(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0018663
(43) 공개일자 2021년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C21D 2211/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0096522
(22) 출원일자 2019년08월08일
심사청구일자 2019년08월08일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
이상원
부산광역시 금정구 중앙대로 1799
박찬희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18 (상남동, 상남꿈에그린)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

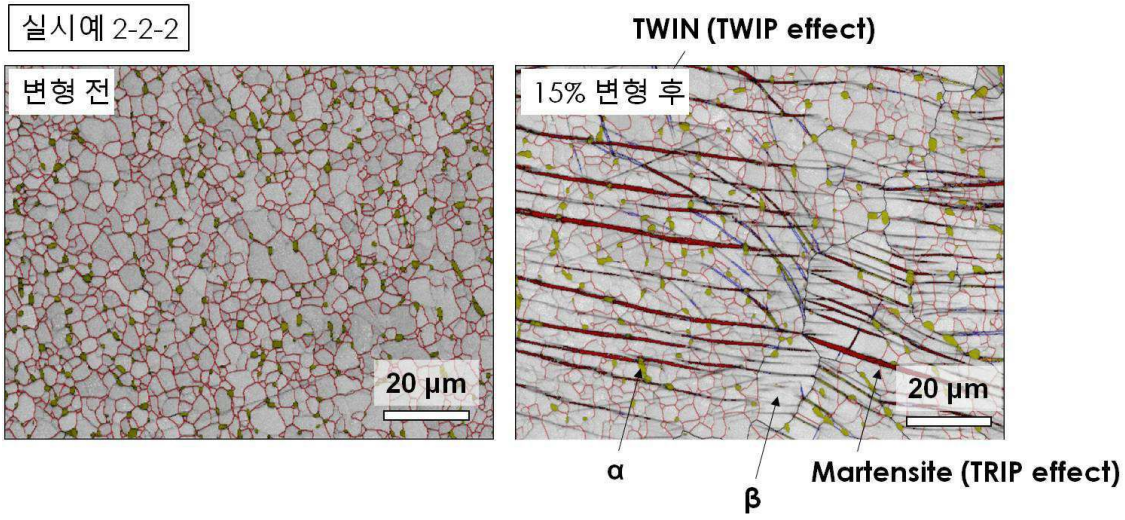
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **고강도 고성형성 베타 타이타늄 합금**

(57) 요 약

본 발명은 고강도와 고성형성을 가지면서 제조 단가가 낮은 베타 타이타늄 합금과 상기 타이타늄 합금의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금은, 중량 %로, Ti-(1%≤Mo<4%)-(1%≤Fe<3%)-(1%≤Cr<4%)-(0%<Al≤4%)를 포함하며, Mo 당량이 12.0 이상인 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도8



(72) 발명자

염종택

경상남도 김해시 번화1로 168 (삼문동, 젤미마을10단지한림리츠빌)

홍재근

경남 창원시 성산구 성주동 유니온빌리지아파트

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	PNK6230
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	재료연구소 운영비지원사업
연구과제명	발전 터빈용 타이타늄합금 최후단 블레이드 상용화기술 개발(B)(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국기계연구원 부설재료연구소
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량 %로, Ti-(1%≤Mo<4%)-(1%≤Fe<3%)-(1%≤Cr<4%)-(0%<Al≤4%)를 포함하며,

Mo 당량이 12.0 이상인,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 합금은 중량 %로 0≤0.2% 를 포함하는,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 합금은 변형 전 미세조직이 베타상 기지 내에 알파상을 포함하는,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 베타 기지의 결정립 평균 크기는 200㎛ 이내인,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 합금은 변형 후 미세조직이 베타상 기지와 알파상과 함께 트윈 및 마르텐사이트를 포함하는,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 합금의 인장강도는 850 MPa 이상인,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 합금은 15% 이상의 연신율과,

인장강도(MPa)와 연신율(%)의 곱이 15,000 이상인,

강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 높은 강도와 우수한 성형성을 동시에 가지면서 제조 비용이 낮은 타이타늄 합금에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 타이타늄(Ti, titanium) 합금은 낮은 밀도와 높은 강도, 우수한 비강도(specific strength) 및 생체 적합성(biocompatibility)을 가지므로 많은 산업분야에 이용되고 있다.

[0003] 현재 많이 사용되는 타이타늄 합금은 순수한(또는 상업적으로 순수한) 상태의 CP(commercially pure) 타이타늄, 고온 베타(beta)상과 저온 알파(alpha) 상이 공존하는 알파+베타 타이타늄 합금, 그리고 베타 안정화 원소를 많이 포함한 베타 타이타늄 합금 등으로 구분된다.

[0004] 상기 타이타늄 합금들 가운데 베타 타이타늄 합금은 항공기용 랜딩 기어와 같은 높은 강도를 요구하는 구조용 재료 분야에 많이 사용되고 있다.

[0005] 최근 들어 고강도뿐만 아니라 고성형성 특성이 동시에 구현될 수 있는 베타 타이타늄 합금에 대한 수요가 증대되어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0006] 그 중에서도 변형 중에 쌍정이 발생하여 강도와 가공성을 높이는 TWIP(twining induced plasticity, 쌍정유기변태) 현상과 변형 중에 고온상이 마르텐사이트로 변태되는 TRIP(transformation induced plasticity, 변태유기소성)를 동시에 발생시키는 변형 기구(mechanism)를 베타 타이타늄 합금에 활용하려는 시도가 활발히 진행되고 있다.

[0007] 상기의 TWIP과 TRIP 효과가 베타 타이타늄 합금에 적용 가능하면, 베타 타이타늄 합금의 고강도와 고성형성이 동시에 구현될 수 있기 때문이다.

[0008] 몰리브덴(Mo, molybdenum)은 베타 타이타늄 합금에 있어서 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 달성할 수 있는 핵심 원소로 알려져 왔다. 따라서 종래의 베타 타이타늄 합금은 대부분 Mo를 8~15 중량 %(이하 'wt. %' 또는 '%'라 한다) 이상 첨가하여 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현하고자 하였다.

[0009] 그런데 상기 Mo는 기지인 타이타늄보다 융점이 매우 높아서 균일한 미세조직을 가지는 잉곳(ingot) 제조가 어렵다는 문제가 있다. 더 나아가 상기 Mo는 주조 또는 용해 시 편석(segregation)을 발생시켜 거시적(macroscopic) 및 미시적(microscopic)으로 불균일한 미세조직을 만드는 문제가 있다.

[0010] Mo 첨가 베타 타이타늄 합금의 상기 편석 및 불균일한 미세조직 문제는 결국 후속 공정(예를 들면 TMP(thermal mechanical process)나 균질화 열처리)을 통해 해결해야 하고, 이는 다시 생산성 및 경제성 문제를 유발한다. 더 나아가 상기 Mo는 타이타늄 합금에 첨가되는 다른 합금 원소들 대비 고가의 원소이므로 타이타늄 합금의 경제성을 떨어뜨리는 문제가 있다.

[0011] 따라서 Mo 첨가량을 줄이면서도 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 확보할 수 있는 베타 타이타늄 합금에 대한 개발 요구가 증대되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 이에 따라 고가의 Mo를 대체하면서 동시에 비용이 낮은 새로운 베타 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

[0013] 구체적으로 본 발명의 목적은 Mo는 기존 베타 타이타늄 합금보다 획기적으로 적게 포함하면서 상기 TWIP과 TRIP

효과를 동시에 구현할 수 있는 새로운 베타 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

[0014] 보다 구체적으로 본 발명은 기존 베타 타이타늄 대비 편석이 없고 균일한 미세조직을 가지면서 고강도와 고성형성 특성이 구현 가능한 경제성이 우수한 새로운 베타 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

[0015] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금은, 중량 %로, Ti-(1%≤Mo<4%)-(1%≤Fe<3%)-(1%≤Cr<4%)-(0%<Al≤4%)를 포함하며, Mo 당량이 12.0 이상인, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

[0017] 바람직하게는 상기 합금은 중량 %로 0≤0.2% 를 포함하는, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄이다

[0018] 바람직하게는 상기 합금은 변형 전 미세조직이 베타상 기지 내에 알파상을 포함하는, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

[0019] 특히, 상기 베타 기지의 결정립 평균 크기는 200 ㎛ 이내인, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

[0020] 바람직하게는 상기 합금은 변형 후 미세조직이 베타상 기지와 알파상과 함께 트윈 및 마르텐사이트를 포함하는, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

[0021] 바람직하게는 상기 합금의 인장강도는 850 MPa 이상인, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

[0022] 이 때 상기 합금은 15% 이상의 연신율과, 인장강도(MPa)와 연신율(%)의 곱이 15,000 MPa·%이상인, 강도와 성형성이 우수한 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금이다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 의하면 고가의 Mo을 대체하면서 기존의 Mo 첨가량이 높은(8% 이상의 Mo) 베타 타이타늄 합금보다 동등 이상의 기계적 특성을 확보할 수 있는 새로운 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금을 제공할 수 있는 장점이 있다.

[0024] 특히 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금은 알파상을 일부 포함함으로써 베타상의 안정성을 높여 적은 Mo 첨가량에도 TWIP 및 TRIP 현상을 발생시켜 높은 인장강도 특성과 함께 우수한 연신율을 동시에 확보할 수 있는 장점이 있다.

[0025] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금을 제조하는 방법을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들의 Mo 조성범위에 따른 인장강도(UTS, ultimate tensile strength, MPa)와 연신율(%)의 곱을 도시한 것이다.

도 3은 본 발명의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들에서 용체화 처리 및 급냉 후의 베타상에서의 Mo 당량 값에 따른 인장강도(UTS, ultimate tensile strength, MPa)와 연신율(%)의 곱을 도시한 것이다.

도 4는 본 발명의 비교예인 2-1-2 베타 타이타늄 합금의 용체화 처리 후 급냉된 미세조직을 나타낸다.

도 5는 본 발명의 비교예인 2-2-1 베타 타이타늄 합금의 용체화 처리 후 급냉된 미세조직 사진이다.

도 6은 본 발명의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들의 알파상 분율에 따른 인장강도(UTS, ultimate

tensile strength, MPa) 값을 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 실시예 2-5-1 베타 타이타늄 합금의 변형 전(용체화 처리 후 급냉된)과 2% 변형된 미세조직 사진이다.

도 8은 본 발명의 실시예 2-2-2 베타 타이타늄 합금의 변형 전(용체화 처리 후 급냉된)과 15% 변형된 미세조직 사진이다.

도 9는 본 발명의 모든 실시예 및 비교예의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금들의 인장강도와 연신율을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0028] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다. 또한, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가질 수 있다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.

[0029] 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질, 차례, 순서 또는 개수 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 다른 구성 요소가 "개재"되거나, 각 구성 요소가 다른 구성 요소를 통해 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0031] 타이타늄은 체심입방격자(body centered cublic, BCC) 구조를 가지는 고온의 베타상과 육방체밀격자(hexagonal closed packed, HCP) 구조를 가지는 저온의 알파상을 두 가지 결정구조를 가지는 동소변태(polymorphous) 원소이다.

[0032] 상기 타이타늄에 전이금속이 첨가되면, 상기 타이타늄의 고온 베타상이 안정해지는 영역이 넓어지게 된다. 다시 말하면 고온 베타상이 저온 알파상으로 상변태되는 온도인 베타 트랜서스(beta transus) 온도가 감소하게 된다.

[0033] 이 때 각 첨가되는 합금원소에 따라 베타상이 안정화되는 정도가 달라지는데, Mo(molybdenum)을 기준으로 각 합금원소 별로 베타상 안정화 정도를 나타낸 것을 다음과 같은 Mo 당량(Mo equivalency)이라 한다.

[0035] $[Mo]_{eq}$ = [Mo] + 0.67 [V] + 0.44 [W] + 0.28 [Nb] + 0.22 [Ta] + 2.9 [Fe] + 1.6 [Cr] + 1.25 [Ni] + 1.7 [Mn] + 1.7 [Co] - 1.0 [Al]

[0037] 상기 Mo 당량 값은 타이타늄 합금의 성분 및 조성 범위에 의해 결정되지만, 다양한 합금 원소들 및 각 성분들의 조성범위들을 하나의 파라미터로 normalize 시킨 값이다. 따라서 상기 Mo 당량 값은 타이타늄 합금의 상안정성, 변형 메커니즘 및 기계적 물성을 결정할 수 있는 파라미터 값이 될 수 있다.

[0038] 한편 Al은 타이타늄 합금에서 저온 알파상을 안정화시키는 대표적인 합금 원소이다.

[0039] 따라서 상기 Mo 당량을 계산할 때, Al은 다른 베타 안정화 원소 값과는 달리 음(negative)의 값을 가지는 것으로 계산된다.

[0040] 반면 대부분의 전이 금속은 타이타늄 합금에서 고온 베타상을 안정화시키는 합금원소이다.

[0041] 따라서 상기 Mo 당량을 계산할 때, 전이금속들은 Al과는 달리 양(positive)의 값을 가지는 것으로 계산된다.

[0043] 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현하기 위한 종래의 베타 타이타늄 합금은 Mo를 최소 8~15% 이상 포함하고 동시에 Al 등과 같은 알파 안정화 원소는 거의 포함하지 아니한다. 따라서 상기 Mo 당량에서 계산되는 바와 같이 종래의 베타 타이타늄 합금은 Mo 당량이 최소 12 이상 바람직하게는 거의 15 이상 매우 높은 양의 값을 가진다.

[0045] 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 기존의 높은 Mo(이하 high Mo) 베타 타이타늄 합금보다 Mo 함량을 대폭적으로 줄인 것을 조성 측면에서 하나의 기술적 특징으로 한다.

[0046] 나아가 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현하기 위해 상기 Mo을 다른 합금 원소들로 치환한 것을 조성 측면에서 다른 하나의 기술적 특징으로 한다.

[0047] 더 나아가 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 고강도화를 위해 베타 타이타늄 합금에서 오히려 알파 안정화 원소인 Al 등을 포함하는 것을 조성 측면에서 또 다른 하나의 기술적 특징으로 한다.

[0049] 이하 본 발명의 베타 타이타늄 합금의 성분 및 조성 범위에 대한 기술적 특징을 살펴보기로 한다.

[0050] 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 Al을 필수 성분으로 포함한다.

[0051] 본 발명에서 Al을 첨가하는 이유는 다음과 같다.

[0052] 일반적으로 타이타늄 합금은 침입형 산소에 의한 강화, 고용 강화, 석출 강화 및 전위 밀도 또는 결정립 미세화 강화 메커니즘에 의해 강화된다.

[0053] 상기 강화 메커니즘 가운데 침입형 산소에 의한 강화는 취성을 유발시킬 수 있기 때문에 바람직하지 못하다.

[0054] 반면 알루미늄은 타이타늄 합금에서 가장 대표적인 고용 강화 원소이다.

[0055] 알루미늄이 타이타늄에 첨가되면, 알루미늄은 주로 알파상에 고용되어 알파상을 강화시킨다. 또한 알루미늄은 타이타늄 합금에서 산화 저항성과 크립 저항성도 높일 수 있다.

[0056] 만일 Al의 첨가량이 4%보다 많으면 베타 타이타늄 합금의 성형성이 저하되고 더 나아가 과도한 Al의 첨가는 Ti_3Al 상 형성을 조장할 수 있는 문제가 있다.

[0057] 또한 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 Mo를 필수 성분으로 포함한다.

[0058] Mo는 본 발명의 베타 타이타늄 합금이 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현할 수 있는 원소이다.

[0059] 이를 위해 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 Mo를 1% 이상 4% 미만 첨가하는 것을 기술적 특징으로 한다.

[0060] 만일 Mo의 첨가량이 1%보다 적으면, 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현할 수 없어 베타 타이타늄 합금의 우수한 기계적 물성 확보가 어려워 진다.

[0061] 반면 Mo의 첨가량이 4% 이상이면, 주조성이 저하되어 잉곳 제조가 어렵고 Mo의 편석 문제가 발생한다. 더 나아가 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 Mo 이외에도 다른 베타 안정화 원소가 포함된다. 따라서 Mo 이외의 다른 베타 안정화 원소와 함께 Mo가 4% 이상 첨가되면, 본 발명의 베타 타이타늄 합금의 베타 안정성이 너무 높아져서 베타 타이타늄 합금의 변형 시 TWIP과 TRIP이 발생하지 않고 슬립(slip)만이 일어나게 되어 그로 인해 본 발명의 베타 타이타늄 합금의 강도 및 성형성이 저하되는 문제가 있다.

[0062] 또한 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 Mo 이외에도 Cr과 Fe를 필수 성분으로 포함한다.

[0063] 상기 Cr과 Fe는 모두 Mo를 대체하며 본 발명의 베타 타이타늄 합금이 변형될 때 TWIP과 TRIP이 동시에 발생할 수 있게 하는 첨가 원소이다.

[0064] 상기 Cr과 Fe의 각각의 첨가량이 1%보다 적으면, 상기 TWIP과 TRIP 효과를 동시에 구현할 수 없어 베타 타이타늄 합금의 우수한 기계적 물성 확보가 어려워 진다.

[0065] 반면 Cr의 첨가량이 4% 초과이거나 Fe의 첨가량이 3% 초과이면, 용해 중 조성 편석 문제를 유발하여 주조성이 저하되어 잉곳 제조가 어렵게 되는 문제가 발생한다.

[0066] 한편 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 O(산소)를 포함한다.

[0067] 산소는 일반적으로 순수한 타이타늄(commercially pure) 및 모든 타이타늄 합금에서 피할 수 없게 포함되는 일종의 불순물로 간주될 수 있는 원소이다.

[0068] 산소가 타이타늄 또는 타이타늄 합금에 포함되면, 타이타늄 또는 타이타늄 합금에서는 산소에 의한 침입형 강화 효과로 인해 강도가 증가한다.

[0069] 다만 산소가 과도하게 첨가되면 타이타늄 또는 타이타늄 합금의 성형성이 저하된다. 따라서 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 최대 0.2% 이하의 산소를 포함한다.

[0070] 본 발명의 베타 타이타늄 합금은 상기의 조성적 특징을 바탕으로 하여 중량 %로, Ti-(1%≤Mo<4%)-(1%≤Fe<3%)-(1%≤Cr<4%)-(0%<Al≤4%)의 성분 및 조성 범위를 가진다.

[0072] 한편 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금은 다양한 제조 방법에 의해 제조 가능하다. 다만 통상적인 타이타늄 합금과 유사하게 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금의 기계적 특성 역시 미세조직에 의해 영향을 받는다.

[0074] 도 1은 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금을 제조하는 방법을 나타내는 도면이다.

[0075] 도 1에서 도시하는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 방법은 먼저 주조 조직(as-cast) 조직을 깨뜨리기 위한 열간 단조(hot forging) 공정을 수행한다.

[0076] 상기 단조 공정은 고온 베타상 단상 영역이 나타나는 최저 온도인 베타 트랜서스(beta transus) 온도를 기준으로 베타 단상 영역에서 단조를 수행하는 베타 단조와 베타 트랜서스 온도 이하의 알파+베타 이상 영역에서 단조를 수행하는 알파+베타 단조 공정을 포함한다. 다만 열간 단조라는 용어에서 의미하는 바와 같이 알파+베타 단조에서도 단조 온도는 재결정 온도 이상이어야 한다.

[0077] 본 발명에서의 베타 단조는 베타 트랜서스 온도보다 50~100℃ 높은 온도에서 수행되는 것이 바람직하다.

[0078] 만일 베타 트랜서스 온도 근처에서 수행되는 경우, 베타 단상 영역을 담보할 수 없다. 반면 베타 트랜서스 온도 이상에서 수행되면 지나치게 높은 온도로 인해 결정립 성장이 지나치게 조장되어 최종 합금의 기계적 특성 모두가 저하되는 문제가 있다.

[0079] 본 발명에서의 알파+베타 단조는 베타 트랜서스 온도보다 30~50℃ 낮은 온도에서 수행되는 것이 바람직하다.

[0080] 만일 베타 트랜서스 온도 근처에서 수행되는 경우, 알파+베타 이상 영역을 담보할 수 없다. 반면 베타 트랜서스 온도보다 지나치게 낮은 온도에서 수행되면 단조 중에 재결정이 발생하지 아니하는 문제가 있다.

[0081] 한편 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 방법에서의 열간 단조 공정에서는 업셋(upset) 단조 및/또는 사이드 단조 등의 모든 단조 공법이 적용 가능하다.

[0082] 본 발명에서의 상기 열간 단조 공정 이후에는 용체화 처리 공정이 진행된다.

[0083] 용체화 처리 공정은 용어 그대로 열간 단조된 베타 기지 또는 알파+베타 기지의 합금을 높은 온도에서 가열하는 공정이다.

[0084] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 용체화 처리는 알파+베타 이상 영역의 온도 범위에서 진행되는 것이 바람직하다. 상기 알파+베타 이상 영역에서의 용체화 처리는 베타 단상 영역의 용체화 처리 대비 결정립 성장을 억제하는데 효과적이기 때문이다. 더 나아가 본 발명에서의 알파+베타 이상 영역의 용체화 처리는 알파상 안정화 합금 원소와 베타 안정화 합금 원소를 각각 알파상과 베타상에 농축(enrichment)시켜 적은 Mo 함량에도 변형 시 TWIP과 TRIP 발생을 조장할 수 있기 때문이다.

[0085] 다만 본 발명에서의 용체화 처리가 반드시 알파+베타 이상 영역으로 한정되지는 않는다. 만일 결정립 성장을 억제할 수 있고, 더 나아가 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금의 조성 범위 가운데 베타 안정화 원소가

많이 첨가되는 조건에서는 베타 영역에서의 용체화 처리도 적용될 수 있다.

[0086] 본 발명의 일 실시예에서의 상기 용체화 처리 공정은 베타 트랜서스 온도보다 20~90℃ 낮은 것이 바람직하다.

[0087] 만일 상기 용체화 처리 온도가 상한 값보다 높으면 지나치게 높은 용체화 처리 온도로 인해 알파+베타 영역에서의 열간 단조에서 생성된 알파상이 거의 모두 제거되는 문제가 있다.

[0088] 나아가 지나치게 높은 용체화 처리 온도로 인해 결정립 성장이 일어날 수 있는 문제가 있다.

[0089] 더 나아가 지나치게 높은 용체화 처리 온도는 베타 안정화 원소의 베타 상으로의 농축을 충분하게 담보하지 못하여 냉각 중 베타상이 마르텐사이트로 변태됨으로써 TWIP 및 TRIP 현상이 일어나지 못하게 되는 문제가 있다.

[0090] 반면 용체화 처리 온도가 하한 값보다 낮으면, 베타상의 분율이 감소하고 더 나아가 베타상에 베타 안정화 원소가 지나치게 농축되어 변형 시 TWIP과 TRIP이 발생하지 않고 슬립(slip)만이 일어나게 되어 기계적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0091] 본 발명에서의 상기 용체화 처리 공정 이후에는 급냉 공정이 진행된다.

[0092] 상기 용체화 처리 후의 급냉 공정은 용체화 처리 공정 시의 미세조직, 보다 구체적으로는 고온 베타상을 상온에서도 그대로 유지하기 위한 공정이다. 상기 급냉을 통해 상온까지 유지된 베타상이 후속 변형 시 TWIP 및 TRIP 효과를 발생시킴으로써, 본 발명의 베타 타이타늄 합금의 고강도 및 고성형성이 확보될 수 있다.

[0094] 이하 다음과 같은 실험예들을 통해 본 발명의 일 실시예에 따른 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금을 보다 구체적으로 살펴보고자 한다.

[0096] <실험예>

[0097] 표 1은 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 베타 타이타늄 합금의 실시예 및 비교예에 해당하는 성분 및 조성 범위들을 정리한 표이다.

[0098] <표 1>

[0099]

	Ti (wt.%)	Mo (wt.%)	Fe (wt.%)	Cr (wt.%)	Al (wt.%)	O (wt.%)
1-1	Bal.	0	2	4	1	0.15
1-2	Bal.	1	3	3	0	0.15
1-3	Bal.	4	2	4	4	0.15
2-1-1	Bal.	1	2	1	1	0.15
2-1-2						
2-2-1	Bal.	3	2	3	2	0.15
2-2-2						
2-2-3						
2-2-4						
2-3-1	Bal.	1	2	3	1	0.15
2-3-2						
2-3-3						
2-3-4						
2-4-1	Bal.	2	2	2	4	0.15
2-4-2						
2-4-3						
2-4-4						
2-4-5						
2-5-1	Bal.	3	1	4	0	0.15

[0100] 상기 표 1에서의 조성 1-1 내지 1-3은 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금의 비교예의 조성에 해당된다. 반면 상기 표 1에서의 조성 2-1-1 내지 2-5-1은 모두 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금의 실시예의 조성에 해당된다.

[0101] 표 2는 상기 표 1에서의 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al계 타이타늄 합금의 실시예와 비교예의 기계적 특성과 열처리 조건, 그리고 그에 따른 알파상의 분율과 베타상에서의 Mo 당량을 정리한 표이다.

[0102] <표 2>

	YS (MPa)	UTS (MPa)	ductility (%)	UTS x ductility (MPa x%)	α Volume (%)	Mo eq. (β) (wt.%)	Beta Transus T	Solution T
1-1	897	946	0.97	918	6.12	12.8	820	800
1-2	715	869	10.39	9964	21.85	18.4	780	740
1-3	794	946	11.15	10548	8.52	13.7	840	820
2-1-1	405	840	6.8	5712	0	7.4	850	880
2-1-2	442	1065	10.5	11183	17.04	9.2	850	830
2-2-1	564	764	41	31324	0	11.6	820	840
2-2-2	719	913	50.1	45741	3.38	12.1	820	820
2-2-3	788	880	22.6	19888	11.26	13.3	820	800
2-2-4	867	956	18.4	17590	19.23	14.8	820	780
2-3-1	955	955	0.79	754	0	10.6	820	840
2-3-2	818	818	0.73	597	3.90	11.1	830	820
2-3-3	1019	1048	25.83	27070	13.51	12.4	820	800
2-3-4	904	1035	37.86	39185	23.12	14.0	820	780
2-4-1	474	1092	13.2	14414	26.02	10.9	900	840
2-4-2	801	1060	23.8	25228	33.71	12.6	900	820
2-4-3	898	1022	22.8	23302	40.46	14.4	900	800
2-4-4	880	935	19.6	18326	46.27	16.3	900	780
2-4-5	925	970	30.1	29197	51.26	18.3	900	760
2-5-1	708	901	40.3	36310	2.45	12.3	780	770

[0103]

[0104] 상기 표 1의 비교예 1-1의 Mo를 포함하지 않은 타이타늄 합금은 TWIP 및 TRIP 현상이 일어나지 않아 연성이 현저하게 낮은 특성을 보인다. 또한 Al을 포함하지 않는 상기 표 1의 비교예 1-2와 Mo를 4% 포함한 상기 표1의 비교예 1-3도 강도 및/또는 연신율이 낮은 특성을 보인다.

[0105] 도 2는 본 발명의 표 1 및 표 2의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들의 Mo 조성범위에 따른 인장강도(UTS, ultimate tensile strength, MPa)와 연신율(%)의 곱을 도시한 것이다.

[0106] 도 2에서 도시하는 바와 같이, Mo의 조성범위가 1% 이상 4% 미만의 조성범위를 가지는 베타 타이타늄 합금은 인장강도*연신율 값이 매우 높음을 알 수 있다. 다만 1-2의 비교예에 해당하는 베타 타이타늄 합금은 Al을 포함하지 않아서 본 발명의 실시예에 해당하는 베타 타이타늄 합금 대비 낮은 인장강도*연신율 값을 가진다.

[0108] 도 3은 본 발명의 표 1 및 표 2의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들에서 용체화 처리 및 급냉 후의 베타상에서의 Mo 당량 값에 따른 인장강도(UTS, ultimate tensile strength, MPa)와 연신율(%)의 곱을 도시한 것이다.

[0109] 일반적으로 Mo 당량 값은 타이타늄 합금의 상안정성과 변형메커니즘 및 기계적 물성을 결정하는 값으로 알려져 있다.

[0110] 특히 본 발명이 속하는 베타 타이타늄 합금은 TWIP 및 TRIP 효과를 발생시켜서 기계적 특성 및 가공성의 향상을 도모한다. 이때 상기 TWIP 및 TRIP 효과는 베타상에서 가공 중에 발생한다. 따라서 본 발명의 베타 타이타늄 합금에서는 최종 미세조직에서의 베타상의 조성이 상기 TWIP 및 TRIP 효과의 발생을 결정하는 중요 인자이다. 상기 최종 미세조직에서의 베타상의 조성은 합금 전체의 조성(또는 nominal 조성)뿐만 아니라 열간 단조 및 용체화 처리 조건에 따라 결정된다. 예를 들면 표 2에서의 2-2-2 내지 2-2-4, 2-3-3 내지 2-3-4, 2-4-2 내지 2-4-5 등에서도 정량적으로 예시하는 바와 같이, 동일한 합금 조성에서도 알파+베타 용체화 처리 온도가 낮을수록 베타 안정화 원소가 베타상으로 더 농축되어 베타상에서의 Mo 당량 값은 높아진다.

[0111] 도 3에서 도시하는 바와 같이, 본 발명의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금은 베타상의 Mo 당량 값이 12.0 이상인 범위에서 현저하게 우수한 기계적 특성을 가지는 것으로 측정되었다.

[0113] 반면 Mo 당량 값이 12.0 보다 낮은 범위의 2-1-1 및 2-1-2의 비교예에 해당하는 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금은 베타상 안정성이 상대적으로 낮아지고, 그에 따라 용체화 처리 후 급냉 시 베타상이 마르텐사이트로 변태되어 TWIP 및 TRIP이 발생되지 않게 된다. 그 결과 상기 비교예에 해당하는 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금은 기계적 특성이 저하된다.

[0114] 구체적인 예로써, 비교예 2-1-1 및 2-1-2 베타 타이타늄 합금은 표 1에서 기재된 바와 같이 합금의 조성은 본 발명의 실시예에 해당하는 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금의 성분 및 조성범위를 모두 만족한다. 반면 상기 비교예 2-1-1 및 2-1-2 베타 타이타늄 합금은 표 2에서 기재된 바와 같이 용체화 처리 후 베타상에서의 Mo 당량은 각각 7.6 및 9.2를 가지는 것으로 측정되었고, 그 결과 항복강도와 연신율이 낮은 것으로 측정되었다.

[0115] 도 4는 본 발명의 비교예인 2-1-2 베타 타이타늄 합금의 용체화 처리 후 급냉된 미세조직을 나타낸다.

[0116] 도 4에서 도시한 바와 같이, 본 발명의 비교예인 2-1-2 베타 타이타늄 합금은 베타상에서의 낮은 Mo 당량으로 인해 베타상 안정성이 낮아서 급냉 시 베타상이 유지되지 못하고 베타상으로부터 마르텐사이트로의 변태가 발생하였다.

[0118] 한편 도 3에서는 본 발명의 비교예에 해당하는 2-2-1은 본 발명의 베타 타이타늄의 일부 실시예 대비 인장강도(UTS, ultimate tensile strength)와 연신율(%)의 곱이 우수한 것으로 측정되었다. 그러나 상기 비교예 2-2-1은, 표 2에서의 기계적 특성 평가 결과에서 나타나듯이, 베타 타이타늄 합금이 가져야 하는 최소 기계적 강도도 만족시키지 못하는 매우 낮은 기계적 강도를 가진다.

[0119] 상기 비교예 2-2-1이 동일한 합금 조성을 가지는 실시예인 2-2-2 내지 2-2-4보다 낮은 기계적 강도를 가지는 원인은 비교예 2-2-1의 미세조직에서 기인한다.

[0120] 도 5는 본 발명의 비교예인 2-2-1의 미세조직 사진이다.

[0121] 도 5에서 도시하는 바와 같이 상기 비교예 2-2-1은 매우 조대한 결정립을 가진다. 상기 비교예 2-2-1의 조대한 결정립은 표 2에서의 용체화 처리 온도에서 기인한다. 상기 비교예 2-2-1은 합금 성분 및 조성 범위로부터 결정되는 베타 트랜서스 온도인 820℃보다 높은 840℃의 베타 단상 영역에서 용체화 처리 후 급냉되었다. 이에 따라 상기 비교예 2-2-1은 베타 단상 영역의 용체화 처리에 의해 조대화된 결정립을 가지는 미세조직을 가지게 되어 그 결과 낮은 기계적 강도를 가지게 된 것으로 판단된다.

[0123] 도 6은 본 발명의 표 1 및 표 2의 실시예 및 비교예 베타 타이타늄 합금들의 알파상 분율에 따른 인장강도(UTS, ultimate tensile strength) 값을 도시한 것이다.

[0124] 도 6에서 도시한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 해당하는 베타 타이타늄 합금들은 모두 알파상을 포함하고 있다. 다시 말하면, 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금들은 표 2에서 나타나는 바와 같이 알파+베타 이상 영역에서 용체화 처리 후 급냉되어 알파상을 모두 포함한다. 이는 용체화 처리 시 본 발명의 실시예 베타 타이타늄 합금들의 결정립 성장이 효과적으로 억제되었을 뿐만 아니라 베타 안정화 원소가 베타상으로 농축되어 베타상이 안정화되고, 후속 변형 시 베타상이 TWIP 및 TRIP 현상을 발생시킬 수 있음을 의미한다. 그 결과 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금은 모두 최소 850MPa 이상의 인장강도를 가지는 것으로 측정되었다.

[0126] 도 7은 본 발명의 실시예인 2-5-1 베타 타이타늄 합금의 변형 전(용체화 처리 후 급냉된)과 2% 변형된 미세조직 사진이다.

[0127] 도 8은 본 발명의 실시예인 2-2-2 베타 타이타늄 합금의 변형 전(용체화 처리 후 급냉된)과 15% 변형된 미세조직 사진이다.

[0128] 먼저 도 7 및 8의 변형 전 미세조직 사진이 도시하는 바와 같이, 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금은 변형 전에는 베타상 기지 내에 알파상이 균일하게 존재하며, 베타상의 결정립 크기도 최대 200㎛를 넘지 않음을 알 수 있다.

[0129] 상기 변형 전 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금이 소성변형 되면, 도 7 및 8에서 도시하는 바와 같이, 베타상 내에 변형에 의한 트윈(twin)과 마르텐사이트(martensite)가 발생하게 된다. 이와 같은 트윈과 마르텐사이

트의 존재는 각각 TWIP과 TRIP 현상이 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금에서 발생함을 직접적으로 입증하는 증거가 된다.

[0130] 한편 도 7 및 8을 비교해 보면, 변형량이 증가할수록 본 발명의 실시예의 베타 타이타늄 합금에서의 TWIP과 TRIP 현상이 더 많이 발생하여 그 결과 트윈과 마르텐사이트가 더 많이 존재하게 됨을 알 수 있다.

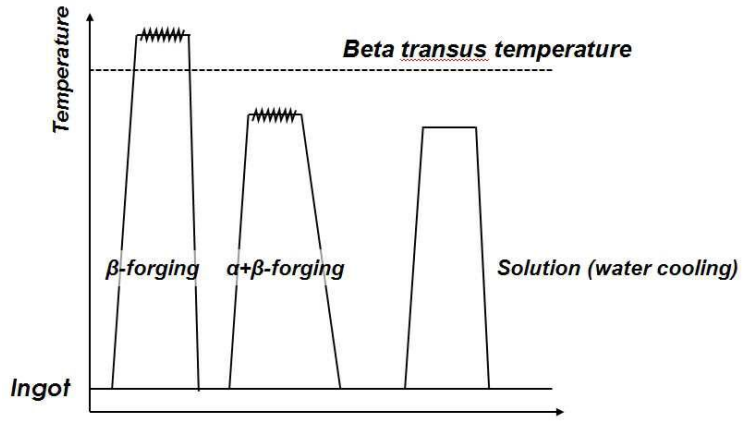
[0132] 도 9는 상기 표 1 및 2에서 기재된 본 발명의 모든 실시예 및 비교예의 Ti-Mo-Fe-Cr-Al 베타 타이타늄 합금들의 인장강도와 연신율을 나타낸 도면이다.

[0133] 도 9에서 도시하는 바와 같이, 본 발명의 실시예에 해당하는 베타 타이타늄 합금들은 모두 850 MPa 이상의 인장강도와 15% 이상의 연신율을 가지는 반면 비교예에 해당하는 베타 타이타늄 합금들은 인장강도 또는 연신율 중 적어도 어느 하나의 특성이 열악한 것으로 측정되었다.

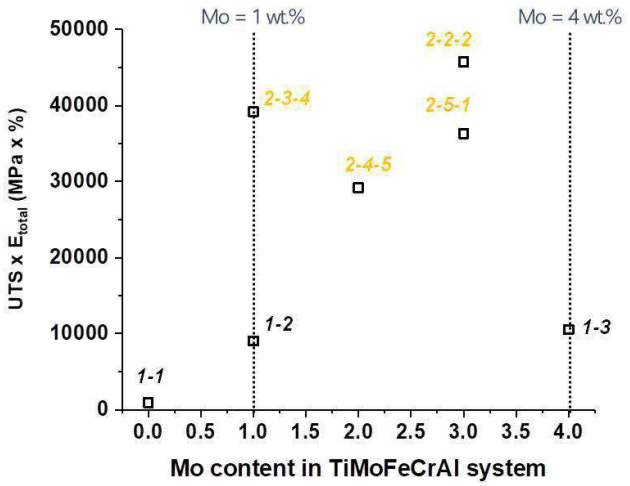
[0135] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다.

도면

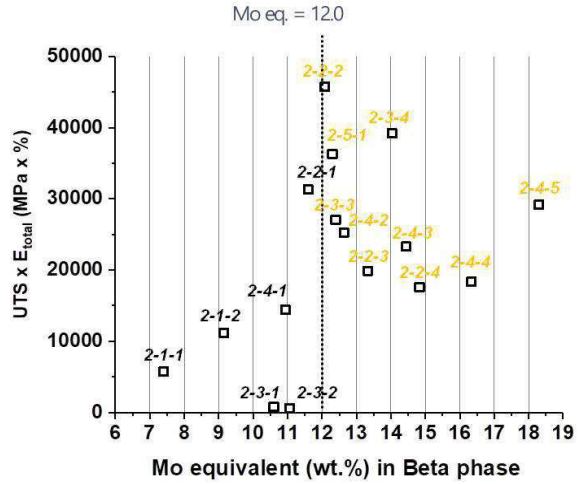
도면1



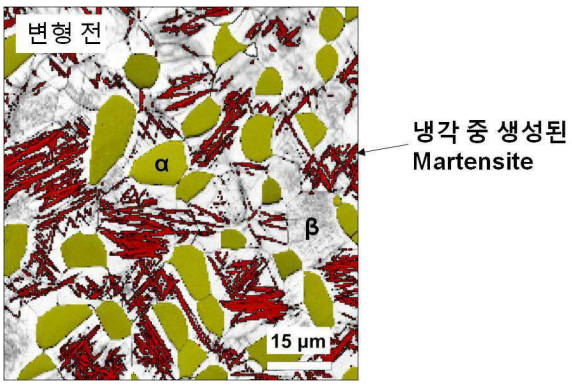
도면2


Mo = 1 wt.%
Mo = 4 wt.%
2-2-2
2-3-4
2-5-1
2-4-5
1-2
1-3
1-1
UTS x E_total (MPa x %)
Mo content in TiMoFeCrAl system

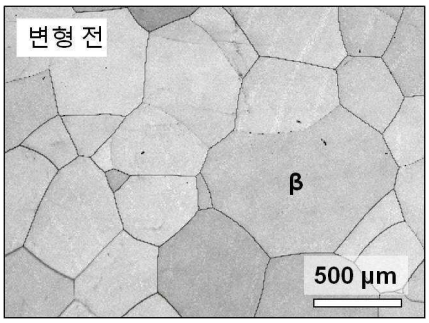
도면3


Mo eq. = 12.0
2-2-2
2-3-4
2-5-1
2-2-1
2-4-5
2-3-3
2-4-2
2-4-3
2-2-3
2-2-4
2-4-4
2-4-1
2-1-2
2-1-1
2-3-1
2-3-2
UTS x E_total (MPa x %)
Mo equivalent (wt.%) in Beta phase

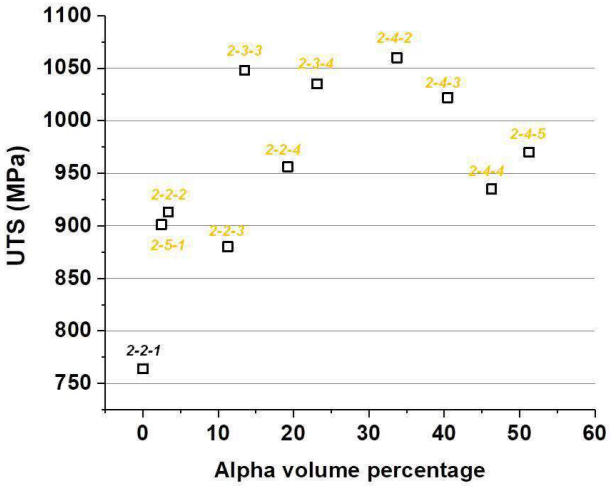
도면4


변형 전
α
β
15 μm
냉각 중 생성된
Martensite

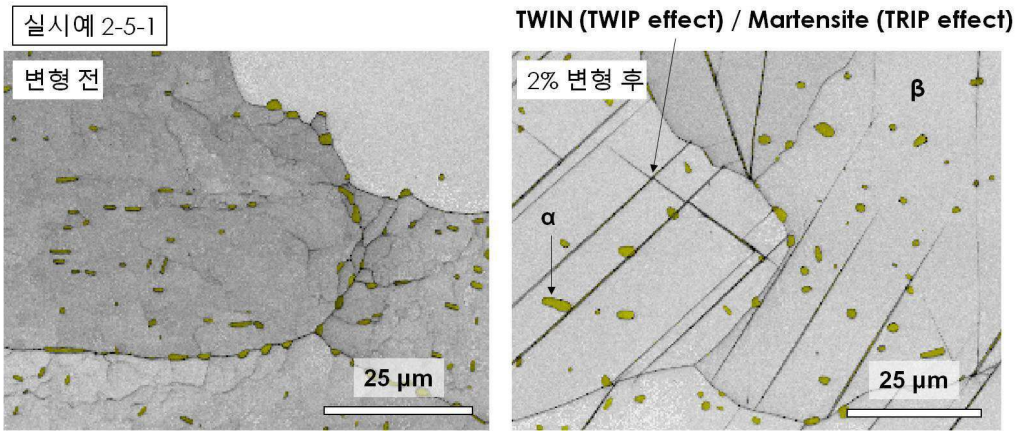
도면5


변형 전
β
500 μm

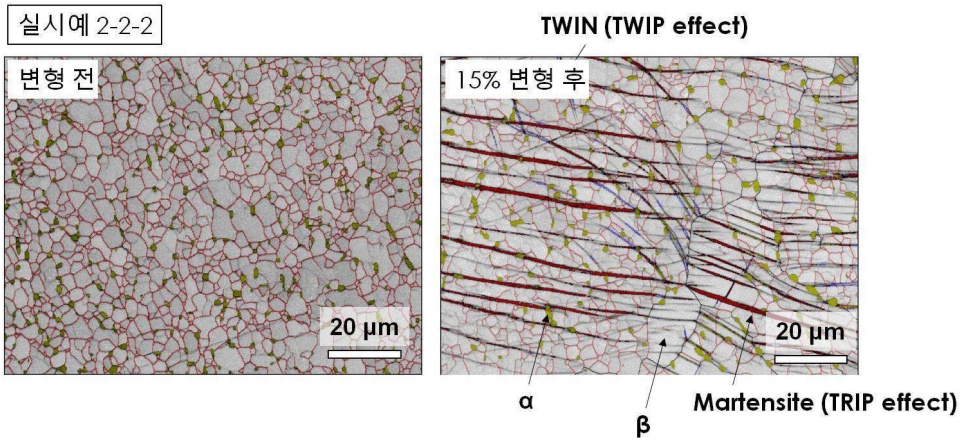
도면6


UTS (MPa)
Alpha volume percentage
1100
1050
1000
950
900
850
800
750
0
10
20
30
40
50
60
2-2-1
2-2-2
2-5-1
2-2-3
2-2-4
2-3-3
2-3-4
2-4-2
2-4-3
2-4-4
2-4-5

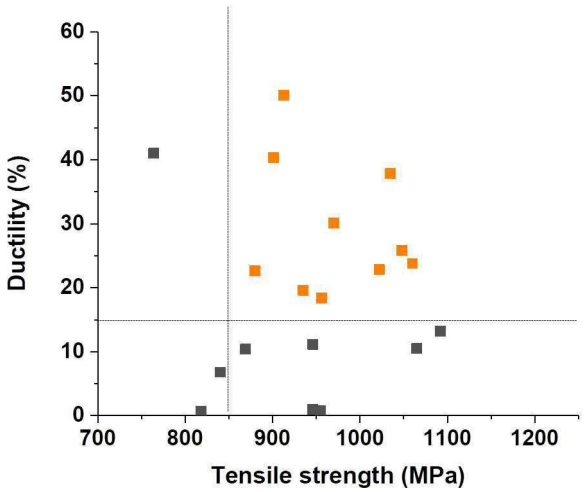
도면7


실시예 2-5-1
변형 전
25 μm
TWIN (TWIP effect) / Martensite (TRIP effect)
2% 변형 후
β
α
25 μm

도면8


실시예 2-2-2
변형 전
20 μm
TWIN (TWIP effect)
15% 변형 후
20 μm
α
β
Martensite (TRIP effect)

도면9


Ductility (%)
60
50
40
30
20
10
0
700
800
900
1000
1100
1200
Tensile strength (MPa)