickness	Diameter	Thickness
Case 1	278	48.0	273.8	46.8	1.5	2.5
Case 2	202	34.9	203	33.9	0.5	2.9

Fig. 1는 해석에 사용된 해석 모델이다. 해석을 통해 단일 공정을 위한 최적의 파라미터를 도출 후 그 값을 적용하여 T/O를 진행하였다. 해석과 T/O의 값은 유사했고, 비교 결과는 Table 1에 정리하였다. Fig. 2를 보면 소재의 끝 단에 성형 후 snout, flare 마크 등의 형태가 나타나는 것을 통해 해석이 매우 사실적으로 묘사됐다고 판단된다. 해석과 실제 결과에 생기는 오차의 원인은 금형의 마모 및 탄성변형, 마찰계수의 안정성, 등방성 기계적 성질 등이 있다.

4. 결론

QForm VX를 이용하여 크로스 롤 피어싱 해석을 일반적으로 적용되는 2단 공정 대신 단일 공정을 적용하였다. 단일 공정은 변형 에너지 및 힘이 허용 범위를 초과할 위험은 물론이고 불완전한 파이프 형상이 만들어질 수도 있다. 유한요소해석을 통해 그러한 위험을 예측하고 최적의 파라미터를 도출하였고, T/O를 통해 검증할 수 있었다. 생산기술 개발에 대한 이러한 접근 방식은 경제적 손실을 피하면서 새로운 공정 기술을 개발할 수 있다.

참고문헌

[1] QForm VX, QFX Simulation Ltd, www.qform3d.com.

Heat plate의 알루미늄 압출 해석

송가형¹ · 곽호택^{1#}

Aluminum Extrusion Simulation for Heat Plate

Gahyeong Song, Hotaek Kwak

Abstract

Aluminum extrusion is the best one of methods that can produce a thin and large profile such as heat plate. We studied the effects of die bearing on aluminum profile extrusion process using QForm VX. After we modified of bearing degree and length, the results were compared and analyzed. We used QExDD(QForm Extrusion Die Designer) to design and modify extrusion die.

Key Words: Aluminum Extrusion, Heat Plate, QForm VX, QExDD(QForm Extrusion Die Designer)

1. 서론

최근 생활 수준의 증진으로 고성능의 전자제품을 원하는 소비자들이 늘고 있다. 그 중 LED TV의 경우 두께는 점점 얇아지고 디스플레이는 점점 커지는 추세이다. 디스플레이의 대형화로 발열량은 높아지고 두께 감소로 인한 공간 제약으로 방열판(heat plate)의 구조 및 기능이 매우 중요하다. 방열판은 복잡하고 얇은 두께의 단면 때문에 주로 압출 공정에 의해 생산된다. Fig. 1은 압출 공정으로 생산된 방열판의 사진과 단면의 도면이다. 고품질의 압출품을 성공적으로 생산하기 위해서는 압출 시 균등한 속도 분포의 압출이 가능한 금형 설계가 필요하다. 균등한 속도 분포를 위해 금속 유동의 조절이 필요한데 그 방법으로는 웹(web), 플로우 가이드(flow guide), 초크(choke), 금형 베어링(die bearing)등을 이용하는 방법이 있다[1]. 본 논문에서는 압출해석 전문 상용해석 소프트웨어인 QForm VX[2]의 Extrusion Module을 사용하여 초크, 금형 베어링 등을 변수로 설정한 후 압출 품질 향상에 대해 연구하였다.

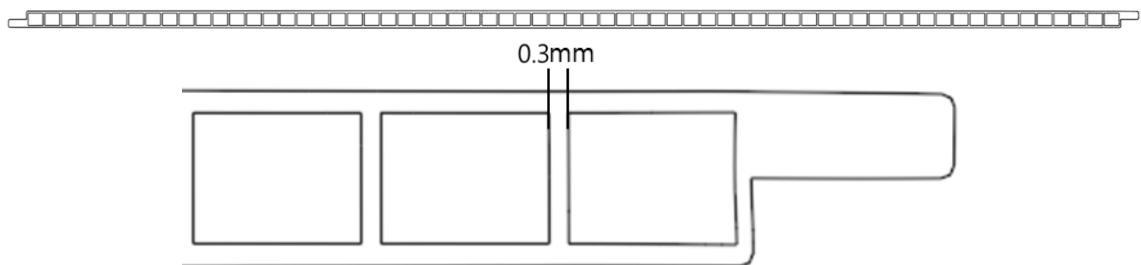
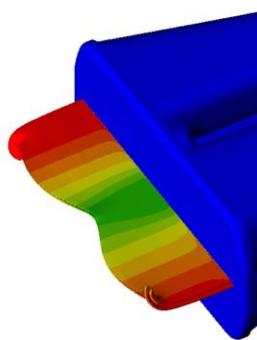


Fig. 1 Cross section of heat plate

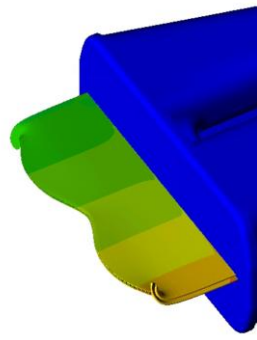
1. (주)씨에이이테크놀로지

교신저자: (주)씨에이이테크놀로지,

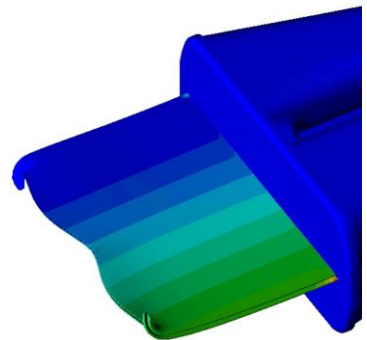
E-mail: htkwak@caetech.co.kr



(a) Result of case 1



(b) Result of case 2



(b) Result of case 3

Fig. 2 Distribution of velocity

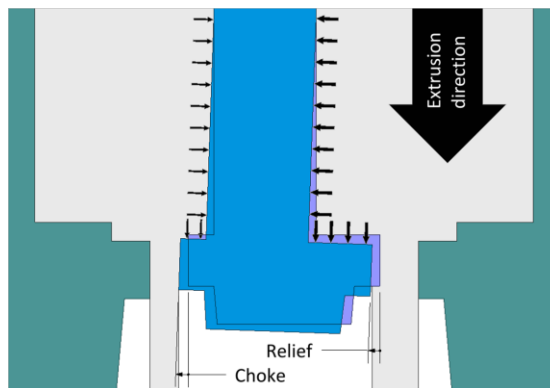


Fig. 3 Deformed die orifice

2. 유한요소해석

해석은 현재 사용중인 금형과 같은 모델(case 1), 베어링 각도(초크) 수정 모델(case 2), 베어링 길이 수정 모델(case 3) 총 3가지 case에 대해 진행하였다. 초크, 베어링 길이 등의 금형 수정은 QForm VX에 탑재된 Bearing Editor를 사용하였다. Fig. 2은 case 1, 2, 3의 해석 결과이다. 베어링 길이의 수정으로 초기 모델보다는 속도 분포가 균등하고 더 긴 프로파일 압출이 가능하고, 베어링 각도 수정으로는 속도 분포에 조금의 변화는 있지만 큰 효과가 없다는 것을 확인했다. Fig. 3은 단면에서 본 금형 오리피스의 탄성변형 결과이다. 이는 압출 과정에서 중공 내부에 생기는 자국의 원인이라고 판단된다.

3. 결론

QForm VX 를 이용하여 방열판의 알루미늄 프로파일 압출공정 해석을 진행하였다. 금형 베어링의 길이 및 각도가 알루미늄 프로파일 제품 생산에 미치는 영향을 확인했다.

참고문헌

- [1] Yang D. Y., Kang Y. S., 1996, "A Three-Dimensional Finite Element Analysis of Hot Square Die Extrusion Considering the Effect of Die Bearing", KSTP 1996 Fall Annual Meeting, pp. 185~191.
- [2] QForm VX User's manual, QFX Simulation Ltd, www.qform3d.com.

조선해양플랜트용 T-bar 벤딩 성형 공정 변수에 관한 연구

홍순곤¹ · 이진우¹ · 윤종현² · 공경열³ · 이상익³ · 이정환[#]

Investigation of T-bar bending forming process parameters for shipbuilding offshore plant

S. G. Hong, J. Lee, J. H. Yoon, K. Y. Kong, S. I. Lee, J. H. Lee

Abstract

T-bar is essential elements for large ship building and plant. It usually demands of 30% or more of the raw material form ship building. It is manufactured by butt welding between two pates of the thick plate and is formed by bending process. All processes are performed manually and it is necessary to carry out the most ideal process in consideration of accuracy and process time. This paper, the effort of the process variables such as material thickness, holding pressure, friction coefficient, punch displacement were investigated using finite element analysis and comparative analysis of prototype was evaluated by 3D scan with finite element analysis. The mechanical property of welding area was obtained using indentation technique and implemented into finite element modeling. Finally, the mathematical equations to predict the bending radius of the product were derived to take into account of aforementioned process parameters.

Key Words : Finite element analysis (유한 요소 해석), Forming process parameters (성형 공정 변수), Bending process (굽힘 성형 공정)

후 기

본 논문은 산업통산부와 한국산업기술진흥원 “경제협력권산업육성사업” 의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 한양대학교 ERICA

3. 기특산업 (주)

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: ljh1239@kims.re.kr

알루미늄 온간 U 드로벤딩의 스프링백 예측에 대한 연구

김우진¹ · 김흥규[#]

A Study on the Springback Prediction of Aluminum Warm U-Drawing

W. J. Kim, H. K. Kim

Abstract

등온 및 비등온 조건에서 알루미늄 합금에 대해 온간 U 드로벤딩 시험을 수행하고 스프링백 양을 측정하였다. 측정 결과에 따르면, 등온 및 비 등온 조건 모두에서 스프링백 양은 온도가 증가하고 펀치 속도가 감소함에 따라 감소하였다. 또한, 스프링백 양은 비등온 조건에서 더 크게 발생하였다. 온간 성형 공정 동안 시트 단면 수직 응력의 분포를 계산하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과, 유한요소해석으로 얻은 스프링백 양은 실험에서 측정된 스프링백 양과 충분히 유사한 값을 나타내었으며, 실험적으로 측정된 스프링백 값이 판재 단면의 최상층 및 최하층에서의 수직 응력 값의 차이와 비례한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 등온 조건 뿐만 아니라 비등온 조건에서도 성립하였고, 다양한 온도 및 성형 속도 조건에서 유사하게 나타났다. 이러한 사실로부터 블랭크 단면의 접선 응력 분포를 고려함으로써 스프링백을 정량적으로 예측할 수 있음을 유추할 수 있었다. 베르누이-오일러 빔 이론에 기초하여 판재 단면의 최상층 및 최하층에서의 수직 응력 값의 차이와 스프링백 량 사이의 상관 관계를 설명할 수 있는 함수 모델을 유도하였다. 이 때 온간 성형 공정을 고려하여 온도 및 변형률 속도 의존성이 포함된 유동 응력 모델을 적용하였다. 개발된 함수 모델을 사용함으로써 온간 성형 해석의 응력 결과만을 사용하여 별도의 스프링백 해석 없이 스프링백 양을 직접 예측할 수 있었다. 구체적으로, 개발된 모델에 의해 변형률 속도가 증가하고 온도가 감소함에 따라 스프링백이 증가함이 예측되었다. 또한, 탄성계수가 감소하고 판재 두께가 감소함에 따라 스프링백이 증가함이 예측되었다. 이를 통해 스프링백 예측에 소요되는 해석 시간과 비용을 절약하고 부품 설계 및 제조 프로세스의 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

Key Words : Aluminum, U Draw Bending, Warm Forming, Springback, Finite Element Analysis

1. 홍익대학교 신소재공학과

교신저자: 국민대학교 자동차공학과,

E-mail: krystal@kookmin.ac.kr

자동차 부품의 버링 성형성 향상을 위한 공정변수 최적화

노재동¹ · 박종규[#]

Optimization of Process Variables to Improve Burring Formability of Automotive Parts

J. D. Rho, J. K. Park

Abstract

최근 자동차 연비 향상과 배출가스 저감 규제가 강화되면서 부품업체의 경량화 실현은 생존을 위한 필수 사항이 되었다. 특히 샤시 부품은 경량화 요구 대응을 위한 고강도강 적용 및 이를 통한 소재두께 감소 노력이 확대되면서 발생하는 성형불량에 대한 개선이 시급한 상황이 되었다. 소재의 고강도화는 낮은 연신율을 가지는 소재가 성형되면서 많은 문제를 야기시킨다. 특히 버링 성형시 두께방향의 균열을 유한 요소해석으로 예측하기 어려워 구멍 확장비(HER)에 의존한 설계가 진행되고 있다. 본 연구에서는 고강도강 부품의 버링 성형성에 영향을 미치는 최적의 공정변수를 도출하기 위해 메타 모델을 구성하였다. 메타 모델에 따라 모의 금형을 공정별로 제작하였으며, 시험을 통해 단일변수 영향도 및 변수간의 상관관계를 분석함으로써 최적의 변수를 도출하고자 하였다.

Key Words : Advanced High Strength Steel, Kriging Meta Model, Burring Operation, Automotive Chassis Parts

1. ㈜화신 기술연구소 제품연구팀

#. 교신저자 : ㈜화신 기술연구소 제품연구팀

심한 전단 변형한 강의 특정 우선방위 발달

이철우¹ · 이동녕² · 김인수^{1#}

Particular Preferred Orientation Development in Steel Sheet after Severe Shear Deformation

Abstract

전기강판에서 특정한 우선방위의 발달을 요구하고 있다.
현재 특정한 우선방위를 얻기 위한 노력을 여러 가지 방면으로 연구하고 있다.
그 방법 중의 하나로 심한 전단 변형 공정이 금속 판재의 우선방위를 변화시킬 수 있다고 알려져 있다.
전기 강판에서 특정한 우선방위인 고스(Goss)집합조직, $\{110\}<001\}$ 집합조직은 연자성(soft magnetic) 특성을 가지고 있다.
본 연구에서는 강판을 상온에서 비대칭 압연으로 심한 전단 변형을 주어 특정 우선방위인 고스(Goss)집합조직,
 $\{110\}<001\}$ 집합조직의 발달 정도를 연구를 하였다.
강판을 상온에서 비대칭 압연으로 심한 전단 변형을 준 강판은 XRD와 EBSD를 이용하여 집합조직을 측정하여 특정 우선방위의 발달 정도를 측정하였다.

Key Words : 전단 변형, 우선방위, 비대칭 압연, 집합조직

1. 금오공과대학교 신소재공학부, # 교신저자
2. 서울대학교 재료공학부

AA1000 계열 알루미늄의 열간 비대칭 압연

보보무로드¹ · 이철우¹ · 김인수^{1#}

Hot asymmetrically rolled AA1000 Al alloy sheet

Abstract

AA1000계열 알루미늄 합금 판재는 다른 종류의 알루미늄 계열보다 연성이 높고 강도는 매우 낮은 재료이다.

AA1000계열 알루미늄 합금 판재는 연성이 높다고 성형성이 좋은 것이 아닌데 문제가 발생한다. 이와 같이 낮은 성형성을 높이기 위한 연구는 계속되고 있다.

알루미늄의 성형성을 높이기 위한 방법 중의 하나는 집합조직을 변경하는 방법이다.

집합조직 중에서 성형성이 높은 집합조직을 만드는 방법을 찾는 연구를 하는 것이다.

본 연구에서는 성형성이 낮은 집합조직인 입방(Cube) 집합조직의 강도를 낮추고 성형성에 영향을 주는 γ -fiber 강도를 향상시키는 방법을 찾기 위한 방법을 연구하였다.

이를 해결하기 위하여 AA1000 알루미늄 합금 판재를 우선 상온부터 600℃까지 열간에서 비대칭 압연을 하였다.

열간 비대칭 압연한 AA1000 알루미늄 합금 판재를 두께 층의 변화에 따라 XRD를 이용하여 극점도를 측정하였다.

그리고 방위분포함수(ODF)로 전개하여 하였다.

Key Words : AA1000 Al, Hot asymmetric rolling, γ -fiber, 성형성

1. 금오공과대학교 신소재공학부, # 교신저자

열간 비대칭 압연한 AA3000 계열 알루미늄 합금의 집합조직

보보무로드¹ · 이철우¹ · 김인수^{1#}

Texture change of hot asymmetrically rolled AA3000 series Al alloy sheets

Abstract

AA3000 계열 알루미늄 합금 판재는 일반용기, 건축재, 차량재, 통조림 용기와 칼라 알루미늄 등으로 사용하고 있다. 또한 알루미늄 합금은 비중이 낮아 경량소재로 사용되고 있다.

알루미늄 판재로 제품화하기 위하여는 성형을 해야 한다.

그러나 AA3000 계열 알루미늄 합금 판재는 성형성이 좋지 않아서 성형시 문제가 발생한다.

이와 같이 성형성이 좋지 않은 AA3000 계열의 성형성을 높이기 위한 연구는 계속되고 있다.

AA3000 계열 알루미늄의 성형성은 집합조직과 관련이 있다. AA3000 계열 알루미늄 합금에서 이 문제를 해결하기 위하여 성형성이 낮은 (100)<001> 집합조직을 감소시켜야 한다.

본 연구에서는 AA3000 계열 중에서 AA3000 알루미늄 합금의 성형성에 영향을 주는 (111)//ND 집합조직을 향상시켜야 한다.

(111)//ND 집합조직이 향상되는지 알아보기 위하여 AA3000 알루미늄 합금 판재를 우선 상온부터 600℃ 까지 열간에서 비대칭 압연을 하였다.

이것은 비대칭 압연의 전단변형을 이용하여 AA3000 알루미늄 합금 판재에 (111)//ND 집합조직 강도를 향상시키 위함이다.

열간 비대칭 압연한 AA3000 알루미늄 합금 판재를 두께 층의 변화에 따라 XRD 를 이용하여 극점도를 측정하였다. 그리고 방위분포함수(ODF)로 전개하여 하였다.

AA3000 알루미늄 합금을 열간 비대칭 압연 후 (111)//ND 집합조직 강도가 발달하는지 관찰하였다.

Key Words : AA3000 Al, Hot asymmetric rolling, (111)//ND 집합조직, 성형성

1. 금오공과대학교 신소재공학부, # 교신저자

후속 열처리에 의한 Al 7075-T6 합금의 기계적 물성 변화

손영일¹, 이석재[#]

Post Heat Treatment Effect on Mechanical Properties of Al 7075-T6 Alloy

Y. I. Son, S. J. Lee

Abstract

In this study, we investigated the effect of post heat treatment on mechanical properties of Al 7075-T6 alloy. Room temperature tensile test and hardness measurement were carried out with the microstructural observation. The fraction and average size of the precipitates were predicted according to the post heat treatment condition by thermodynamic calculations. The variation of the mechanical properties with the isothermal temperature and holding time during the post heat treatment were evaluated.

Key Words : Al7075, Post Aging, Precipitation, Mechanical Properties

1. 서론

알루미늄 합금은 1920년 이래로 가볍고, 좋은 내구성 그리고 손상에 내성이 있어 항공기 프레임 재료로써 널리 사용되어오고 있다. 항공기 산업뿐만 아니라 자동차, 방산 분야에서도 필수적으로 요구되는 높은 강도와 낮은 밀도 즉, 고비강도의 장점으로 대별되는 알루미늄 합금은 7XXX계 알루미늄 합금이다. 이 합금은 Al-Mg-Zn계로 기지 내에 미세한 석출상을 형성시킴으로써 재료를 강화시키는 석출경화형 합금이다. 7XXX계 알루미늄 합금 중에서 현재 7075 합금은 가장 널리 사용되고 있으며 많은 연구가 보고되고 있다. 하지만 제품의 제조 공정 중 T6 처리된 7075 소재에 추가적인 후속 열처리가 진행되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 T6 처리된 7075 알루미늄 합금에서 추가적인 후속 열처리에 따른 기계적 성질의 변화를 조사해 보았다.

2. 실험방법

T6 용체화 처리된 Al7075 소재의 후속 시효열처리 후 기계적 성질을 평가하기 위해 $\Phi 30\text{mm} \times 500\text{mm}$ 압출재로부터 인장시험을 위한 ASTM E8 sub-size 규격을 따르는 인장시편과 경도 측정과 미세조직 관찰을 위한 $\Phi 30\text{mm} \times 10\text{mm}$ 크기의 coupon 시편을 가공하였다. 가공된 시편은 125, 150, 175°C 온도에서 0.5, 1, 3, 5, 10시간까지 유지 시간을 변화시켜 가면서 추가적인 열처리를 실시하였다. 추가 열처리 후 상온에서 변형 속도 10^{-3} s^{-1} 로 인장시험을 진행하였다. 광학현미경을 이용하여 coupon 시편으로부터 미세조직 관찰을 실시하였다. 관찰 시편은 기계적 연마 후 Keller 용액을 이용해 에칭을 실시하였다. 시편의 경도 변화는 브리넬 경도기를 사용 측정하였다.

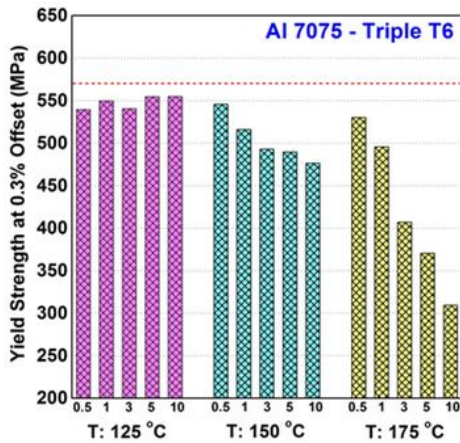
1. 국방과학연구소

2. 전북대학교

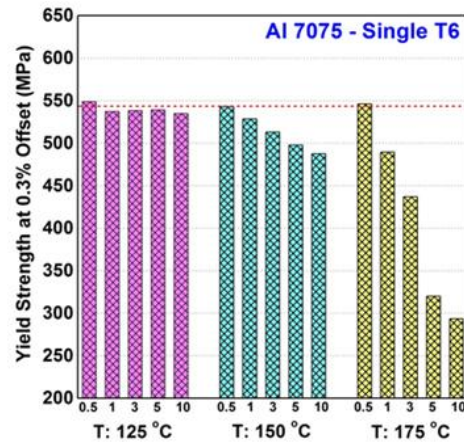
교신저자: 전북대학교, seokjaelee@jbnu.ac.kr

3. 결과 및 고찰

아래 그림은 T6 열처리 후 후속열처리에 따른 항복강도 변화를 비교하고 있다. T6 열처리 종류에 무관하게 공통적으로 시효열처리의 온도와 유지 시간이 증가함에 따라 항복 강도가 점차 하락하였고, 온도가 증가할수록 그 격차가 컸다.



Triple	0.5h	1h	3h	5h	10h	As-R
125°C	540	550	541	555	555	570
150°C	546	516	493	490	476	
175°C	530	496	407	370	309	



Single	0.5h	1h	3h	5h	10h	As-R
125°C	549	538	539	539	535	543
150°C	543	529	513	498	488	
175°C	546	490	437	320	294	

후속 열처리에 따른 강도 변화와 유사하게 후속 열처리 온도가 높고 유지 시간이 증가할수록 경도가 감소하였다. 열역학 계산을 이용하여 추가 열처리 조건에 따라 각 석출상의 분율과 개수, 그리고 평균 크기 등의 변화가 기계적 물성에 미치는 영향에 대해 정량적으로 해석하고자 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 T6 처리된 Al7075 합금에서 후속 열처리 온도와 시간에 따른 기계적 성질의 변화와 미세조직 특성을 상온 인장시험, 경도 측정, 미세조직 관찰, 열역학 계산 등을 통해 평가하였다. 이를 이용하여 T6 열처리된 7075 합금의 제품 제조 공정시 추가되는 후속 열처리 조건을 결정하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] A. Joshi, C. R. Shastri, M. Levy, Effect of heat treatment on solute concentration at grain boundaries in 7075 aluminum alloy, Metall. Trans. A, 12 (1981) 1081.
- [2] R. Clark Jr., B. Coughran, I. Traina, A. Hernandez, T. Scheck, C. Etuk, J. Peters, E.W. Lee, J. Ogrena, O.S. Es-Said, On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy, Eng. Failure Analysis, 12 (2005) 520.
- [3] J. Li, Z. Peng, C. Li, Z. Jia, W. Chen, Z. Zheng, Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 18 (2008) 755.

마그네슘 합금 판재의 온간 굽힘 공정에서 시간에 따른 스프링백 특성 분석

유제형¹ · 김현우¹ · 이창환^{1, #}

A Study on Springback Characteristics of AZ31B considering time-dependency and in warm bending forming

J.H Yu, H.W Kim, C.W Lee

Abstract

Magnesium alloys are widely used in automotive and aerospace industries because of their high specific strength. Magnesium alloys have HCP (hexagonal closed packed) structure hence formability is comparatively better in warm forming conditions than at room temperature. As the temperature of the material increases, the flow stress decreases along with the increase in elongation. As a result, improvement in the formability of the material and consequent reduction in springback is observed. One important factor while considering warm forming of magnesium is its creep behavior. In this study, L-bending and V-bending experiments of the magnesium alloy sheet were carried out at high temperature. The springback variations were measured with respect to holding time within the punch-set. The magnesium alloy showed a decrease in springback over time in L-bending and V-bending.

Key Words: Warm bending Forming, Springback, Magnesium Alloy Sheet, Punch radius, Die radius, Time-dependency

후 기

본 연구는 정부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행 되었습니다.
(과제 번호: NRF-2017R1C1B5017648)

1. 서울과학기술대학교 기계디자인공학부

Corresponding Author: Seoul National University of Science and Technology, Department of Mechanical system and Design Engineering, E-mail: cwlee@seoultech.ac.kr

다단 딥드로잉 공정에서 아이어닝 곡률부 면적 예측에 대한 연구

이창희¹ · 홍석무[#]

A study on the Prediction of Curvature Area of Ironing in the Multi-level Deep Drawing Process

C. H. Lee¹, Seokmoo Hong[#]

Abstract

측벽부의 높이가 긴 원통형 또는 직사각형 모양의 제품은 다단 딥드로잉 및 아이어닝 공정을 통해 생산된다. 다단 딥드로잉 및 아이어닝 공정 이후 일반적인 원통형 축 대칭 제품의 부피는 크게 바닥 부, 곡률 부, 측벽 부로 나뉘게 된다. 판재 성형에서의 제품의 부피는 체적 불변의 법칙에 의해 계산이 가능하다. 일반 원통형 드로잉의 제품은 2차원 상의 축 대칭의 형태로 나타낼 수 있으며, 이를 통해 제품의 부피는 2차원 상에서 계산이 가능하게 된다. 2차원 상의 곡률 부 면적은 기하학적으로 1/4타원의 면적에서 1/4원의 면적을 뺀 수식으로 표현이 가능하다. 하지만, 이를 적용한 계산방법은 실제 제품과 차이가 있다. 따라서, 본 연구에서는 다단 딥드로잉 공정과 아이어닝 공정을 적용한 실제 제품과 동일한 조건에서 유한 요소 해석을 수행하고, 데이터를 비교하여 해석 프로그램의 타당성을 검증하였다. 최종적으로, 유한 요소 해석의 데이터를 이용한 회귀분석을 이용하여 곡률 부 면적에 대한 새로운 예측식을 도출하였다. 또한, 회귀 분석을 통한 곡률 부 면적 예측식을 적용하여 실제 제품의 곡률 부 면적과 비교를 통해 새로운 곡률 부 면적 계산식을 검증하였다.

Key Words : Multi-level deep drawing process, Regression analysis, Sensitivity analysis.

1. 공주대학교 금형설계공학과.

[#] Corresponding Author: Department of MetalMold Design Engineering, Kongju National University, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

가열조건에 따른 보론강 Al-Si 코팅층의 결함분석

민두식¹ · 김승현¹ · 권순덕[#]

Analysis of defects in the Al-Si coating layers of boron steel according to heating condition

D. S. Min, S. H. Kim, S. D. Kwon

Abstract

In this study, the heat treatment phase was tested in the hot stamping process, which has recently been under construction. During the heat treatment phase, we observed mainly the variation in the Al-Si coating layer that coating layer of the boron steel by the hot stamping material. The comparison was made between the conditions of heating at 950℃ after heating for at 15 seconds and five minutes. The micro-structure were analyzed using SEM(Scanning electron microscope) and OM(Optical microscope) equipment, and the hardness of boron-steel was tested using a Vickers test device. As a result, we analyzed the extent of crack(defect) and formation of coating layers under the heat treatment conditions caused by rapid heating and normal heating. In this case, we intend to make a comparative analysis based on the Intermetallic phase and the inter-diffusion phase.

Key Words : Hot stamping, Al-Si coating layer, boron steel, Press Hardening, PHS, Car body, Heat treatment

Introduction

핫스탬핑강은 경화능이 우수한 보론(Boron)강판을 900℃이상의 고온에서 5 분이상 가열한 후 열간성형을 실시하기 때문에, 성형할 때의 yield strength 는 200MPa 로서 낮으나, 금형안에서 성형 후 급속냉각을 통해 1.4GPa 급의 Tensile Strength 를 확보할 수 있다. 그러나 핫스탬핑을 이용한 부품에는 표면 박리가 일어나는 결함이 줄곧 발생한다. 이 박리현상은 보론강판 표면에 코팅되어 있는 Al-Si 코팅층이 가열시 Intermetallic Fe-Al compounds 로 Diffusion 되는 과정에서 mismatch 된 thermal expansion 으로 인해 불안정한 phase 를 이루게 되고, 이때 발생된 Micro-Crack 은 성형시에 발생하는 surface 의 tensile stress 로 모재에 까지 전달되면 코팅층이 탈락되는 현상이다. 하지만 국내 핫스탬핑 공정은 외국의 Process 를 벤치마킹하여 900℃이상에서 5 분간 가열하는 조건을 적용해 이 박리현상 발생문제를 해결하였다. 하지만 국내에서 핫스탬핑 공정에 대한 연구는 가열장치 및 유압프레스의 lay-out system 과 단순 강도 경도예측을 통한 시뮬레이션 분석이 주를 이루는 기계공학 base 의 연구결과만 진행되고 있다. 따라서 본 실험에서는 Al-Si 코팅이 된 보론강판을 통해 900℃이상의 온도로 급속가열한 후 유지시간 없이 냉각을 진행한 공정과 동일온도로 승온 후 5 분간 유지한 후 금형 내 냉각을 진행한 제품의 조직을 비교하고자 한다. 이 실험을 통해 고온에서의 유지시간이 Al-Si 코팅 조직에 어떤 영향을 미치는지 고찰하고자 한다.

1 민두식 : 아진산업㈜ 신기술연구팀, E-mail: doosik.min@wamc.co.kr

권순덕 : 아진산업㈜ 신기술연구팀, E-mail: zcv0823@wamc.co.kr

Actuator Ball Nut 냉간 단조 금형 수명에 관한 연구

이윤혁¹ · 김동환[#]

A Study on the Life of Cold Forging Die of Actuator Ball Nut

Y. H. Lee, D. H. Kim

Abstract

금형 수명은 일반적으로 피로 수명과 마모 정도를 고려하여 예측한다. 특히, 금형 마모는 부품 공차의 점진적인 손실을 직접적으로 발생시켜 단조 부품의 치수 정확성을 저하 시킨다. 금형의 교체 및 수리를 위한 금형 수명 예측은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 냉간 단조 금형 수명을 예측하기 위해 차량에 사용되는 Actuator Ball Nut 금형의 마모 및 수명에 대한 유한 요소 시뮬레이션을 수행하였다. 현장 실험 금형 형상을 토대로 DEFORM-3D를 이용하여 금형 응력해석을 수행하였다. 금형 응력해석으로 도출한 주응력 값을 ANSYS 피로 수명 해석에 적용하여 피로 수명 예측 해석을 수행하였다. 피로 수명 예측은 Stress-life 방법, 즉 Goodman 와 Gerber 방정식을 사용하였다. Ball Nut의 단조 공정을 위한 강소성 유한 요소 해석 및 금형 피로 수명 예측을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 금형 세트의 탄성 응력 해석을 수행하였고 그 결과와 현장 시험결과를 비교 분석하였다.

Key Words : Actuator ball nut, Forging die life, Fatigue life prediction, Stress-life curve

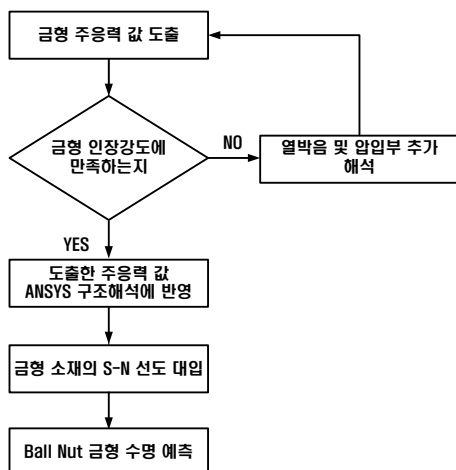


Fig. 1 Flow chart for prediction of die life

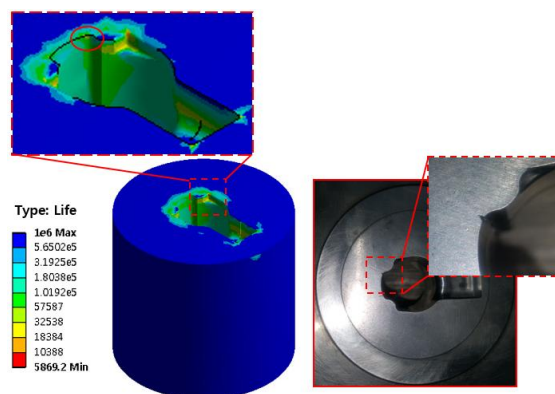


Fig. 2 Failure part of die in FE-simulation

1. 경상대학교 재료공정융합공학과

교신저자: 한국국제대학교 항공부품공학과, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

스프링백 정확성 향상에 관한 연구

김승현¹ · 민두식² · 권순덕[#]

A Study on the Improvement of Springback Accuracy

S. H. Kim, D. S. Min, S. D. Kwon

The current paper introduces work that was conducted during the development of a stamping die for a reinforce center pillar made from high strength steel. In the current study, the Bauschinger effect on the springback analysis was studied by comparing simulation results with real panels, which are currently in production. For a complicated part shape, quantitative measurements of the deformed shape are not easy in general to obtain. An adjustment procedure of the shape data for some chosen sections has been suggested to improve the accuracy of the quantitative measurements. The results show that the kinematic hardening model provides more accurate results.

Key Words : High Strength Steel, SpringBack, Bauschinger Effect, Kinematic Hardening Force

1. 서 론

고강도강의 스프링백 해석의 정확도가 떨어지는 원인은 지금까지는 주로 해석에 사용되는 셸요소가 굽힘변형을 적절하게 묘사를 하지 못하기 때문에 판단하여 주로 셸요소의 개선이 주로 언급되어 왔으나, 최근 바우싱거(Bauschinger effect)가 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 실제로 생산중인 Reinforce Center Pillar 금형 개발하면서 수행한 바우싱거 효과를 고려한 스프링백해석의 결과로 실제 제품의 성형후 형상과 비교를 통해 해석의 정확도에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 이동경화모델은 최근 정확도가 높은 것으로 알려진 Yoshida-Uemori 모델을 채택하였다.

2. 본 론

Reinforce Center Pillar는 드로잉 공정인 1공정, 리스트라이킹 공정인 2공정을 거쳐 성형이 이루어지는데 Fig. 1(a)는 1공정의 금형을, Fig. 1(b)는 2공정의 금형형상을 나타내고 있다. 1공정의 공정조건은

홀딩력 40ton, 금형속도는 5m/sec으로 설정하였고, 블랭크는 별도의 윤활없이 소재가 공급되는 조건으로 시행하였다.

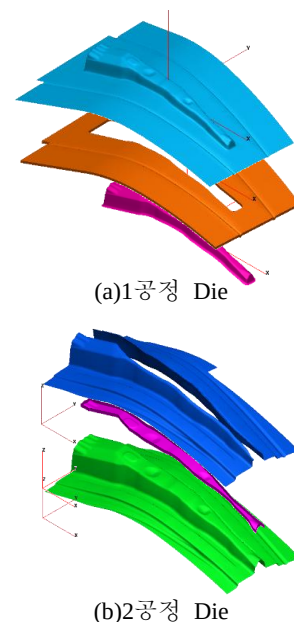


Fig. 1 Die Geometry for reinforce center Pillar

오스테나이트계 스테인리스 Forged Ball의 열간 단조 기술 개발

이채훈¹, 이인환², 김남용¹, 노현철³, 이진모¹, 장희상¹, 김광표[#]
(주)태웅¹, (주)태상², (재)대구기계부품연구원³

Development of Hot forging technology for Austenite Strainless steel Forged ball

C. H. Lee, I. H. Lee, N. Y. Kim, H. C. Ro, J. M. Lee, H. S. Chang, K. P. Kim

Abstract

최근 Plant 산업의 대형화 추세에 발맞추어 Plant내 요소 부품의 대형화에 따른 제조기술 및 원가절감 기술 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 그 중 볼 밸브용 Forged ball 단조 부품도 최적의 형상기술 및 가공 여유치 최소화를 통한 원가절감기술 개발이 절실히 요구된다. 또한, 이러한 Forged ball을 제조하기 위해서는 Upsetting, Semi-die 및 Enlarging forging 등의 연속적인 공정과 더불어 금형 형상의 최적화 설계기술 및 성형결합 등을 예측하는 제조기술 등의 확보가 필수적이다. 그리고 본 개발부품에 적용되는 오스테나이트계 스테인리스강의 경우 타합금강이나 탄소강에 비해 상대적으로 열간 성형이 용이하지 않으며, 특히 합금성분 및 열처리 조건 등에 따른 델타 페라이트 생성의 영향으로 고온연성을 크게 저하시켜 성형성을 급격히 저하시킬 수 있고, 잔존하는 델타 페라이트로 인해 자성을 띌 수도 있다. 이에 본 연구에서는 델타 페라이트 분율을 최소로 제어하고 Semi-die forging과 Enlarging forging 방법을 통해 대형 오스테나이트계 스테인리스 Forged ball의 제조 공정의 이해와 양산 적용 시 예상되는 문제들에 대한 고찰 및 성형 특성, 재질 특성들을 이해하고자 하였다.

Key Words : Ball Valve, Forged ball, Delta-ferrite, Formability, Open die forging

1. (주)태웅
2. (주)태상
3. (재)대구기계부품연구원
(주)태상, kwangpyo.kim@taesang.co.kr

MART1470 판재 냉간 프레스 성형용 금형 코팅의 마모량 비교

손민규¹ · 윤재웅² · 송정환³ · 김세호[#]

Comparison of Wear Amount of Surface Coatings on the Stamping Tools for Products with MART1470

M. K. Son, J. W. Youn, J. H. Song, S. H. Kim

Abstract

초고강도 강판을 이용한 냉간 성형 시 소재의 높은 인장강도로 인해 높아진 성형력으로 금형면의 마모, 균열, 이탈, 소착 등 많은 손상이 발생하고 있다. 금형의 결함들은 수명 저하에 직결되며 제품 품질 저하, 금형 내구 수명 감소, 금형 손상시 유지보수에 따른 추가비용 및 시간발생을 초래한다. 일반적으로 금형의 수명을 높이기 위하여 금형 표면에 다양한 코팅 등의 표면처리를 하여 연장을 시도하고 있다. 그러나, 적합한 코팅종류의 선정 및 각 방법의 정량적인 마모특성 분석은 어려운 과제이다.

본 논문에서는 차체 부품 성형용 금형강인 STD11의 표면에 MART1470 강판 냉간성형을 위한 3종의 PVD 코팅을 실시하였다. 사용된 코팅의 종류는 양산공정에 일반적으로 사용하는 2원계 CrN 코팅과 경질인 4원계 TiAlCrN 코팅의 일종인 쿨시트(Cool sheet) 코팅과 헤비로드(Heavy load) 코팅이다. 각 코팅의 마모특성을 정량적으로 분석하기 위하여 금형과 소재를 모사할 수 있는 Pin-On-Disc 방식의 마모시험을 진행하여 마모량을 접촉 압력, 미끄럼 상대 속도, 미끄럼 거리에 대하여 측정하고 비교하였다.

양산부품의 성형공정을 유한요소법을 이용하여 해석하고 해석결과로부터 마모에 가장 큰 영향을 미치는 접촉압력, 상대속도, 미끄럼거리의 범위를 도출하였다. 마모시험 후 각 시험인자에 따른 영향도를 분석하고 3가지 코팅층의 마모 특성을 정량적으로 비교를 하였다. 시험결과 헤비로드 코팅의 마모량이 가장 작은 것을 확인할 수 있었으며, 4원계 코팅의 경우 2원계에 비하여 매우 큰 마모저항성을 나타내었다. 추후 마모에 영향을 주는 변수에 관한 마모량의 예측식이 도출된다면 이를 마모해석 등에 적용하여 금형 코팅 종류의 선정 및 금형의 교체 시기 예측에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : Wear (마모), Surface Coating(표면코팅), UHSS(초고강도강), Stamping Tool(성형 금형)

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업핵심기술개발사업 수행의 결과입니다.

1. 대구대학교 대학원 기계공학과
2. 대구대학교 기계공학부
3. 한국생산기술연구원 성형기술그룹
교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail:mvksh@daegu.ac.kr

SPS 성형된 Bi-Sb-Te 합금의 미세조직 및 열전특성

신동원¹, 이명원¹, 윤석민¹, 이태행¹, 김경식¹, 구자명¹, 송기안¹, 홍순직^{1#},

Thermoelectric properties and microstructure of Bi-Sb-Te alloy bulk manufactured by spark plasma sintering process

D. W. Shin, M. W. Lee, S. M. Yoon, T. H. Lee, K. S. Kim, J. M. Koo, S. J. Hong, G. A. Song

Abstract

열전발전은 열과 전기의 직접적인 상호변환이 가능한 친환경적인 에너지 기술이며, 화석 에너지의 대체 기술로 각광받고 있다. 특히, 다양한 열전합금재료 중에 실생활에서 사용 가능한 Bi-Sb-Te 합금의 연구가 활발히 진행되고 있지만, 기존의 Zone melting법으로 제조된 Bi-Sb-Te 합금은 대량생산이 어렵고 낮은 기계적 특성 한계를 가지고 있다. 따라서, 이러한 문제점들을 해결하기 위해 대량생산이 가능하며, 미세조직 내 편석이 없는 균일한 조직을 얻을 수 있고, 경제적으로도 장점이 있는 분말야금 공정이 산업에 유리한 공정으로 대두되고 있으며 이 공정을 이용한 Bi-Sb-Te 열전재료 연구가 활발히 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 분말야금공정인 가스분무법(Gas atomization)을 이용해 p형 Bi-Sb-Te 열전분말을 제조하여 분말의 특성평가(입도분석, XRD분석, 형상)를 하였으며, 제조된 분말을 이용하여 통전가압소결(Spark Plasma Sintering)공정으로 소결체를 제조하였다. 제조된 소결체는 각각 미세조직(Fracture surface, SEM), 기계적 특성(밀도, 경도)과 열전특성(Seebeck 계수, 전기전도도)을 측정하였으며, 측정된 열전특성을 통해 성능지수(Figure of merit, ZT)로 나타내어 소결체의 열전성능을 평가하였다.

Key Words : Gas atomization, Bi-Sb-Te alloy, Spark plasma sintering, Microstructure, Figure of merit

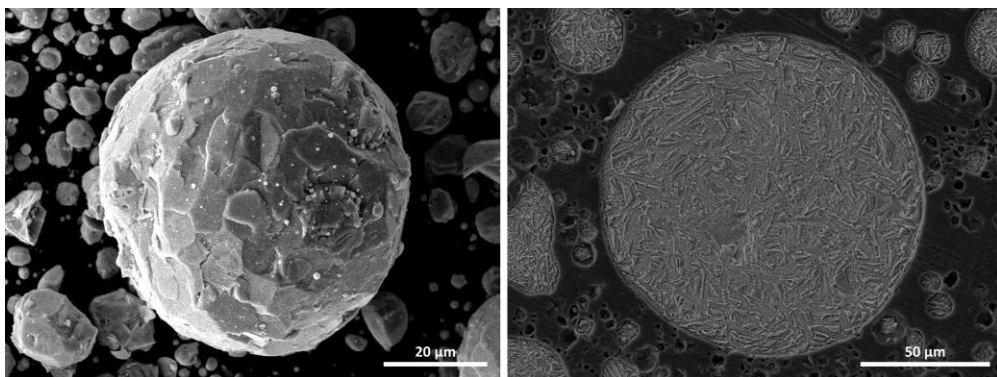


Fig. 1. Morphology and cross-section of Bi-Sb-Te alloy powder

1. 공주대학교 신소재공학과

교신저자: S. J. Hong, (E-mail: hongsj@kongju.ac.kr)

압출 가공된 Al-Si 합금의 미세조직 및 기계적 특성

안수성¹ · 구자명¹ · 유현정¹ · 백창현² · 홍순직^{1#} · 송기안^{1#}

Microstructure and mechanical properties of extruded Al-Si alloys

S. S. Ahn¹, J. M. Koo¹, H. J. You¹, C. H. Baeg², S. J. Hong^{1#}, G. A. Song^{1#}

Abstract

현재 자동차, 항공기 산업에 전반적으로 이용되고 있는 Al-Si 합금은 가장 대표적인 주물용 합금이다. 그 중 Al-Si 합금으로 제조된 스크롤 부품은 사용되는 과정에서 고속회전 및 진동을 견뎌야 하므로 재료는 내마모성, 피로강도 등의 기계적강도가 우수해야 한다. 그러나 Al-Si 합금의 특성상 Si의 함량이 증가하면 강도(Hardness)는 높아지나, 기계적 특성이 저하로 인해 쉽게 크랙이 발생하고 파괴되는 현상이 발생한다. 따라서 본 문제점의 해결을 위해 Si의 공정조직을 개량화하는 연구가 진행되고 있으며, 그 방법으로는 천이원소 첨가, 신공정 추가등 다양한 방법으로 연구가 진행되고 있다. 이에 기존의 합금에 새로운 공정을 추가하여 기존 합금보다 많은 Si 함량을 가지며, 치밀화된 조직을 가진 합금을 제작하여 기계적특성을 향상시키고 재료는 파괴되지 않는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 Al-Si 합금에 Cu, Mg, Fe를 첨가하여 합금설계를 진행하였으며, Si의 함량을 아공정(10wt.%), 공정(12.6wt.%), 과공정(14wt.%)으로 변화를 주었다. 합금제조는 주조 후 17:1 압출 공정과 T6 열처리를 적용하였다. 제조된 합금은 XRD 분석을 이용하여 상변화를 관찰하였고, SEM을 이용하여 미세조직의 변화를 관찰하였다. 그리고, 합금의 압출과 열처리 공정에 따른 인장, 경도 시험을 각각 진행하여 Si 함량 및 압출공정과 T6 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성의 변화를 분석하였다.

Key Words : Aluminum alloy, Al-Si, Extrusion, Heat treatment

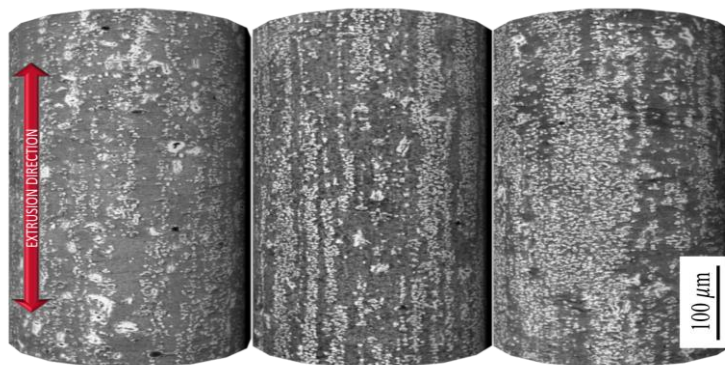


Fig 1. SEM Micrographs of Al-Si Extruded bars

1. 공주대학교 신소재공학과.

2. 동양 A.K 코리아

교신저자: S. J. Hong, G. A. Song, E-mail: hongsj@kongju.ac.kr, gasong@kongju.ac.kr

**한국소성가공학회
2018 년도 춘계학술대회**

◎ 조 직 위 원 장 : 강 신 일 부회장 (연세대학교)