(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0023111
(43) 공개일자 2019년03월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0103395
(22) 출원일자 2017년08월16일
심사청구일자 2017년08월16일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
이상원
부산광역시 금정구 중앙대로 1799 2002호
박찬희
경남 창원시 진해구 천자로 386 창원 마린푸르지오 1단지 117동 1002호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 4 항

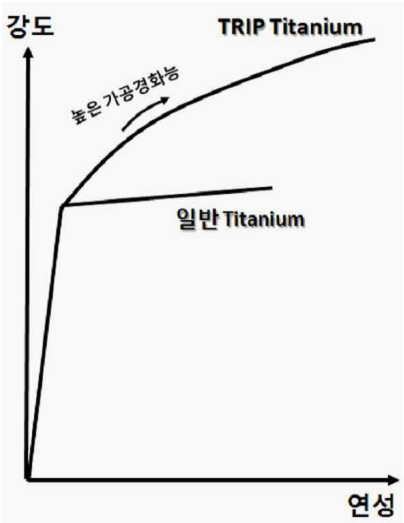
(54) 발명의 명칭 **변태유기소성을 이용하여 고강도 및 고성형성을 갖는 타이타늄 합금**

(57) 요 약

변태유기소성을 이용하여 고강도 및 고성형성을 갖는 타이타늄 합금에 대하여 개시한다.

본 발명에 따른 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 중량%로, Al : 3.5% 이상 내지 5.0% 이하, Fe : 1.5% 초과 내지 4.5% 미만, Si : 0.3% 이하, 및 O : 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물로 이루어지며, 미세조직이 α상, β상 및 마르텐사이트(martensite) 상을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

홍재근

경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79 114동 502호 (성주동,유니온빌리지아파트)

염종택

경상남도 김해시 번화1로 168 1002동 1202호 (삼문동,한림리츠빌아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PGM9220

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전략적핵심소재기술개발사업

연구과제명 융점 2,000℃이하 원소로 구성된 강도 1,400㎫ 연신율 12%이상 타이타늄 신소재 및 수송기기, 국방 산업용 응용기술 개발(2/5)

기 여 율 50/100

주관기관 한국기계연구원 부속 재료연구소

연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PNK5160

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 주요사업

연구과제명 에너지 플랜트용 금속소재 실용화 요소기술 개발(3/3)

기 여 율 50/100

주관기관 한국기계연구원 부속 재료연구소

연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, Al : 3.5% 이상 내지 5.0% 이하, Fe : 1.5% 초과 내지 4.5% 미만, Si : 0.3% 이하, 및 O : 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물로 이루어지며,

미세조직이 α상, β상 및 마르텐사이트(martensite) 상을 포함하는 것을 특징으로 하는 타이타늄 합금.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 α상은 부피%로 70% 이하인 것을 특징으로 하는 타이타늄 합금.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 α상은 부피%로 적어도 10%를 초과하는 것을 특징으로 하는 타이타늄 합금.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 타이타늄 합금은 20~35%의 연신율 및 1000~1500MPa의 인장강도를 갖는 것을 특징으로 하는 타이타늄 합금.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 타이타늄 합금에 관한 것으로, 보다 상세하게는 변형 중 TRIP(Transformation-Induced Plasticity) 현상에 의해 고강도 및 고성형성을 동시에 나타낼 수 있는 합금 조성 및 미세조직을 갖는 타이타늄 합금에 관한 것이다.

[0002]

배 경 기 술

[0003] 타이타늄 합금은 일반 탄소강, stainless, 특수 합금강 보다 강도 및 내식성이 높고 경량이며, 지구상에 채굴 가능한 금속 중에서 철, 알루미늄, 마그네슘 다음으로 풍부한 금속이다. 타이타늄 합금의 높은 비강도, 우수한 내식성, 생체친화성 등으로 인하여, 구조용재 및 기능재료로서 기존의 소재를 타이타늄으로 대체중에 있으며 항공, 우주, 해양, 스포츠, 의료 등의 다양한 산업 분야에 적용되고 있다.

[0004] 최근에는 초고강도 합금을 사용하여 자동차, 항공기 등 제품의 경량화를 이루기 위한 연구가 증가되고 있으며, 변태유기소성(transformation induced plasticity, TRIP) 현상을 이용한 합금이 제조되고 있다. 상기 변태유기소성(TRIP)을 이용한 합금은 오스테나이트를 형성한 후 냉각과정에서 냉각속도와 냉각종료 온도를 제어하여, 상온에서 일부 오스테나이트를 잔류시키고, 소성과정에서 잔류된 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하여 합금의 강도와 연성을 동시에 증가시키는 방법이다.

[0005] 예를 들어, 변태유기소성(TRIP) 현상을 이용한 타이타늄 합금은 Mo, Nb, Zr, Hf 등과 같은 고가의 원소를 포함하는 β계열의 합금으로, 고가의 원소의 함량이 10~30중량%이고, 고융점 원소에 의해 제조 공정이 어려운 문제

점이 있다.

[0006] 따라서, 기계적 특성이 우수하면서도 제조 비용이 저렴한 저가의 타이타늄 합금에 대한 연구가 필요한 실정이다.

[0007] 본 발명에 관련된 배경기술로는 대한민국 공개특허공보 제 10-2017-0003449호(2017.01.09. 공개)가 있으며, 상기 문헌에는 TiNi계 의료용 합금 및 그 제조 방법이 개시되어 있다.

[0008]

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 고강도 및 고성형성을 갖는 저가의 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 하나의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 중량%로, Al : 3.5% 이상 내지 5.0% 이하, Fe : 1.5% 초과 내지 4.5% 미만, Si : 0.3% 이하, 및 O : 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물로 이루어지며, 미세조직이 α상, β상 및 마르텐사이트(martensite) 상을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 α상은 부피%로 70% 이하일 수 있다.

[0012] 상기 α상은 부피%로 적어도 10%를 초과할 수 있다.

[0013] 상기 타이타늄 합금은 20~35%의 연신율 및 1000~1500MPa의 인장강도를 갖는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 특정 원소인 Al, Fe, Si, O 함량 범위에서 특정 온도의 열처리를 이용함으로써, 변형 중 변태유기소성(transformation induced plasticity, TRIP) 현상이 발생하여 고강도 및 고성형성을 동시에 나타낼 수 있다.

[0015] 본 발명에서는 열처리 후 남아있는 β상으로부터 변형 중 마르텐사이트의 변태가 일어나면서 가공 경화능이 상승하여 성형성과 강도가 우수한 효과가 있다. 또한, 저가 원소인 Fe, Al를 이용함으로써, 타이타늄 합금의 제조 비용을 절감하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명에 따른 TRIP 타이타늄 합금 및 일반적인 타이타늄 합금의 가공 경화능을 비교한 그래프이다.

도 2는 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량 범위(1.5% 및 4.5%)에서 연신율에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량 범위에서 연신율에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 Fe의 함량에 따른 연신율X인장강도를 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명에 따른 α상의 부피%에 따른 타이타늄 합금 및 Fe의 미세조직(SEM)을 나타낸 것이다.

도 6은 본 발명에 따른 변형률(인장 변형)%에 따른 타이타늄 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 것이다.

도 7 및 도 8은 Fe 2.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피% 별 인장곡선을 나타낸 그래프이다.

도 9는 Fe 2.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 0%일 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다.

도 10은 Fe 4.0%(왼쪽) 및 Fe 2.0%(오른쪽) 각각을 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 0% 초과 내지 70%

미만일 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다.

도 11은 Fe 4.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 70% 초과할 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0018] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기계적 특성이 우수한 타이타늄 합금에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 TRIP 타이타늄 합금 및 일반적인 타이타늄 합금의 가공 경화능을 비교한 그래프이다.

[0020] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 변태유기소성(TRIP) 타이타늄 합금은 변형 중 준안정화된 β상으로부터 마르텐사이트 상이 형성되어 연성과 강도가 상승하는 결과를 보여준다.

[0021] 상기 변태유기소성(TRIP)을 이용한 합금은 오스테나이트를 형성한 후 냉각과정에서 냉각속도와 냉각종료 온도를 제어하여, 상온에서 일부 오스테나이트를 잔류시키고, 소성과정에서 잔류된 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하여 합금의 강도와 연성을 동시에 증가시키는 방법이다.

[0022] 상기 변태유기소성(TRIP) 현상이 효과적으로 일어나기 위해서는 변형(인장시험) 전 마르텐사이트 상이 형성되기 위한 β상을 충분히 가지는 것이 바람직하다. β상의 안정화를 증가시키는 합금 원소(ex;Fe)의 함량이 많은 경우에는 변태유기소성(TRIP) 현상이 일어나지 않으며, 함량이 적은 경우에는 열처리 중에 β상으로부터 마르텐사이트가 형성되기 때문에 변태유기소성(TRIP) 현상이 일어나기에 충분하지 않다. 따라서, 초기에 합금의 조성이 중요하다.

[0023] 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 중량%로, Al : 3.5% 이상 내지 5.0% 이하, Fe : 1.5% 초과 내지 4.5% 미만, Si : 0.3% 이하, 및 O : 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물로 이루어지며, 미세조직이 α상, β상 및 마르텐사이트(martensite) 상을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] Al : 3.5% 이상 내지 5.0% 이하

[0025] 타이타늄 합금에서 Al은 산화 저항성이나 크립 특성을 향상시키기 위하여 첨가된다. 그러나, Al의 과다한 첨가는 타이타늄 합금의 연성이나 성형성을 감소시키는 요인이 된다.

[0026] 고용 강화를 위해, Al 함량이 3.5중량% 이상인 것이 바람직하며, 5.0%를 초과하는 경우 연신율이 저하되어 성형성이 저하되는 문제점이 있다.

[0027] Fe : 1.5% 초과 내지 4.5% 미만

[0028] 변태유기소성(TRIP) 현상에 의해 기계적 특성이 우수한 타이타늄 합금을 제조하기 위해서는, Fe의 함량을 1.5% 초과 내지 4.5% 미만으로 조절하는 것이 바람직하다.

[0029] Fe의 함량이 1.5% 이하일 때, 열처리 후에 100%의 마르텐사이트 또는 α상이 형성되기 때문에 변형 중 마르텐사이트가 변태될 여지가 없게 된다. 반대로, 철의 함량이 4.5% 이상일 때, β상의 상 안정성이 높아지면서 변형

중 마르텐사이트의 변태가 이루어지지 않게 된다.

[0030] 도 2 내지 도 4의 α상 부피%은 15~35%이며, 유사한 범위로 상 부피%을 구성하여 열처리한 후 인장시험을 실시하였다.

[0031] 도 2는 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량 범위(1.5% 및 4.5%)에서 연신율에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이고, 도 3은 본 발명의 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량 범위에서 연신율에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다.

[0032] 도 2 내지 도 4에서 α상 부피%는 JMatPro-8.0의 평형상 부피% 계산값이며, 다음과 같다.

[0033] 도2는 4.5Fe : α상 19%, 1.5Fe : α상 24%

[0034] 도3은 2.0Fe : α상 35%, 2.5Fe : α상 24%, 3.0Fe : α상 25%, 3.5Fe : α상 15%, 4.0Fe : α상 18%

[0035] 도4는 왼쪽(1.5Fe)부터 α상 부피%가 24%, 35%, 24%, 25%, 15%, 18%, 19%이다.

[0036] 도 2를 참조하면, 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량이 1.5% 및 4.5%인 경우 연신율이 15% 이하이고, 변태유기소성(TRIP) 현상이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다.

[0037] 반면, 도 3에서 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량이 2.0%~4.0%인 경우 연신율은 20~35%이고, 인장강도는 1000~1500MPa인 범위를 보여준다. 상기 연신율 및 인장강도는 열처리 후에 인장시험에 의한 결과값이며, 소성유기변태(TRIP)는 인장시험 중에 발생한다.

[0038] 도 4는 본 발명의 Fe의 함량에 따른 연신율X인장강도를 나타낸 그래프이다.

[0039] Fe의 함량이 1.5% 초과 내지 4.5% 미만을 만족할 때 연신율X인장강도의 값이 15000~43000MPa·%를 나타내며, 특히, Fe의 함량이 2.0% 내지 4.0%일 때 연신율X인장강도의 값이 30000~43000MPa·%를 나타낸다.

[0040] 따라서, 타이타늄 합금 내에 Fe의 함량을 1.5% 초과 내지 4.5% 미만으로 조절하는 것이 바람직하다.

[0041] Si : 0.3% 이하, 및 O : 0.3% 이하

[0042] 상기 Si 및 O는 고용 강화를 위해 첨가되는 것이 바람직하며, 각각의 함량이 0.3%를 초과하는 경우 연신율이 저하되어 성형성이 저하되는 문제점이 있다.

[0043] 본 발명에서 상 부피%은 β상의 상 안정성을 조절하는 중요한 변수이다. 도 5를 참조하면, α상이 많아질수록 α상에 있는 친β원소(β상과 친화적인 원소)인 Fe 원소가 잔류하는 β상으로 확산하기 때문에 철을 다량 함유한 β상의 상 안정성이 증가하게 된다. 즉, α상의 부피%가 많아지게 되면 β상의 상 안정성 증가로 인해 변태유기소성(TRIP) 현상이 일어나지 않을 수 있다.

[0044] 따라서, 본 발명에서는 상기 α상은 부피%로 70% 이하이고, 적어도 10%를 초과하는 것이 바람직하다.

[0045] 보다 구체적으로는, 상기 α상은 부피%로 10% 초과 내지 70% 이하이고, 나머지 기타 상의 총 부피%은 30% 이상 내지 90% 미만일 수 있다. 상기 나머지 기타 상은 β상, 비평형상(마르텐사이트 상, ω 상) 등을 가리킨다.

[0046] 상기 ω 상은 열처리 후에 흔히 생성되는 상이며, ω 상은 크기가 매우 작아 상분율 측정이 어려울 수 있다.

[0047] 도 6은 본 발명에 따른 변형률(인장 변형)%에 따른 타이타늄 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 것이다. 도 6은 변형 중에 마르텐사이트가 생성되는지 보여주는 자료로, 인장 변형률이 0%일 때 α상 및 β상으로만 구성되나, 인장 변형률이 2%일 때 미세 조직을 보면 변형 중에 선형 모양의 마르텐사이트 변태가 일어났음을 보여준다. 또한, 인장 변형률이 5~20%로 증가할수록 마르텐사이트 변태가 더욱 활발히 진행됨을 보여주며, 인장 파단(fractured) 시에는 β상 대부분이 마르텐사이트로 변태된 것을 보여준다.

[0048] 도 7 및 도 8은 Fe 2.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피% 별 인장곡선을 나타낸 그래프이다. 도 8을 참조하면, α상의 부피%가 0% 초과 내지 70% 이하를 만족할 때 파단 발생 없이 우수한 강도와 연신율을 나타내는 반면, 도 7에서 α상의 부피%가 상기 범위를 벗어나는 경우, 성형성이 낮거나 강도가 낮은 결과를 보여준다.

[0049] 상기 α상의 부피%는 JMAtPro-8의 평형상 부피% 계산값을 나타낸 것이다.

[0050] 도 9는 Fe 2.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 0%일 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다. 도 9를 참조하면, 너무 많은 양의 마르텐사이트가 생성되는 것을 확인할 수 있는데, 이 경우 타이타늄 합금의 기계적 성능이 저하될 수 있다. α상의 부피%가 0%일 때, beta-transus 온도 이상에서 수냉시키는데, 이때, 불안정한 β상에서 대부분의 마르텐사이트가 발생하고, 변형 중에 마르텐사이트가 일어날 β상이 적기 때문에 변태유기소성(TRIP) 현상이 일어나기 어려울 수 있다.

[0051] 도 10은 Fe 4.0%(왼쪽) 및 Fe 2.0%(오른쪽) 각각을 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 0% 초과 내지 70% 미만일 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다. 도 10의 왼쪽 사진(α상의 부피 2.4%)을 참조하면, 열처리 후 잔류하는 β상으로부터 변형 중 마르텐사이트의 변태가 일어나 고강도 및 고연성의 타이타늄 합금을 보여준다. 또한, 변형(인장 시험) 전에도 열처리 온도에 따라, 냉각 중에 적절한 양의 마르텐사이트가 생성됨을 확인할 수 있다.

[0052] 도 10의 오른쪽 사진(α상의 부피 54.2%)을 참조하면, α상의 생성은 β상의 Fe 함량과 더불어 β상의 상 안정성을 증가시키고 열처리 후에도 마르텐사이트의 생성을 억제한다.

[0053] 도 11은 Fe 4.0%를 포함하는 타이타늄 합금의 α상의 부피%가 70% 초과할 때, Electron backscattered diffraction (EBSD) 분석 결과이다.

[0054] 도 11을 참조하면, α상의 부피%가 70%를 초과함에 따라 β상의 상 안정성이 너무 높아져 변형 중에도 마르텐사이트의 변태가 일어나지 않은 것을 확인할 수 있다.

[0055] 전술한 바와 같이, α상의 부피%와 조성 범위에서는 냉각 중 마르텐사이트가 변태되지 않거나, 마르텐사이트가 생성되어도 소량 생성되는 것을 알 수 있다.

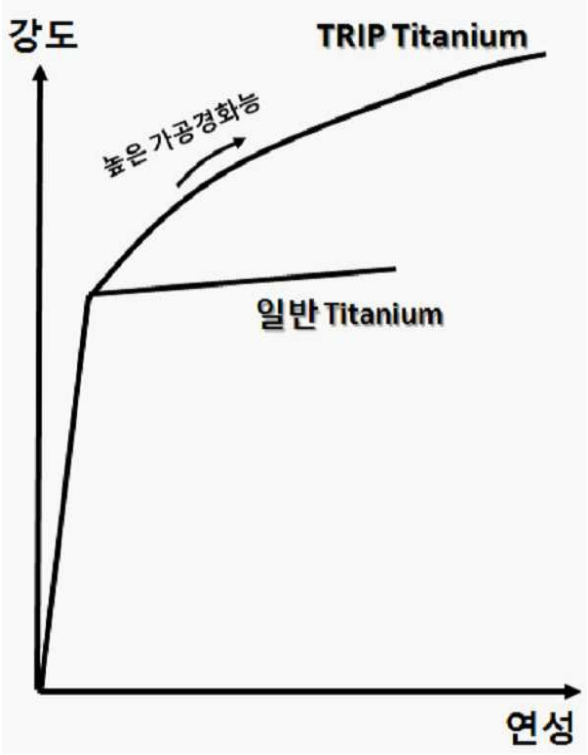
[0056] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 특정 원소인 Al, Fe, Si, O 함량 범위에서 특정 온도의 열처리를 이용함으로써, 변형 중 변태유기소성(transformation induced plasticity, TRIP) 현상이 발생하여 연신율 20~35% 및 인장강도 1000~1500MPa의 우수한 기계적 특성을 나타낼 수 있다.

[0057] 상기 연신율 및 인장강도는 열처리 후에 인장시험에 의한 결과값이며, 소성유기변태(TRIP)는 인장시험 중에 발생한다.

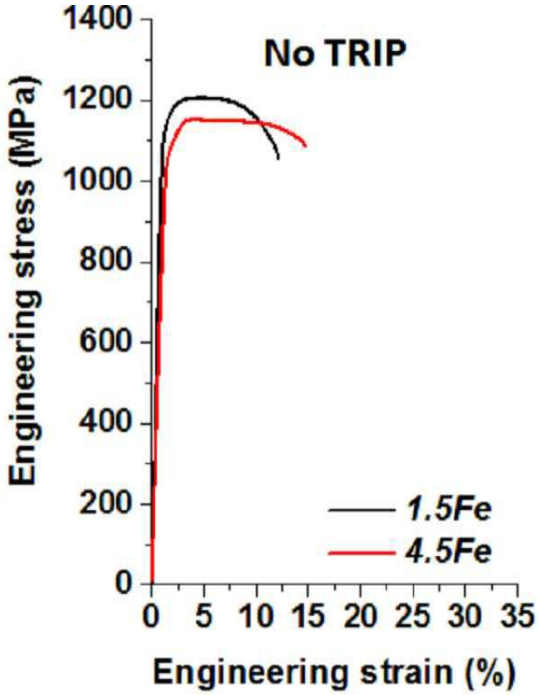
[0058] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

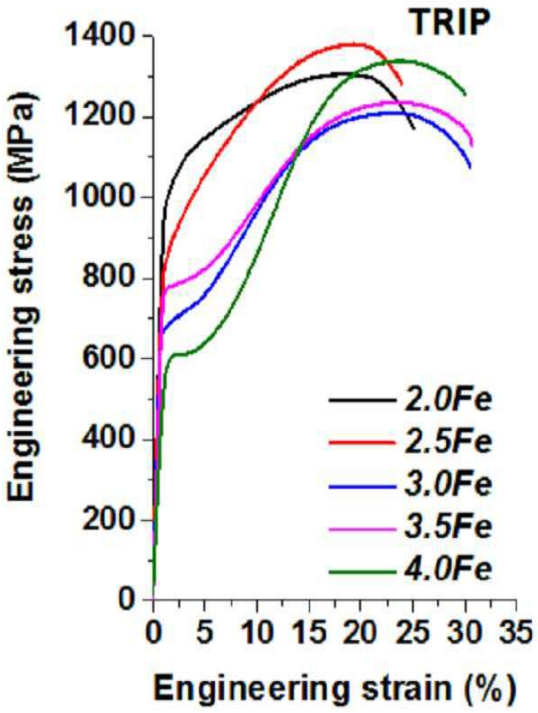
도면1


강도
TRIP Titanium
높은 가공경화능
일반 Titanium
연성

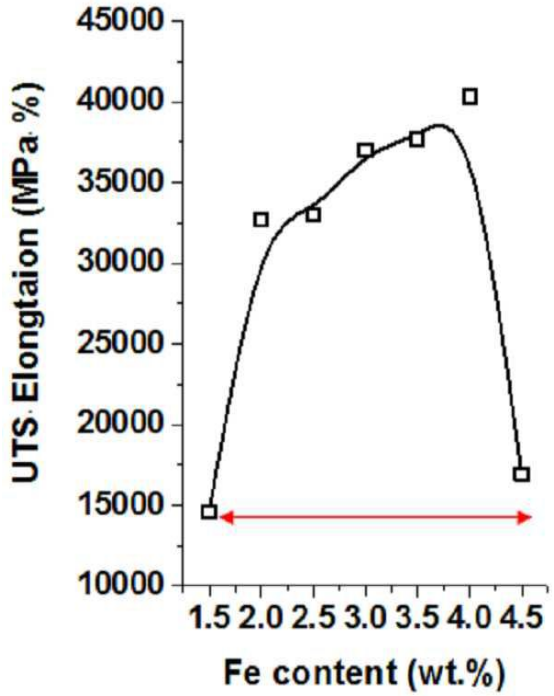
도면2


No TRIP
Engineering stress (MPa)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35
Engineering strain (%)
1.5Fe
4.5Fe

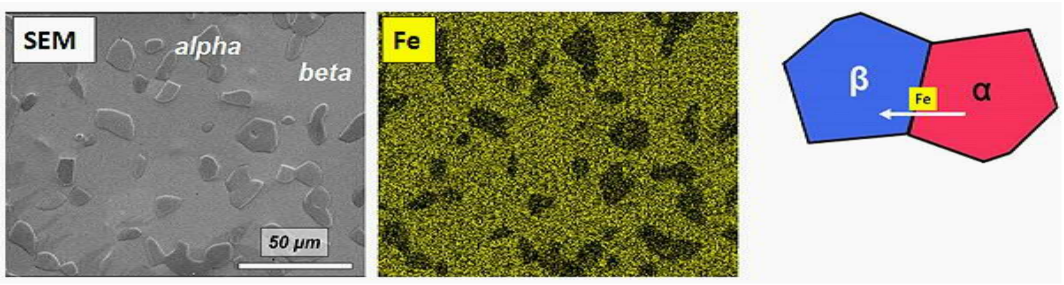
도면3


TRIP
Engineering stress (MPa)
Engineering strain (%)
2.0Fe
2.5Fe
3.0Fe
3.5Fe
4.0Fe
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0 5 10 15 20 25 30 35

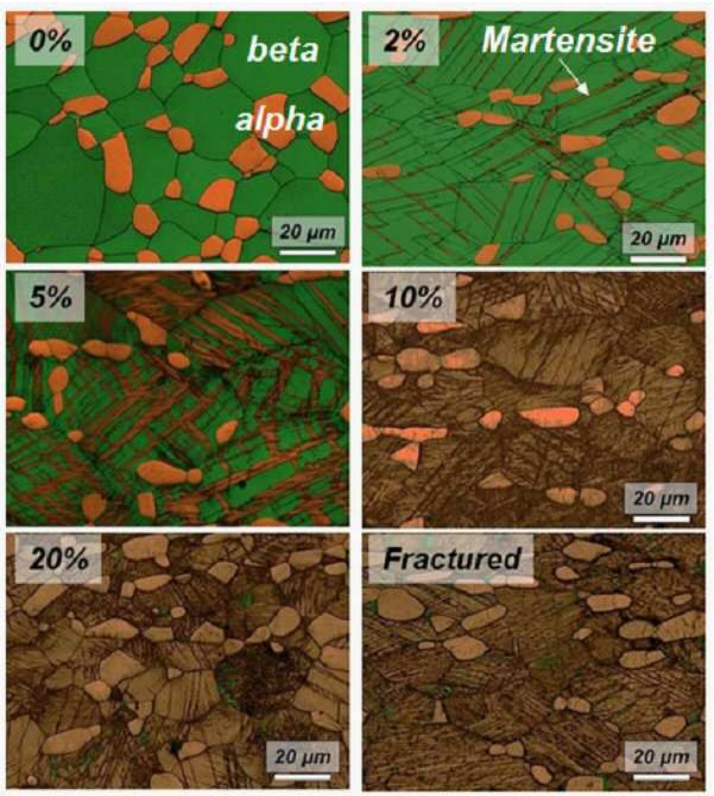
도면4


UTS·Elongtaion (MPa·%)
Fe content (wt.%)
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000
1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5

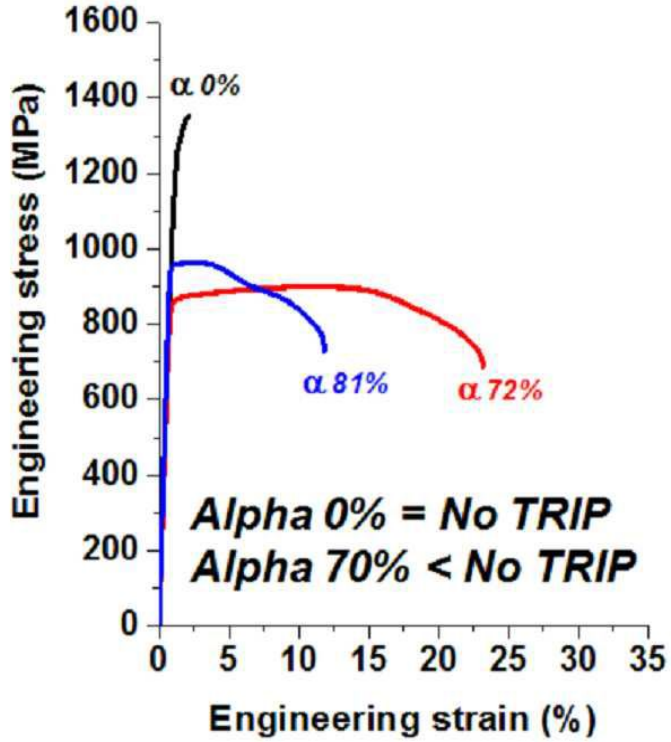
도면5


SEM
alpha
beta
50 μm
Fe
β
Fe
α

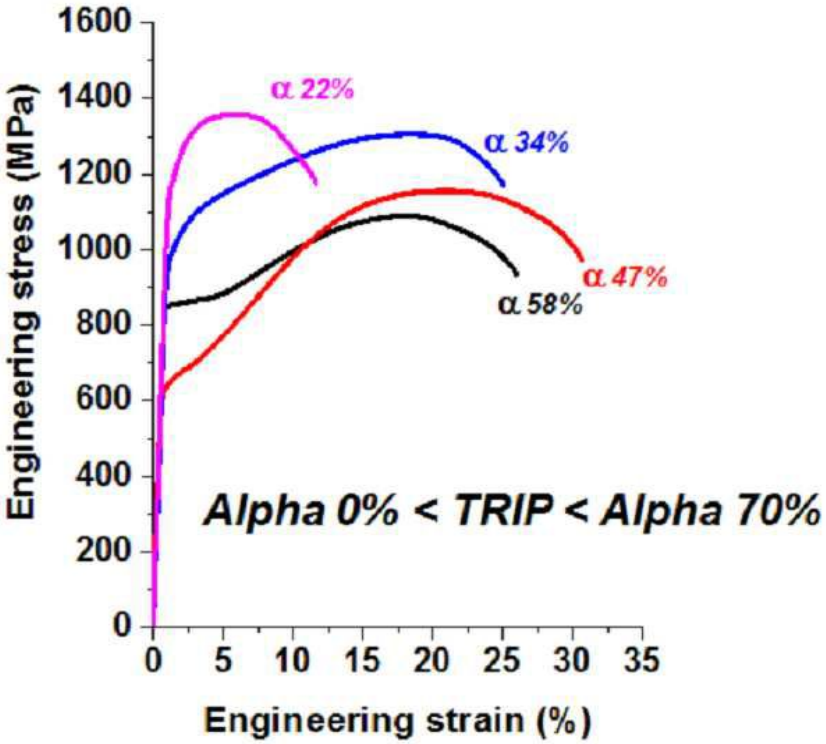
도면6


0%
beta
alpha
20 μm
2%
Martensite
20 μm
5%
10%
20 μm
20%
20 μm
Fractured
20 μm

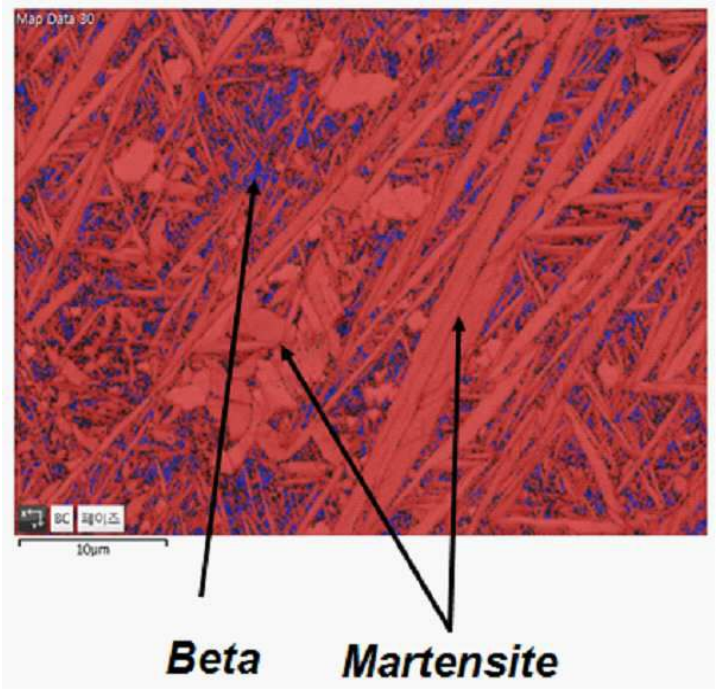
도면7


Engineering stress (MPa)
Engineering strain (%)
α 0%
α 81%
α 72%
Alpha 0% = No TRIP
Alpha 70% < No TRIP

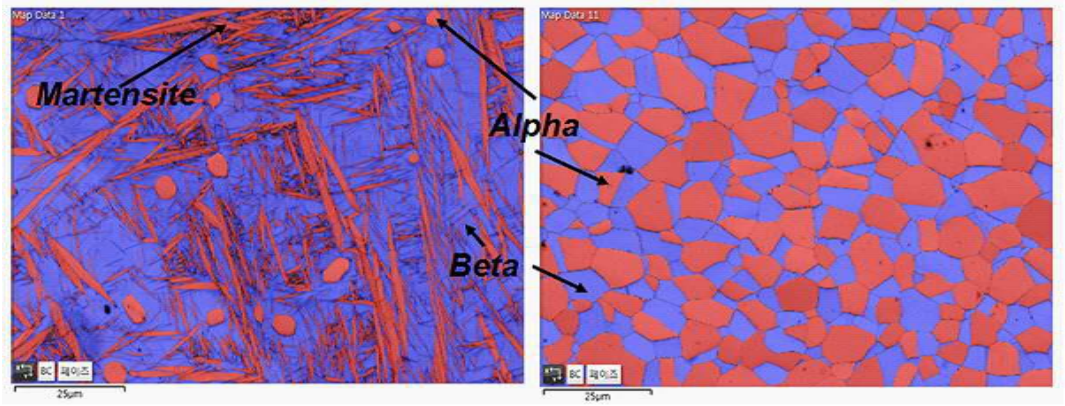
도면8


Engineering stress (MPa)
Engineering strain (%)
α 22%
α 34%
α 47%
α 58%
Alpha 0% < TRIP < Alpha 70%

도면9


Map Data 30
BC
페이즈
10μm
Beta
Martensite

도면10


Map Data 1
Martensite
Alpha
Beta
BC
페이즈
25μm
Map Data 11
BC
페이즈
25μm

도면11

