(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0020561
(43) 공개일자 2019년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C21D 10/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C21D 10/00 (2013.01)
C21D 2211/001 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0105675
(22) 출원일자 2017년08월21일
심사청구일자 2017년08월21일

(71) 출원인
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
한흥남
서울특별시 강남구 선릉로 221, 405동 1701호
홍성태
서울특별시 강남구 언주로130길 30, 102동 204호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행, 김한, 김남식

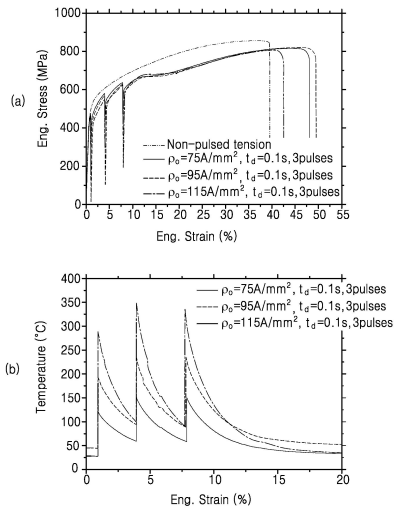
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **강재의 성형성 증가방법**

(57) 요 약

본 발명은 강재의 성형성 증가방법에 관한 것으로서, 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재의 적어도 일부분의 영역에 응력(stress)을 인가하는 단계 및 상기 응력에 의해 상기 오스테나이트상이 마르텐사이트(Martensite)로 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에, 상기 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도10



(72) 발명자

정혜진

경상북도 경주시 건천읍 작원3길 47, A동 302호

박주원

서울특별시 관악구 신림로7가길 13-56, 305호

진성우

경기도 용인시 기흥구 중부대로788번길 15, 206동 1304호

르우 비엣 띠엔

울산광역시 남구 대학로93, 울산대학교 기계공학과

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2015R1A5A1037627
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	선도연구센터지원사업
연구과제명	전략 구조소재 신공정 설계 연구센터
기 여 율	1/1
주관기관	서울대학교 산학협력단
연구기간	2015.08.01 ~ 2020.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재에 응력(stress)을 인가하는 단계; 및

(b) 상기 응력에 의해 상기 오스테나이트상이 마르텐사이트(Martensite)로 소성유기변태(Transformation Induced Plasticity)가 일어나는 시점에, 상기 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계

를 포함하는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 펄스 전류를 인가하는만큼 상기 강재의 변태유기소성 거동이 지연되는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 오스테나이트상을 포함하는 강재는 트립강(Tranformation Induced Plasticity steel)인, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 최초 펄스 전류를 상기 강재의 진변형율(True strain)이 0% 내지 11.7%일 때 인가하는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류를 3회 인가하는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류는 일정한 전류밀도(ρ_i)로 인가되는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 전류밀도는 85A/mm^2 내지 105A/mm^2인, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 전류 인가 주기(t_p)는 27초 내지 33초이고, 전류 인가 시간(t_d)는 0.08초 내지 0.12인, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류를 인가할 때, 적어도 28%의 연신율이 향상되는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 10

(c) 오스테나이트상을 포함하는 강재의 적어도 일부의 영역에 굽힘응력(bending stress)을 인가하여 굽힘 변형하는 단계; 및

(d) 상기 굽힘 변형된 상기 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계

를 더 포함하는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 (d) 단계에서, 상기 펄스 전류의 인가 시간(t_d)은 0.3초 내지 1초이고, 인가 시간이 증가할수록 상기 강재의 스프링백(springback)이 저감되는, 강재의 성형성 증가방법.

청구항 12

(e) 응력이 인가되면 오스테나이트상의 적어도 일부가 변태유기소성에 의해 마르텐사이트로 변태되는 트립강을 준비하는 단계; 및

(f) 상기 트립강에 응력을 인가하여 변형시키는 단계 중 어느 한 시점에 적어도 1회의 펄스 전류를 상기 트립강에 인가하여 상기 변태유기소성의 시작 시점을 지연시키는 단계를 포함하는, 강재의 성형성 증가방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 강재의 성형성 증가방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재의 일부분에 응력(stress)을 인가하는 중에 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에서 펄스 전류를 인가하여 성형성을 증가시키는 강재의 성형성 증가방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자동차산업에서 승객의 안전성 향상, 차체 무게 감소, 생산성 향상을 위해서 고강도, 고성형성의 철강재료에 대한 요구가 높아져왔다. 페라이트, 베이나이트, 잔류 오스테나이트의 세가지 혼합상으로 구성되어 있는 트립강(Transformation Induced Plasticity steel)은 잔류 오스테나이트가 변형을 받으면 단단한 마르텐사이트로 변태하면서 강도와 연신율이 증가하는 변태유기소성(Transformation induced plasticity)의 특성을 가지고 있다. 트립강은 잔류 오스테나이트의 성질에 따라 그 기계적 특성, 특히 고속변형특성의 변화가 크다. 비슷한 강도를 가진 일반 고장력 강과 비교하면, 트립강은 낮은 항복강도/인장강도비와 높은 변형경화능의 성질을 나타낸다. 높은 변형경화능은 자동차부품의 제조과정에서 국부적인 넥킹(necking) 발생에 대한 저항성을 높여 성형성을 향상시키고, 제조된 부품에서의 높은 인장강도는 충돌흡수에너지와 피로성질을 개선시킨다. 자동차용 강으로서의 트립강의 중요성은 성형성과 충돌특성의 향상에 있다. 따라서 자동차업계 및 철강업계의 트립강에 대한 관심은 높아져 왔고 상당한 수준의 제품 연구개발과 현장적용이 이루어져 오고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 이러한 상황에서, 기존의 트립강의 성형성 증가를 위한 방법으로 온간 성형, 점진 성형(incremental forming) 또는 레이저빔 성형(laser beam forming) 기술이 성형성 증가방법으로 사용되고 있는데, 고온 성형 및 유도 가열 공정은 고비용, 재료의 열구배, 다이 접착 및 표면 산화 문제가 발생한다. 특히, 레이저빔 성형은 제조 공정에서 과도한 시간과 비용을 필요로 하는 한계를 가지고 있다. 또한, 고강도 강의 경우, 높은 스프링백(springback)을 가지기 때문에 실 공정에 적용하는데 많은 어려움이 있는 실정이다.

[0004] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재의 일부분에 응력(stress)을 인가하는 중에 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에서 펄스 전류를 인가하여 성형성을 증가시키는 강재의 성형성 증가방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0005] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, (a) 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재의 적어도 일부분의 영역에 응력(stress)을 인가하는 단계 및 (b) 상기 응력에 의해 상기 오스테나이트상이 마르텐사이트(Martensite)로 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에, 상기 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계를 포함하는 강재의 성형성 증가방법이 제공된다.

[0007] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 펄스 전류를 인가하는만큼 상기 강재의 변태유기소성 거동이 지연될 수 있다.

[0008] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 오스테나이트상을 포함하는 강재는 트립강(Transformation Induced Plasticity steel)일 수 있다.

[0009] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 최초 펄스 전류를 상기 강재의 진변형율(True strain)이 0% 내지 11.7% 일 때 인가할 수 있다.

[0010] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류를 3회 인가할 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류는 일정한 전류밀도(ρ_i)로 인가될 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 전류밀도는 85A/mm^2 내지 105A/mm^2 일 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 전류 인가 주기(t_p)는 27초 내지33초이고, 전류 인가 시간(t_d)는 0.08초 내지 0.12초일 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류를 인가할 때, 적어도 28%의 연신율이 향상될 수 있다.

[0015] 그리고, 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, (c) 오스테나이트상을 포함하는 강재의 적어도 일부의 영역에 굽힘응력(bending stress)을 인가하여 굽힘 변형하는 단계 및 (d) 상기 굽힘 변형된 상기 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계를 더 포함하는 강재의 성형성 증가방법이 제공된다.

[0016] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 (d) 단계에서, 상기 펄스 전류의 인가 시간(t_d)은 0.3초 내지 1초이고, 인가 시간이 증가할수록 상기 강재의 스프링백(springback)이 저감될 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, (e) 응력이 인가되면 오스테나이트상의 적어도 일부가 변태유기소성에 의해 마르텐사이트로 변태되는 트립강을 준비하는 단계 및 (f) 상기 트립강에 응력을 인가하여 변형시키는 단계 중 어느 한 시점에 적어도 1회의 펄스 전류를 상기 트립강에 인가하여 상기 변태유기소성의 시작 시점을 지연시키는 단계를 포함하는, 강재의 성형성 증가방법이 제공된다.

발명의 효과

[0018] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재의 일부분에 응력(stress)을 인가하는 중에 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에서 펄스 전류를 인가하여 성형성을 증가시킬 수 있는 효과가 있다.

[0019] 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류 인가 성형용 장치를 나타내는 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류의 인가 조건을 나타내는 그래프이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류 인가 성형용 강재 시편을 나타내는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 성형 전 시편의 미세조직 및 집합조직을 나타내는 EBSD(Electron backscatter diffraction) 분석 사진이다.

도 5는 본 발명의 비교예에 따른 강재의 일반 성형시의 응력 변형율 선도(stress-strain curve) 및 XRD(X-ray diffraction)분석에 따른 잔류 오스테나이트의 분율(Austenite Phase Fraction)을 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 오스테나이트상을 포함하는 강재 시편의 성형후 파단 형상을 나타내는 사진이다.

도 7은 본 발명의 일 비교예에 따른 오스테나이트상을 포함하는 강재의 펄스 전류를 인가하여 성형시와 고온에서 성형시의 응력 변형율 선도(stress-strain curve) 및 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 비교예에 따른 강재의 성형후의 시편의 미세조직 및 집합조직을 나타내는 EBSD(Electron backscatter diffraction) 분석 사진이다.

도 9는 본 발명의 일 비교예에 따른 강재의 성형 전 시편 및 변형율이 23%인 때 시편의 잔류 오스테나이트 분율을 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형할 때의 응력 변형율 선도(stress-strain curve)와 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형할 때의 가공경화지수(strain hardening exponent, n-value)값의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형할 때의 진변형율에 따른 잔류 오스테나이트 분율을 나타내는 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백(springback) 저감효과 실험용 장치를 나타내는 개략도이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험용 시편을 나타내는 개략도이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험시 시편에 가해지는 부하(load)를 나타내는 그래프이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험용 시편의 펄스 전류 인가 굽힘성형후의 사진 및 스프링백 각도(springback angle)를 나타내는 그래프이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 시편의 굽힘성형시 시편에 인가되는 스프링백 방향을 나타내는 개략도 및 펄스 전류 인가 굽힘성형시 시편의 비커스 경도(Vickers hardness)를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭하며, 길이 및 면적, 두께 등과 그 형태는 편의를 위하여 과장되어 표현될 수도 있다.

[0022] 이하에서는, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하

기 위하여, 본 발명의 바람직한 실시예들에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0024] **<펄스 전류 인가 성형성 증가방법>**

[0025] 도 1 및 도 2를 참조하여 펄스 전류 인가 성형에 대하여 설명한다. 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류 인가 성형용 장치를 나타내는 개략도이다.

[0026] 강재의 성형시 펄스 전류 인가의 영향 분석을 위한 장치로써, 펄스 전류를 인가하면서 성형이 가능한 실험 장치를 구성한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 성형을 위한 시편(10)을 로딩(loading)하고, 화살표 방향으로 응력을 인가할 수 있다.

[0027] 펄스 전류는 저항 용접기를 바탕으로 제작된 직류 전원 발생 장치를 이용하고, 시편(10)에 전류가 주기적으로 인가될 수 있도록 한다. 이때, 시편(10)에 흐르는 전류와 인장기 사이의 절연을 위해 인장기의 시편(10)이 물리는 지그에 베이크라이트(bakelite)를 이용하여 절연 시스템(Insulator)(I)을 구축한다. 또한, 전원 장치에서 발생한 직류 전류가 시편(10)으로만 흐를 수 있도록 한다.

[0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류의 인가 조건을 나타내는 그래프이다. 펄스 전류 인가 성형시, 펄스 전류는 전류 밀도(ρ, 단위: A/mm^2), 전류 인가 시간(duration, t_d, 단위: 초) 및 전류 인가 주기(period, t_p, 단위: 초)를 일정하게 설정하여 시편에 인가할 수 있다. 도 2의 t_d는 전류 인가 시간을 의미하고, t_p는 전류 인가 주기를 의미한다. 이때, 전류 밀도(ρ_0)는 시편의 초기 단면적을 기준으로 한 값이며, 이는 실험이 진행되는 동안 일정 값의 전류 값(A)이 인가되었음을 의미한다. 이와 다르게 전류 밀도(ρ_i)는 성형 진행시, 감소하는 시편의 단면적을 고려하여 전류를 변화시키며 인가하여 전류 밀도를 일정하게 유지할 수 있다.

[0029] 펄스 전류 인가 성형성 증가방법에서, 시편의 물성 변화를 측정하기 위한 데이터 측정 시스템에 대하여 설명한다. 시편의 변형율을 측정할 때 일반적으로 사용되는 접촉식 스트레인 게이지는 절연의 문제로 사용이 불가하다. 따라서, 비접촉식으로 시편의 변형율을 측정할 수 있는 이미지 기반의 디지털 화상 상관법(digital image correlation system, DIC system)을 이용하여 시편의 길이방향 변형율을 측정하였다. 또한, 펄스 전류 인가에 의해 발생하는 저항열의 발생을 분석하기 위해, k-형 열전대(k-type thermos-couple)와, 열화상 카메라(IR camera)를 이용하여 시편의 온도를 측정한다.

[0031] 다음으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 성형성 증가방법에 대하여 설명한다.

[0032] 본 발명에 따른 강재의 성형성 증가 방법은, (a) 오스테나이트상(Austenite phase)을 포함하는 강재에 응력(stress)을 인가하는 단계 및 (b) 응력에 의해 오스테나이트상이 마르텐사이트(Martensite)로 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에, 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 전류 인가 성형용 시편을 나타내는 개략도이다. 본 명세서에서, 도 3의 a는 시편의 전체 길이를, b는 시편의 표점거리를, c는 시편의 세로 길이를, d는 시편의 단편 길이를 의미한다. 다만, 도 3에 의해 본 발명의 실시예가 한정되는 것은 아니다. 본 발명에 따른 실시예는 도 3의 시편(10)의 형상과 두께 및 길이는 다를 수 있다.

[0034] (a) 단계에서, 도 3에 도시된 성형용 시편(10)을 도 1의 성형용 장치에 로딩(loading)하여 응력을 인가한다. 상기 오스테나이트상을 포함하는 강재는 항복강도(YS)가 780Mpa급인 경량강재일 수 있다. 경량강재의 성형성 증가방법을 이용하여 고강도 저비중 강을 필요로 하는 산업에 활용될 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 오스테나이트상을 포함하는 강재는 트립강(Transformation Induced Plasticity steel)일 수 있다.

[0036] (b) 단계에서, 상기 (a) 단계의 응력을 인가하여 강재가 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity, 이하 "TRIP") 거동하는 시점에, 강재에 적어도 1회의 펄스 전류(pulsed electric current)를 인가할 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 성형용 장치의 외부 전력 장치를 통해 성형용 시편(10)에 펄스 전류를 인가할 수 있다. 펄스 전류는 도 2에 도시된 바와 같이 일정한 전류 인가 주기(t_p), 전류 인가 시간(t_d)으로 인가한다. 전류 밀도

의 경우 일정한 전류 밀도(ρ_i)로 인가되는데, 이는 성형용 시편에 응력이 인가됨에 따라 단면적이 변화할 때, 인가되는 펄스 전류의 세기를 조절하여 전류 밀도를 일정하게 유지할 수 있다.

[0037] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 펄스 전류의 전류밀도는 85A/mm^2 내지 105A/mm^2일 수 있다.

[0038] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 펄스 전류의 전류 인가 주기(t_p)는 27초 내지 33초이고, 전류 인가 시간(t_d)는 0.08초 내지 0.12초일 수 있다.

[0039] 한편, 변형율(strain)이란, 부품이나 시편의 선형 치수의 단위 길이당 변화율을 의미하며, 공칭변형율(Engineering strain)과 진변형율(True strain) 두 종류가 있다. 공칭변형율이 보편적으로 사용되는 변형율이며, 초기 표점거리에 대한 길이의 변화로 하기의 식으로 표현된다.

[0041] $\sigma = (L-L_0)/L$

[0042] (σ: 변형율, L: 성형후 표점거리, L_0: 초기 표점거리)

[0044] 항복강도(Yield strength, 이하, "YS")란, 소성변형을 발생시키지 않고 재료에 가해질 수 있는 최대 응력의 정도로써, 재료가 특정한 영구 변형을 나타낼 때의 응력을 의미한다.

[0045] 소성 구간(Plastic region, 이하, "PR")이란, 탄성한계를 넘어 항복강도를 지난 시편이 소성 변형을 띠는 구간이며, 하중의 원인을 제거한 후에도 영구적인 변형이 남아있는 구간이다.

[0046] 최대인장강도(Ultimate tensile strength, 이하 "UTS")란, 시편의 세기를 나타내는 힘으로 시편이 파단이 될 때까지 인장력을 인가했을 때 견뎌내는 최대응력을 의미한다. 응력 변형율 선도에서 최대 응력 지점을 의미한다.

[0047] 변태유기소성(Transformation Induced plasticity, 이하 "TRIP")이란, 오스테나이트상이 외력에 의해 마르텐사이트로 변태되는 것을 말한다. 이때, 강재는 고강도와 고연성을 확보할 수 있다.

[0049] 이하에서는, 다양한 실험예에 따라, 펄스 전류 인가에 따른 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형성 증가방법에 대하여 설명한다.

[0051] **<오스테나이트상을 포함하는 강재의 미세조직 및 일반인장성형>**

[0052] 도 4 및 도 5를 참조하여 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형 특성에 대하여 설명한다.

[0053] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 성형 전 시편의 미세조직 및 집합조직을 나타내는 EBSD(Electron backscatter diffraction) 분석 사진이다. 강재의 성형후 달라지는 특성을 측정하기 위해 성형 전의 초기 상태의 미세조직 및 집합조직을 분석한다.

[0054] 도 4의 (a)는 EBSD 분석의 ND map(법선방향의 미세조직 map)이고, 도 4의 (b)는 EBSD 분석의 Phase map 이다. EBSD 분석 결과, 강재는 페라이트상과 오스테나이트상이 같이 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

[0055] 또한, 오스테나이트상의 정량적인 분율을 측정하기 위해 XRD분석을 실시하여 잔류 오스테나이트상 분율이 23% 존재하는 것을 확인할 수 있다.

[0056] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 일반 성형시의 응력 변형율 선도(stress-strain curve) 및 XRD(X-ray diffraction) 분석에 따른 잔류 오스테나이트의 분율을 나타내는 그래프이다. 강재에 1.5mm/min의 인장 변형 속도로 일반 인장성형(non-pulsed tension)을 하여, 강재의 파단시 파단변형율과 잔류 오스테나이트상의 분율을 측정한다.

[0057] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 강재의 인장 변형 속도는 1.4mm/min 내지 1.6mm/min일 수 있다.

[0058] 도 5의 (a)는 강재의 일반 성형시의 응력 변형율 선도(stress-strain curve)를 나타내는 그래프이다. 일반 인장성형 결과, 40%의 파단변형율과 850Mpa의 최대인장강도(UTS)를 보인 것을 확인할 수 있다.

[0059] 파단 후 강재 시편의 파단양상을 관찰한 결과, 연성파괴(ductile fracture)가 일어나는 것을 확인할 수 있다. 이때, 일반 인장성형시 강재의 변형 메커니즘을 알아보기 위해, 강재의 성형 전 초기 시편과 변형율이 각각 7.5%, 12.5%, 23%, 및 강재의 파단 후 시편의 XRD 분석을 실시한다.

[0060] 도 5의 (b)는 강재의 일반 성형시의 XRD분석에 따른 잔류 오스테나이트의 분율(Austenite Phase Fraction)을 나타내는 그래프이다. 일반 인장성형시, 성형이 진행됨에 따라 오스테나이트상의 분율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 강재는 응력이 인가되면 오스테나이트상이 마르텐사이트로 변태유기소성(TRIP)거동이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

[0061] 한편, 강재의 일반 인장성형에서, 변형율과 잔류 오스테나이트 분율 사이에 하기의 [식 1]을 이용하여 플랏(plot)을 할 수 있다.

[0062] [식 1]

[0063] $f_r = f_0 \exp(-k\varepsilon)$

[0064] (f_r: 잔류 오스테나이트상의 분율, f_0: 성형전 초기 강재의 오스테나이트상의 분율, ε : 진변형율, k: 상수)

[0066] 이때, k값은 상수이지만 물리적으로 낮은 k값을 가질수록 오스테나이트 상이 높은 안정성을 가지는 것을 의미한다. 강재는 [식 1]의 플랏(plot) 결과, k값이 0.03767인 것을 확인 할 수 있다.

[0068] **<오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형성 증가방법>**

[0069] 도 6 내지 도 12를 참조하여 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형성 증가방법에 대하여 설명한다.

[0070] 먼저, 도 6 내지 도9를 참조하여 본 발명의 비교예에 대하여 설명한다.

[0071] **[비교예 1]**

[0072] 비교예 1은 도 3에 나타난 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형용 시편을, 오스테나이트상을 포함하는 강재의 일반 인장성형과 같은 방법으로 응력을 인가하고, 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에 펄스 전류를 인가하여 인장성형을 실행한다.

[0073] 이때, 상기 펄스 전류는 전류 밀도(ρ_i)가 50A/mm^2이고, 전류 인가 시간(t_d)은 0.1초, 전류 인가 주기(t_p)는 30초일 수 있다.

[0074] **[비교예 2]**

[0075] 비교예 2는 도 3에 나타난 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형용 시편을, 오스테나이트상을 포함하는 강재의 일반 인장성형과 같은 방법으로 응력을 인가하고, 온도를 85℃ 내지 100℃를 유지하면서 고온 인장성형을 실행한다.

[0076] 도 6은 오스테나이트상을 포함하는 강재의 성형후 파단 형상을 나타내는 사진이다. 도 6의 (a)는 오스테나이트상을 포함하는 강재의 일반 인장성형시(Non-pulsed tension), 도 6의 (b)는 펄스 전류를 인가하여 성형시(Pulsed tension), 도 6의 (c)는 고온에서 인장성형시(High temperature tension), 시편의 파단형상을 나타낸다.

[0077] 도 7은 오스테나이트상을 포함하는 강재의 펄스 전류를 인가하여 성형시와 고온에서 성형시의 응력 변형율 선도(stress-strain curve) 및 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

[0078] 비교예 1, 2에 따르면, 오스테나이트상을 포함하는 강재의 펄스 전류를 인가하여 인장성형할 때와, 고온에서 인장성형을 할 경우 파단변형율은 약 23.9%로 측정되었다. 이는, 오스테나이트상을 포함하는 강재가 온도 증가로 인한 TRIP거동이 방해되어, TRIP효과에 따른 변형을 수용하지 못한 것으로 확인할 수 있다. 즉, 펄스 전류를 인가하여 인장성형을 하거나 고온에서 인장성형을 할 때, 파단변형율이 낮아진다.

[0079] 도 8은 본 발명의 일 비교예에 따른 강재의 성형후의 시편의 미세조직 및 집합조직을 나타내는 EBSD 분석 사진이다. 도 8의 (a) 및 (b)는 오스테나이트상을 포함하는 강재의 일반성형 후 변형율이 23%일 때의 미세조직, 도

8의 (c) 및 (d)는 펄스전류를 인가하여 인장성형시 변형율이 23%일 때의 미세조직, 도 8의 (e) 및 (f)는 고온에서 인장성형시 변형율이 23%일 때의 미세조직의 EBSD분석 사진이다.

[0080] 도 9는 본 발명의 일 비교예에 따른 강재의 성형 전 시편 및 변형율이 23%인 때 시편의 잔류 오스테나이트 분율을 나타내는 그래프이다.

[0081] 비교예의 실험 결과, 펄스전류를 계속 인가하거나 고온에서 인장성형을 할 경우, 잔류 오스테나이트상의 분율이 일반 인장성형시 보다 높다. 즉, TRIP거동을 나타내는 소재의 경우, 계속적인 펄스전류를 인가하는 것은 TRIP거동을 방해할 뿐 아니라 국부적인 수축(locally necking)발생으로 인하여 파단변형율이 일반인장보다 더 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0083] **<변형 초반부에 펄스 전류를 3회 인가한 경우>**

[0084] 도 10 내지 도 12를 참조하여, 오스테나이트상을 포함하는 강재에 변형 초반부에 3회의 펄스전류를 인가한 성형성 증가방법에 대하여 설명한다.

[0085] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, (e) 응력이 인가되면 오스테나이트상의 적어도 일부가 변태유기소성에 의해 마르텐사이트로 변태되는 트립강을 준비하는 단계, (f) 트립강에 응력을 인가하여 변형시키는 단계 중 어느 한 시점에 적어도 1회의 펄스 전류를 트립강에 인가하여 변태유기소성의 시작 시점을 지연시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0086] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형할 때의 응력 변형율 선도 및 온도변화를 나타내는 그래프이다.

[0087] 상기 비교예 1과 동일한 인장성형 속도, 전류 인가 시간, 전류 인가 주기 조건하에, 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity)이 일어나는 시점에 3회의 펄스만을 인가하여 인장성형을 실행하였다. 전류 밀도의 경우 서로 다른 전류밀도로 하여, 각각 75A/mm^2, 95A/mm^2, 115A/mm^2로 하여 3번의 인장성형을 실행하였다.

[0088] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계에서, 상기 펄스 전류의 최초 펄스 전류를 상기 오스테나이트계 강의 진변형율(True strain)이 0% 내지 11.7% 일 때 인가할 수 있다.

[0089] 도 10의 (a)는 강재에 3회의 펄스전류를 인가하여 인장성형시 응력 변형율 선도를 나타낸다. 실험 결과, 전류 밀도가 95A/mm^2일 때, 파단변형율이 최대 50%로 측정된다. 일반 인장성형시의 파단변형율인 39%에서, 약 28%의 파단변형율이 증가할 수 있다. 이때, 전류 밀도가 증가할수록 파단변형율이 계속 증가하는 것이 아니고, 전류밀도가 95A/mm^2일 때, 최대 파단변형율을 나타낸다. 즉, 최대 파단변형율을 얻을 수 있는 최적의 전류밀도 조건을 확인할 수 있다.

[0090] 도 10의 (b)는 강재에 3회의 펄스전류를 인가하여 인장성형시 온도변화를 나타내는 그래프이다. 전류 밀도 75A/mm^2의 전류를 인가한 경우 시편의 평균 온도는 최대 150℃까지 증가하였으며, 전류 밀도 95A/mm^2의 전류를 인가한 경우는 약 210℃까지 증가하였다. 그리고 전류 밀도 115A/mm^2의 전류를 인가한 경우는 약 350℃까지 증가하였다.

[0091] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형시의 가공경화지수(strain hardening exponent, n-value)값의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0092] 3회의 펄스 전류 인가 성형시, 강재의 진응력-진변형율 선도의 기울기가 일반 인장성형시와 다르게 측정되었다. 이를 확인하기 위해 가공경화지수(strain hardening exponent) 인 n-value값의 변화를 측정한다.

[0093] 가공경화지수(strain hardening exponent)는 외력에 의해 가공된 재료의 강성이 증가하는 정도를 나타내는 지수이다. 이는 진응력-진변형율 선도의 기울기로 나타내고, 변형의 증가에 따라 재료의 강도가 증가하는 현상인 가공경화의 정도를 의미한다. 재료의 물성을 결정하는 중요한 인자이다.

[0095] $\sigma = K\varepsilon^{n}$

[0096] $\log\sigma = n\log\varepsilon + \log K$

[0097] (σ : 진응력, ε : 진변형율, n: 가공경화지수, K: 강도계수)

[0099] 상기 성형실험의 진변형율에 따른 n-value값을 플랏(plot) 해 본 결과 펄스 전류 인가에 의해 n-value 곡선이 변화된 것을 확인할 수 있다. 특히, n-value의 최대값(max n-value)이 일반 인장에 비하여 변형이 진행된 변형 후반부에서 나타난다. 이는 변형 초반부에 3회의 펄스 전류 인가시 TRIP거동의 지연 효과로 인하여 변형 후반부터 TRIP 효과가 발휘되는 것을 나타낸다. 따라서, 본 발명의 강재의 성형성 증가방법은, 변형 초반부에 펄스전류 인가에 의해 TRIP거동이 지연되고, 높은 파단변형율을 가지게 하는 이점이 있다.

[0100] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 강재의 3회의 펄스 전류 인가 성형할 때의 진변형율에 따른 잔류 오스테나이트 분율을 나타내는 그래프이다.

[0101] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 펄스 전류를 인가하는만큼 상기 오스테나이트계 강의 TRIP(Transformation Induced Plasticity) 거동이 지연될 수 있다.

[0102] TRIP 거동의 지연이 일어났는지 알아보기 위하여 각 변형율 지점에서의 펄스 전류 밀도가 95A/mm^2일때, 인장한 강재시편과 일반 인장성형한 시편으로 XRD 분석을 실시하여 잔류 오스테나이트상 분율을 측정하였다.

[0103] 진변형율이 11.7%까지는 강재의 잔류오스테나이트상 분율이 성형 전 초기시편과 비슷한 수치를 나타낸다. 진변형율이 11.7% 이후부터 잔류오스테나이트상 분율이 지속적으로 감소하기 시작한다. 구간을 진변형율이 0% 부터 11.7%까지(Region 1), 진변형율이 11.7% 부터 시편의 파단시까지(Region 2)로 나누어 [식 1]의 k 값을 플랏(plot)한다. 플랏 결과, 일반 인장성형에 비해 진변형율이 0% 부터 11.7%까지(Region 1, Fitting curve 1)는 k값이 0.004934이고, 진변형율이 11.7%이후(Region 2, Fitting curve 2)에서는 k값이 0.03688이다. 이는 진변형율이 11.7%까지는, 일반 인장성형시 k값보다 현저히 낮은 값을 가지고, 진변형율이 11.7%이후부터는 비슷한 값을 나타낸다. [표 1]은 인장성형 조건에 따른 [식 1]의 플랏결과를 나타내는 표이다.

[0105] [표 1]

[0106]

	K값	R-square
일반인장성형 (Non pulsed tension)	0.03767	0.9496
진변형율 0% ~ 11.7% (Region 1, Fitting curve 1)	0.004934	0.9882
진변형율 11.7% ~ 파단시 (Region 2, Fitting curve 2)	0.03688	0.9994

[0108] 실험 결과, 진변형율이 11.7%일 때까지, 3회의 펄스 전류 인가 성형시 일반 인장성형보다 오스테나이트상의 기계적안정성(mechanical stability)이 높아서 TRIP 효과가 지연된다. 따라서, 강재의 변형 후반부터 TRIP 거동이 나타나고, 변형 후반부에 TRIP거동이 나타나 성형성 향상에 기여할 수 있다.

[0109] 즉, 오스테나이트상을 포함하는 강재에 펄스전류를 인가하여 성형시 TRIP거동을 지연시키고 변형율이 향상되어 성형성을 증가시킬 수 있다.

[0111] **<스프링백 저감 실험>**

[0112] 도 13 내지 도 17을 참조하여, 오스테나이트상을 포함하는 강재에 펄스 전류를 인가하여 스프링백 저감효과에 대하여 설명한다.

[0113] 스프링백(Springback)은 성형이 필요한 강재에 굽힘 응력을 인가하여 굽힘 변형을 하고 굽힘 응력을 제거하였을 때, 시편에 가해진 굽힘 변형이 되돌아 오는 것을 의미한다. 일반적으로, 고강도 강은 성형시 스프링백 효과에 의해 성형성이 감소되어 실공정에 적용하기에 문제가 있다.

[0114] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험용 장치를 나타내는 개략도, 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험용 시편(20)을 나타내는 개략도이다.

[0115] 상기 스프링백 저감효과 실험용 장치에서, G는 굽힘 응력 인가용 팁(tip)의 굽힘 각도를, R은 팁의 굽힘 반경이며, W는 스프링백 저감효과 실험용 시편의 굽힘 후 너비를 의미하고, 시편(20)에서 L은 가로 길이, H는 세로 길이를 의미한다.

[0116] 본 발명의 일 실시예에 따르면, (c) 오스테나이트상을 포함하는 강재에 굽힘응력(bending stress)을 인가하여 굽힘 변형하는 단계, 및 (d) 굽힘 변형된 오스테나이트상을 포함하는 강재에 적어도 1회의 펄스 전류를 인가하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0117] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 스프링백 저감효과 실험시 시편에 가해지는 부하(load)를 나타내는 그래프이다.

[0118] (c) 단계에서, 스프링백 저감효과 실험용 시편을 실험용 장치에 로딩하고 굽힘 응력을 인가할 수 있다. 도 15의 부하(Load)는 스프링백 저감효과 실험용 시편에 인가되는 굽힘 응력을 의미하고, 시편의 변형 길이(Displacement)는 17㎜까지 굽힘 변형을 가한다. 굽힘 변형 속도(Cross head speed)는 0.1㎜/s일 수 있다.

[0119] (d) 단계에서, 스프링백 저감효과 실험용 시편에 1회의 펄스전류를 인가하여 굽힘 변형을 할 수 있다. 전류 밀도는 60A/mm^2이고, 전류 인가 시간(Duration time)을 0.3초 내지 1초로 인가할 수 있다. 굽힘 변형 후, 스프링백 각도(Spring back angle)를 측정하고, 열화상 카메라를 이용하여 시편의 최대 온도를 측정한다.

[0120] 도 16의 (a)는 스프링백 저감효과 실험용 시편의 펄스 전류 인가 굽힘 성형후의 사진, 도 16의 (b)는 스프링백 각도와 펄스 전류 인가시 최대 온도를 나타내는 그래프이다.

[0121] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 펄스 전류의 인가 시간(t_d)은 0.3초 내지 1초이고, 인가 시간이 증가할수록 오스테나이트계 강의 스프링백이 저감될 수 있다.

[0122] 실험 결과, 스프링백 저감 각도는, 일반 스프링백 변형시 45° 이고, 전류 인가 시간이 각각 0.3초, 0.5초, 0.7초, 0.9초, 1초일 때, 스프링백 변형은 각각 42° , 38° , 37° , 31° , 29° 로 측정되었다. 각 실험시 최대 온도는 각각 228℃, 378℃, 497℃, 631℃, 706℃로 측정되었다. 즉, 펄스 전류 인가 시간이 1초일 때 최대 35%의 스프링백 저감효과를 확인할 수 있다. 표 2는 상기 스프링백 실험의 결과를 나타내는 표이다.

[0124] [표 2]

[0125]

	시간(초)	저감각도(G, °)	최대온도 (℃)	저감효율 ((G0-Gp)/G0,%)
일반스프링백 성형	-	45(G0)	-	-
펄스전류 인가 스프링백	0.3	42(이하 Gp)	228	7
	0.5	38	378	15
	0.7	37	497	18
	0.9	31	631	29
	1	29	706	35

[0127] 도 17의 (a)는 시편의 굽힘 성형시 시편에 인가되는 스프링백 방향(S)을 나타내는 개략도, 도 17의 (b)는 펄스 전류 인가 굽힘성형시 시편의 비커스 경도(Vickers hardness)를 나타내는 그래프이다.

[0128] 상기 실험에서, 펄스 전류 인가시간이 1초일 때와, 펄스전류를 인가하지 않은(Non pulsed) 일반 스프링백 실험

에서 인장력을 받은 부분(도 17의 (a)의 T)의 비커스 경도를 측정하였다.

[0129] 비커스 경도(Vickers hardness)는 단단한 표면 물질의 경도를 측정한 값을 나타낸다. 다이아몬드 사각뿔을 가지는 피라미드형 압입자를 사용하여, 시험편을 눌러 시험편에 생긴 피라미드 모양의 부분의 대각선을 측정하여 경도를 측정한다. 비커스 경도의 값을 계산하는 식은 다음과 같다.

[0131] $Hv = 0.1891F/d^2$

[0132] (Hv: 비커스경도(N/mm^2), F: 하중, d: 다이아몬드 압입자국의 대각선길이)

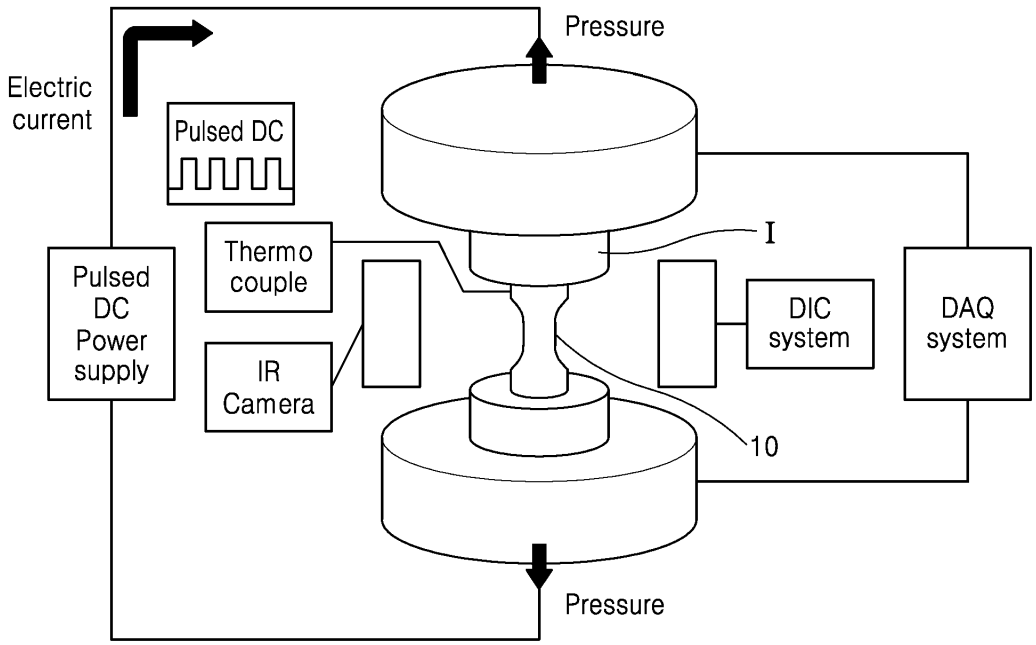
[0134] 비커스 경도가 일반 스프링백 실험에서는 약 275Hv이고, 펄스전류 인가시간이 1초일때, 약 250Hv이다. 펄스 전류를 인가하여 스프링백 실험을 하였을때, 잔류 응력의 감소로 비커스 경도 저하가 발생한 것을 확인할 수 있다. 즉, 강재의 스프링백이 저감되는 것을 확인할 수 있다.

[0135] 따라서, 본 발명에 따르면, 오스테나이트상을 포함하는 강재에 펄스전류를 인가하여 인가 시간이 증가할수록 오스테나이트계 강의 스프링백을 저감시키는 효과가 있다.

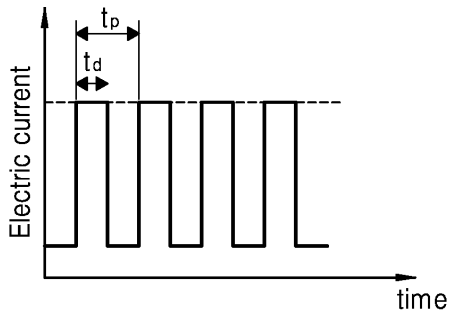
[0137] 본 발명은 상술한 바와 같이 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형과 변경이 가능하다. 그러한 변형예 및 변경예는 본 발명과 첨부된 청구범위의 범위 내에 속하는 것으로 보아야 한다.

도면

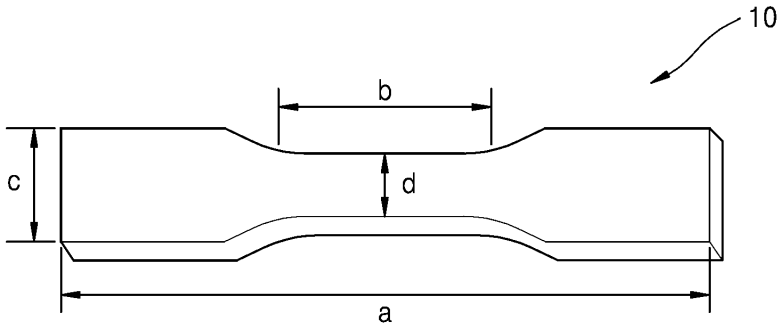
도면1



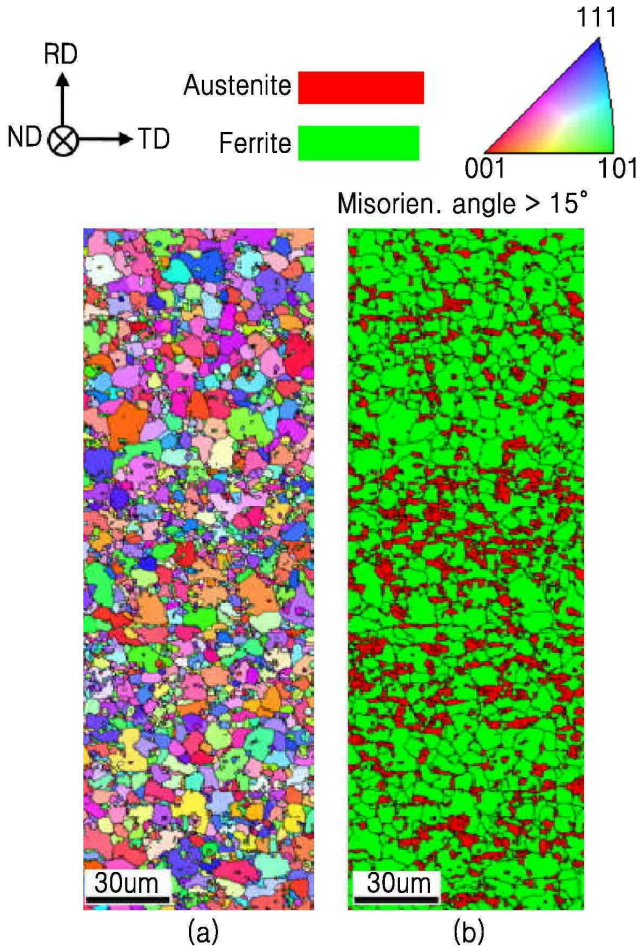
도면2



도면3

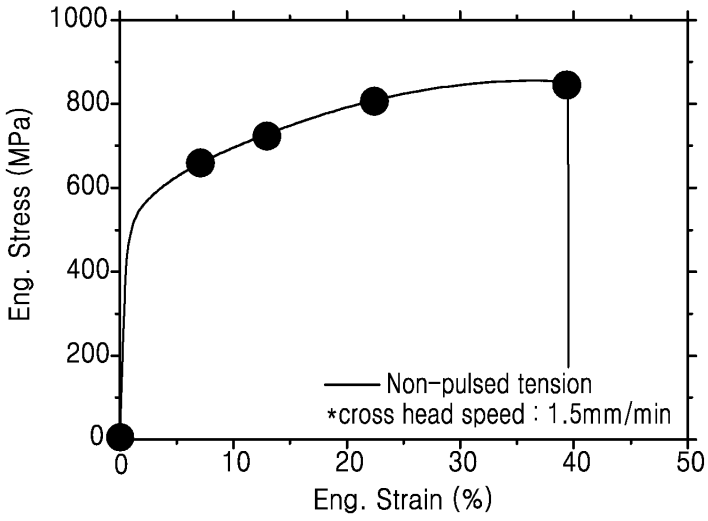


도면4

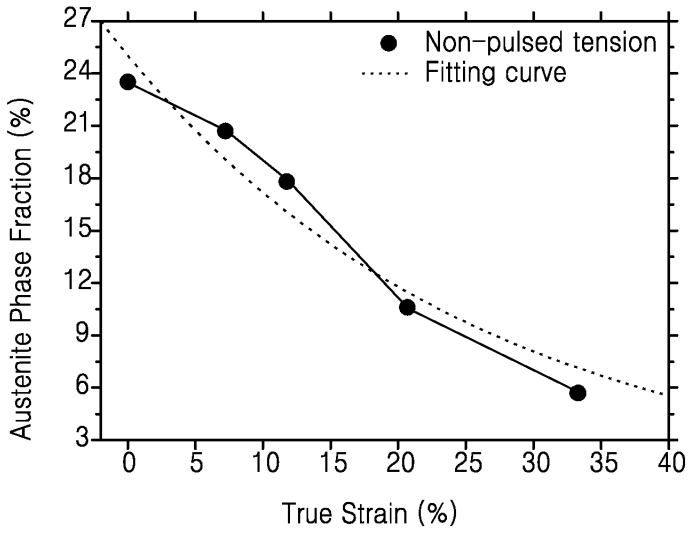

RD
ND
TD
Austenite
Ferrite
111
001
101
Misorien. angle > 15°
30um
30um
(a)
(b)

도면5

(a)



(b)

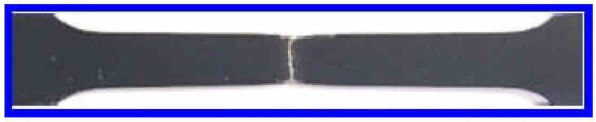


도면6

(a)



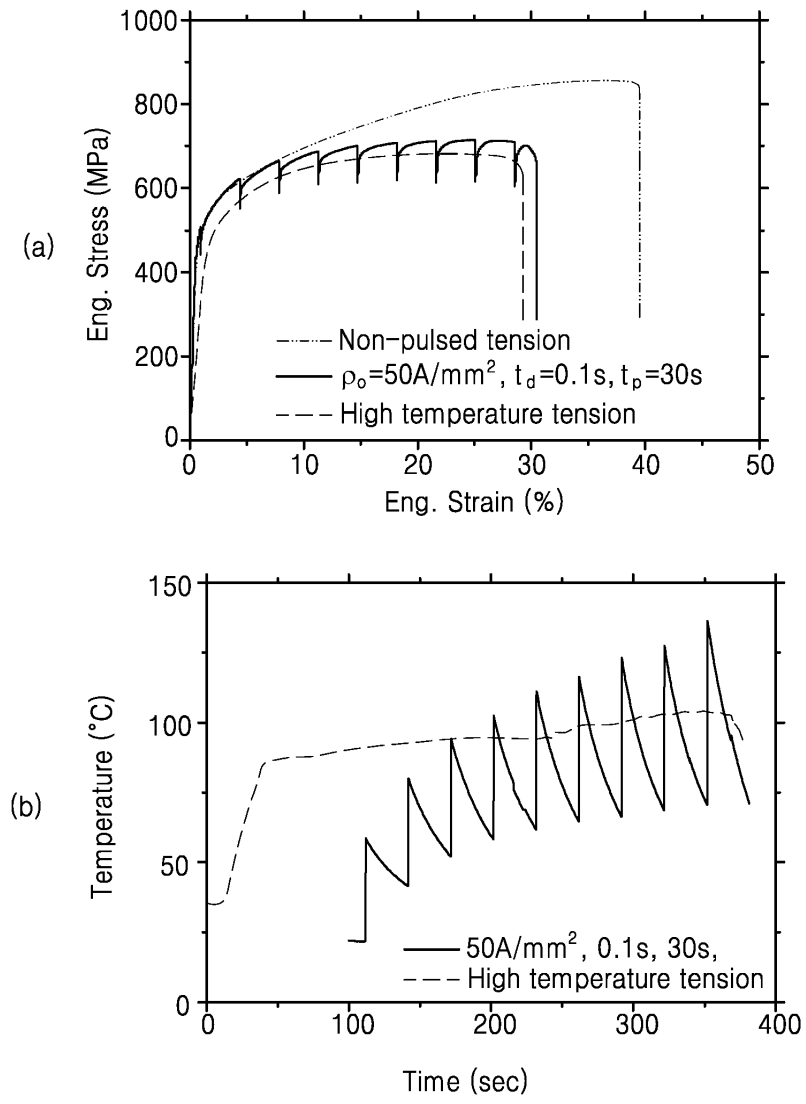
(b)



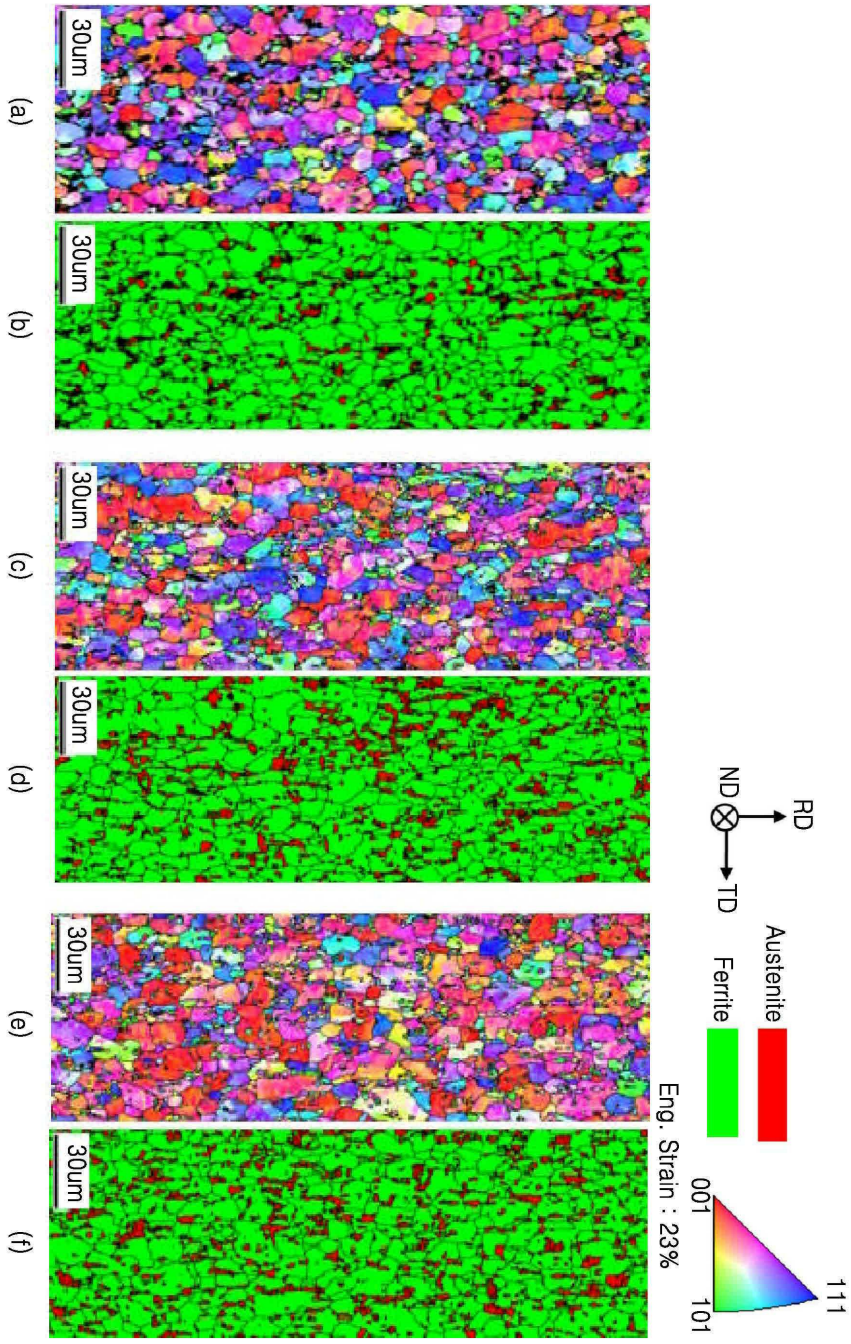
(c)



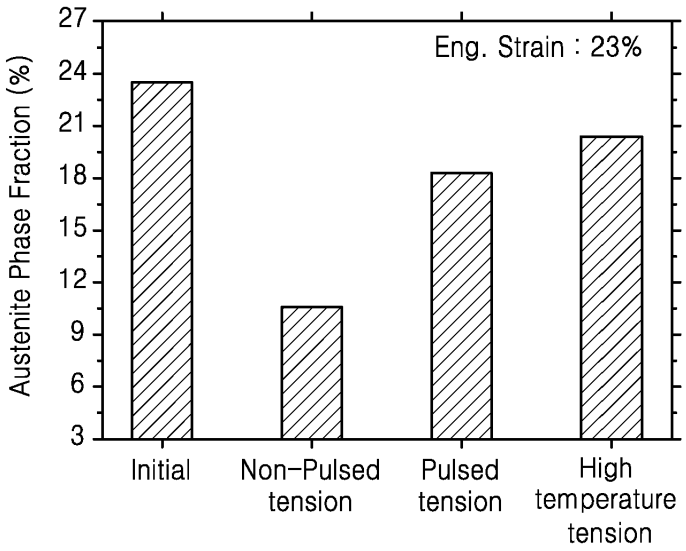
도면7


(a)
Eng. Stress (MPa)
1000
800
600
400
200
0
0
10
20
30
40
50
Eng. Strain (%)
Non-pulsed tension
ρo=50A/mm2, td=0.1s, tp=30s
High temperature tension
(b)
Temperature (°C)
150
100
50
0
0
100
200
300
400
Time (sec)
50A/mm2, 0.1s, 30s,
High temperature tension

도면8

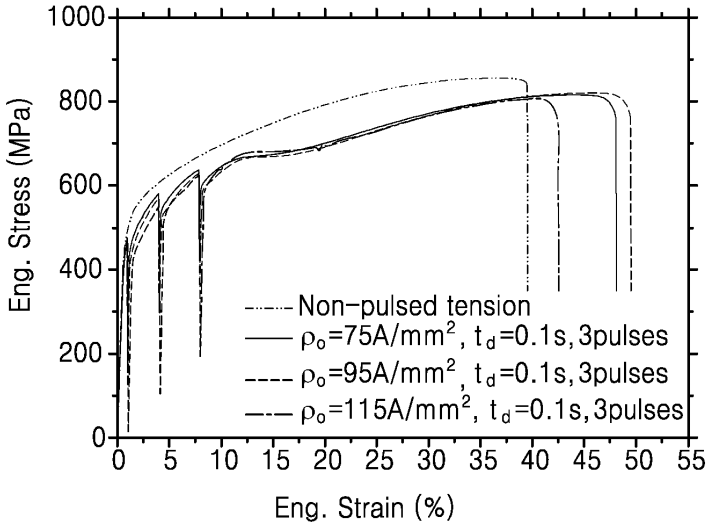

(a)
30um
(b)
30um
(c)
30um
(d)
30um
(e)
30um
(f)
30um
ND
RD
TD
Ferrite
Austenite
001
101
111
Eng. Strain : 23%

도면9

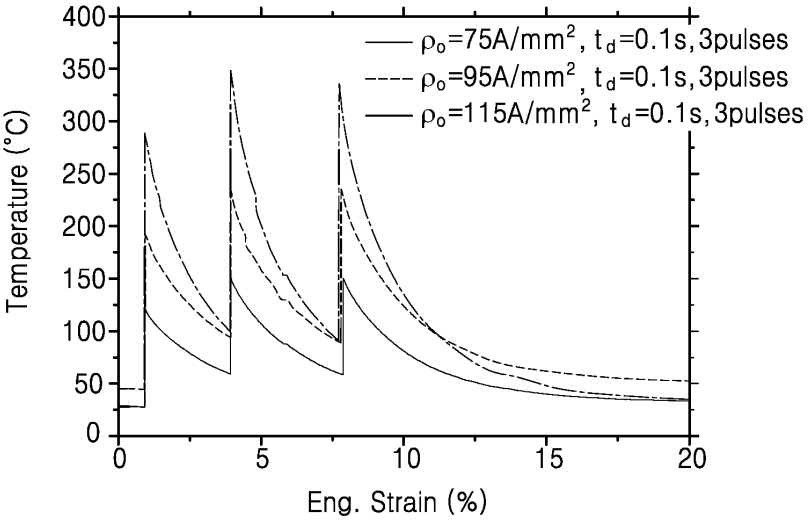

Eng. Strain : 23%
Austenite Phase Fraction (%)
27
24
21
18
15
12
9
6
3
Initial
Non-Pulsed tension
Pulsed tension
High temperature tension

도면10

(a)

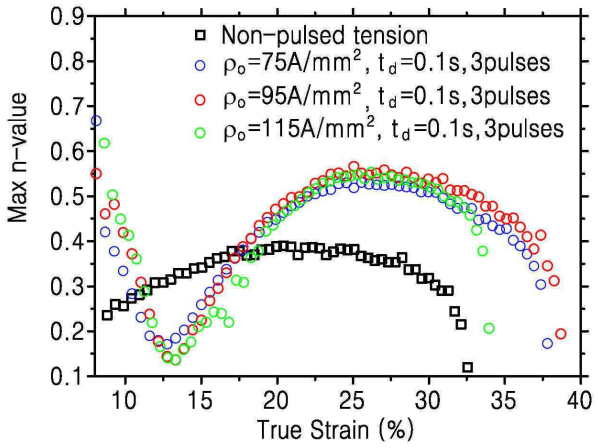

Eng. Stress (MPa)
Eng. Strain (%)
Non-pulsed tension
ρo=75A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=95A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=115A/mm², td=0.1s,3pulses

(b)

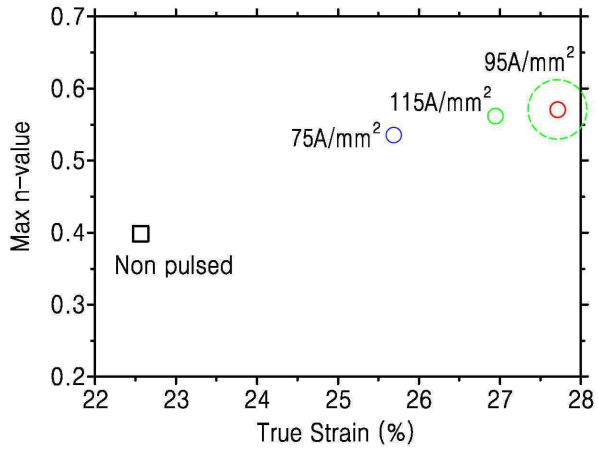

Temperature (°C)
Eng. Strain (%)
ρo=75A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=95A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=115A/mm², td=0.1s,3pulses

도면11

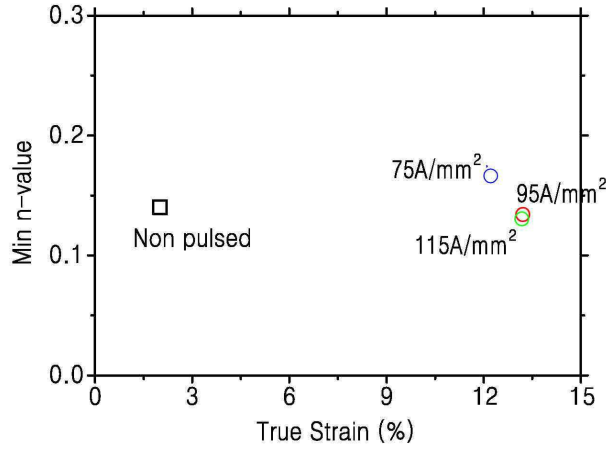
(a)


Non-pulsed tension
ρo=75A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=95A/mm², td=0.1s,3pulses
ρo=115A/mm², td=0.1s,3pulses
Max n-value
True Strain (%)

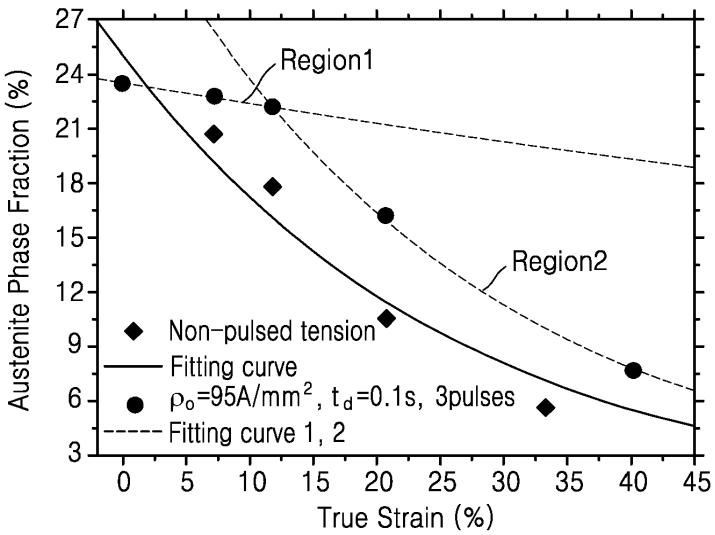
(b)


95A/mm²
115A/mm²
75A/mm²
Non pulsed
Max n-value
True Strain (%)

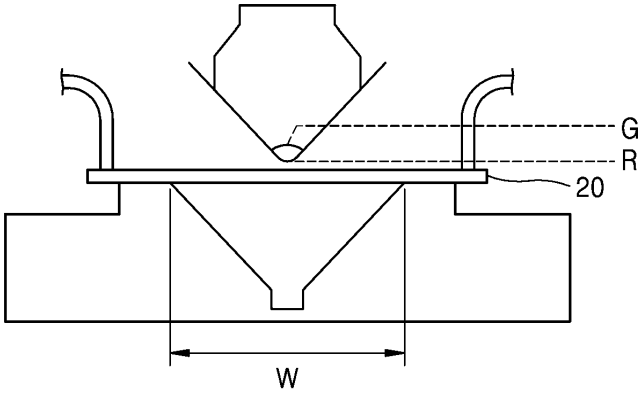
(c)


75A/mm²
95A/mm²
115A/mm²
Non pulsed
Min n-value
True Strain (%)

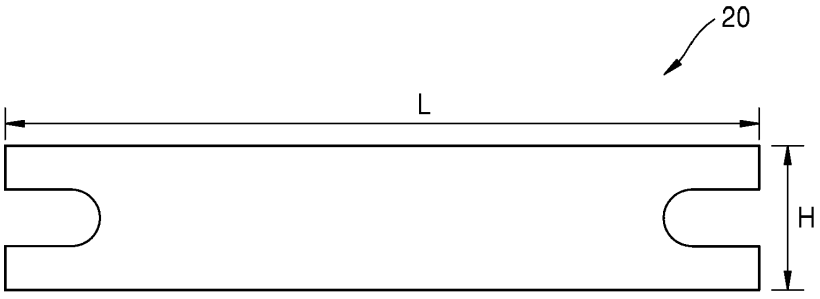
도면12



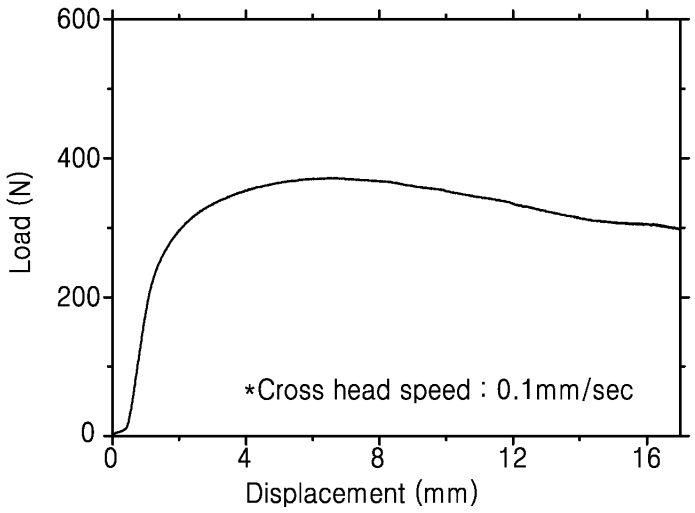
도면13



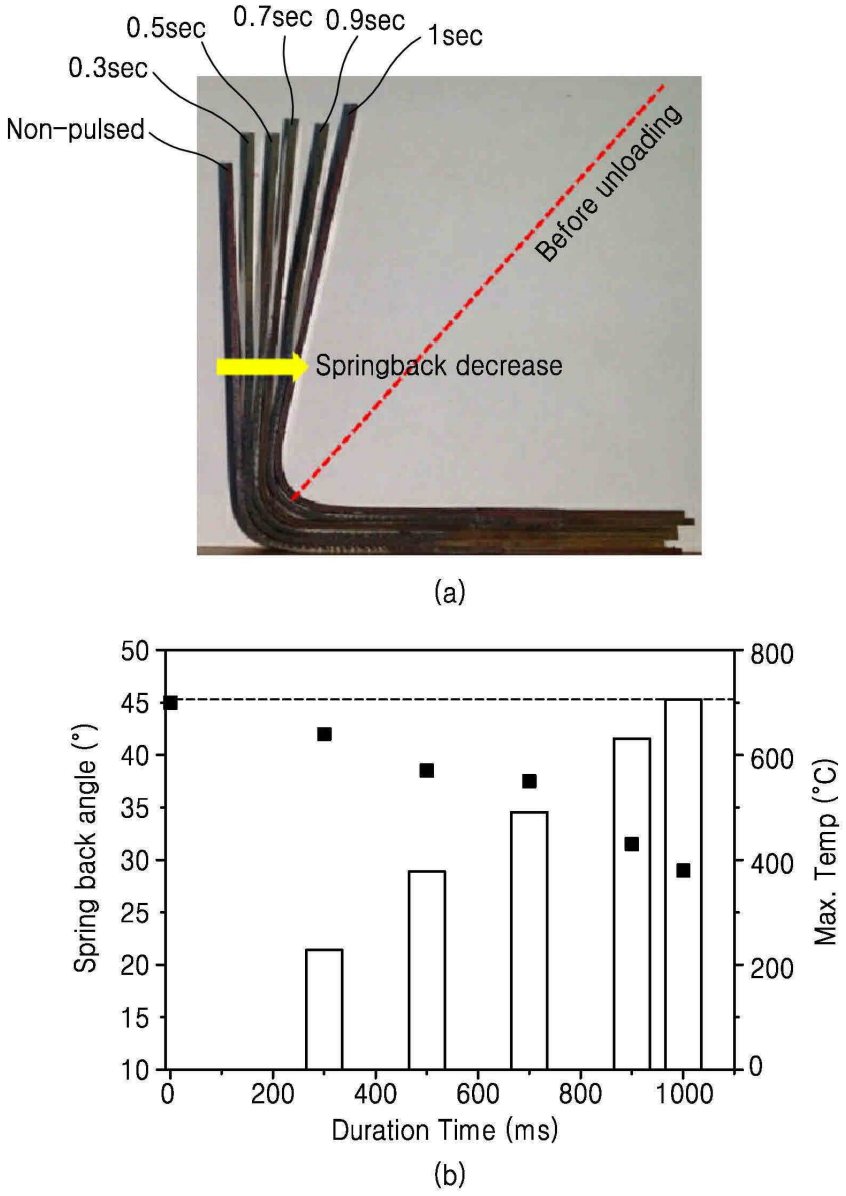
도면14



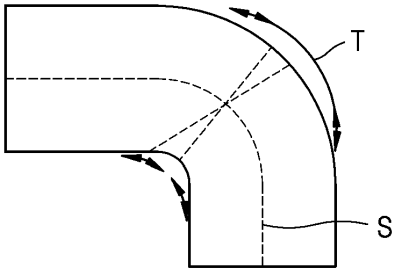
도면15


600
400
200
0
Load (N)
0
4
8
12
16
Displacement (mm)
*Cross head speed : 0.1mm/sec

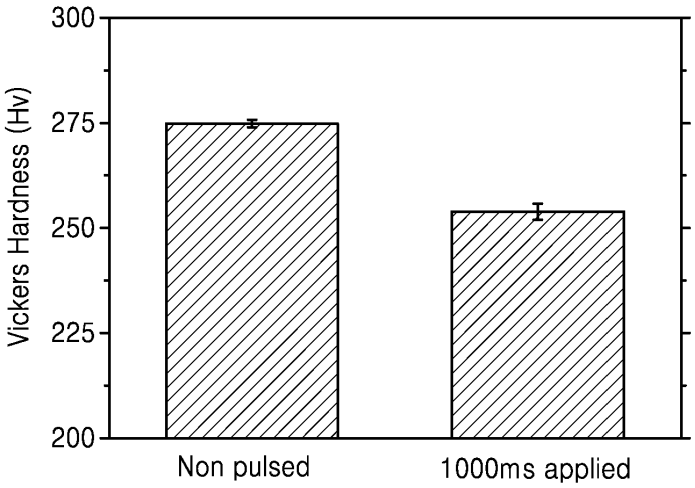
도면16


0.5sec
0.7sec
0.9sec
1sec
0.3sec
Non-pulsed
Before unloading
Springback decrease
(a)
Spring back angle (°)
Max. Temp (°C)
Duration Time (ms)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
1000
(b)

도면17


T
S

(a)


300
275
250
225
200
Vickers Hardness (Hv)
Non pulsed
1000ms applied

(b)