(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0077966
(43) 공개일자 2020년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C22C 2200/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0167409
(22) 출원일자 2018년12월21일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
현용택
경상남도 창원시 성산구 비음로27번길 46-22 (사파동 37-8)
김승언
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774 성원아파트 503동 2401호
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

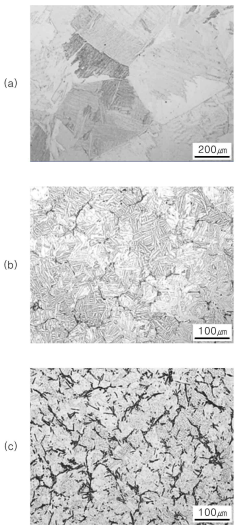
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **주조형 알파+베타 타이타늄 합금 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 우수한 기계적 특성을 가지면서 제조 단가가 낮은 주조형 알파(α)+베타(β) 타이타늄 합금과 상기 타이타늄 합금의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 주조형 타이타늄 합금은, 중량 %로, Al: 4.0~6.0%, Fe: 1.0~3.0%, B: 0.05~0.4%를 포함하고, 알파상과 베타상의 기지 내에 5㎛ 이하의 크기를 가지는 Ti-boride를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10062477
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 산업핵심기술개발사업
연구과제명 친환경 자동차 추진체용 초경량 타이타늄 부품화 기술(3/4)
기 여 율 50/100
주관기관 한국피아이엠(주)
연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10050608
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 전략적핵심소재기술개발사업
연구과제명 Cold Hearth 기반 저비용 고청정 Ti 합금 슬래브 제조 및 가공기술 개발(5/6)
기 여 율 50/100
주관기관 (주)한국진공야금
연구기간 2018.04.01 ~ 2019.01.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량 %로, Al: 4.0~6.0%, Fe: 1.0~3.0%, B: 0.05~0.4%를 포함하고,

알파상과 베타상의 기지 내에 5㎛ 이하의 크기를 가지는 Ti-boride를 포함하는,

주조형 타이타늄 합금.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 합금의 기지의 평균 결정립도는 100~200㎛인,

주조형 타이타늄 합금.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Ti-boride는 면적 %로 9% 이하인,

주조형 타이타늄 합금.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 우수한 기계적 특성을 가지면서 제조 단가가 낮은 주조형 알파(α)+베타(β) 타이타늄 합금과 상기 타이타늄 합금의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 타이타늄 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 알파+베타 합금으로 분류되는 Ti-6wt.% Al-4wt.%V(이하 %라 한다)은 높은 비강도로 인해 상업적으로 매우 널리 사용되고 있다.

[0005] 상기 Ti-6Al-4V 합금은 고온 베타상을 안정화시키는 원소로 V(바나듐, vanadium)을 필수 성분으로 포함한다.

[0006] 그런데 상기 V은 매우 고가의 금속원소이므로, 그로 인해 Ti-6Al-4V 합금은 주로 항공 우주 산업과 같은 비용보다는 성능이 우선시되는 산업 분야에서만 적용되고 있다.

[0007] 한편 자동차 산업 분야에서는 기존 자동차의 고효율화를 달성하기 위해 차체 및 엔진 구동부품의 경량화에 많은 노력을 기울이고 있다.

[0008] 특히 커넥팅 로드 등과 같은 엔진 부품의 경량화는 다른 부품 대비 차량 효율 향상에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다.

[0009] 따라서 기존의 상용 고강도강, 내열강 및 내마모 주철 소재 대신 비강도(specific strength)가 우수한 타이타늄 합금으로 대체하기 위한 연구들이 진행되고 있다.

[0010] 그러나 자동차 산업의 치열한 원가 경쟁으로 인해, 타이타늄 합금은 우수한 특성에도 불구하고 높은 가격과 제조 공정 상 비용이 많이 소요되어 자동차 산업으로의 적용이 현재까지 어려운 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 목적은 이에 따라 고가의 V을 대체하면서 기존의 Ti-6Al-4V 합금과 동등 수준의 기계적 특성을 가지는 새로운 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 다른 목적은 별도의 가공 및 열처리 단계 없이도 주조 상태(as-cast)에서 사용할 수 있는 타이타늄 합금을 제공하는 것이다.

[0013] 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

[0014] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 주조형 타이타늄 합금은, 중량 %로, Al: 4.0~6.0%, Fe: 1.0~3.0%, B: 0.05~0.4%를 포함하고, 알파상과 베타상의 기지 내에 5㎛ 이하의 크기를 가지는 Ti-boride를 포함할 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 상기 합금의 기지의 평균 결정립도는 100~200㎛이다.

[0016] 바람직하게는, 상기 Ti-boride는 면적 %로 9% 이하이다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 의하면 기존의 Ti-6Al-4V 합금과 동등 수준의 기계적 특성을 확보할 수 있는 새로운 타이타늄 합금을 제공할 수 있다.

[0018] 또한 본 발명에 의하면 주조 이후 별도의 열간 가공 공정이나 열처리 공정 없이도 기존의 Ti-6Al-4V 합금과 동등 수준의 기계적 특성을 확보할 수 있는 새로운 타이타늄 합금을 제공할 수 있다.

[0019] 한편, 본 발명에 의하면 고가의 V을 포함하지 않고 더 나아가 주조 이후 별도의 후속 공정이 필요 없으므로 경제적이며 생산성이 우수한 새로운 타이타늄 합금을 제공할 수 있다.

[0020] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예인 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 조성의 타이타늄 합금의 인장 실험 결과를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예 및 비교예로써 Ti-6%Al-2%Fe-(0.1, 0.5B) 조성의 타이타늄 합금의 광학 현미경 미세조직 사진이다.

도 3은 B이 첨가되지 않은 비교예 1에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

도 4는 B이 0.1% 첨가된 일 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

도 5는 B이 0.5% 첨가된 비교예 2에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

도 6은 B이 0.1% 첨가된 본 발명의 일 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 투과전자현미경 미세조직이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0026] 타이타늄은 체심입방격자(body centered cubic, BCC) 구조를 가지는 고온의 베타상과 육방체밀격자(hexagonal closed packed, HCP) 구조를 가지는 저온의 알파상을 두 가지 결정구조를 가지는 동소변태(polymorphous) 원소이다.

[0027] 상기 타이타늄에 전이금속이 첨가되면, 상기 타이타늄의 고온 베타상이 안정해지는 영역이 넓어지게 된다. 다시 말하면 고온 베타상이 저온 알파상으로 상변태되는 온도인 베타 변태점(beta transus) 온도가 감소하게 된다.

[0028] 이 때 각 첨가되는 합금원소에 따라 베타상이 안정화되는 정도가 달라지는데, Mo(molibdenum)을 기준으로 각 합금원소 별로 베타상 안정화 정도를 나타낸 것을 다음과 같은 Mo 당량(Mo equivalency)이라 한다.

[0029] $[Mo]_{eq}$ = [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]

[0030] 한편 Al은 타이타늄 합금에서 저온 알파상을 안정화시키는 대표적인 합금 원소이다.

[0031] 따라서 상기 Mo 당량을 계산할 때, Al은 다른 베타 안정화 원소 값과는 달리 음(negative)의 값을 가지는 것으로 계산된다.

[0032] 종래의 Ti-6Al-4V 합금은, 상기 Mo 당량에서 계산되는 바와 같이, V의 약한 베타 안정화능과 높은 Al 함량으로 인해 음의 값을 가진다.

[0033] 이는 종래의 Ti-6Al-4V 합금은 비록 알파+베타 합금임에도 불구하고 베타 안정화 정도가 약하고 그로 인해 알파상이 상대적으로 높은 온도까지 안정화 될 수 있어서 시효처리 등의 열처리 온도가 높아야 함을 의미한다.

[0034] 또한 종래의 Ti-6Al-4V 합금은 Al 함량이 6% 이상이므로, 시효 처리시 Ti_3Al 금속간 화합물 석출물이 석출하게 된다.

[0035] 상기 Ti_3Al 금속간 화합물 석출물은 Ti-6Al-4V 합금의 강도 향상에는 도움이 되지만 석출물의 크기나 분포 제어에 필수적인 열간 가공 및 열처리를 하지 않으면 Ti-6Al-4V 합금의 연성을 크게 저하시킨다.

[0036] 또한 열간 가공 및 열처리는 공정 비용을 높이고 생산성을 떨어뜨려 Ti-6Al-4V 합금의 비용을 크게 증가시키게 된다.

[0038] 본 발명의 타이타늄 합금은 기존의 Ti-6Al-4V 합금에서의 베타 안정화 원소인 V을 Fe로 변경하는 것을 하나의 기술적 특징으로 한다.

[0039] 상기 Mo 당량으로부터 예측되듯이, Fe는 V 대비 약 4배 이상의 높은 베타 안정화능을 가진다. 따라서 본 발명의 타이타늄 합금은 Fe 첨가로 인해 기존의 Ti-6Al-4V 합금 대비 동일한 베타 안정화 원소 첨가량에서도 높은 베타 안정화능을 가질 수 있다.

[0041] 한편 본 발명의 타이타늄 합금은 기존의 Ti-6Al-4V과 유사하게 Al을 필수 성분으로 포함한다.

[0042] 본 발명에서 Al을 첨가하는 이유는 다음과 같다.

[0043] 일반적으로 타이타늄 합금은 침입형 산소에 의한 강화, 고용 강화, 석출 강화 및 전위 밀도 또는 결정립 미세화 강화 메커니즘에 의해 강화된다.

[0044] 상기 강화 메커니즘 가운데 침입형 산소에 의한 강화는 취성을 유발시킬 수 있기 때문에 바람직하지 못하다.

[0045] 또한 전위 밀도 또는 결정립 미세화 강화는 주로 기계적 변형을 통해 얻을 수 있는데, 본 발명의 타이타늄 합금은 주조형 합금이므로 상기 강화 메커니즘은 적용하기 어렵다.

[0046] 따라서 본 발명의 타이타늄 합금이 이용할 수 있는 강화 메커니즘은 나머지 고용강화와 석출 강화로 귀결된다.

[0047] 이 때 알루미늄은 타이타늄 합금에서 가장 대표적인 고용 강화 원소이다.

[0048] 만일 알루미늄이 타이타늄에 첨가되면, 알루미늄은 주로 알파상에 고용되어 알파상을 강화시킨다. 또한 알루미늄은 타이타늄 합금에서 산화 저항성과 크립 저항성도 높일 수 있다.

[0050] 또한 본 발명의 타이타늄 합금은 상기 Al, Fe 이외에도 B(붕소, boron)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0051] B이 타이타늄에 첨가되면, 첨가된 B은 타이타늄과 반응하여 Ti-boride를 형성한다.

[0052] 이 때 형성되는 Ti-boride는 TiB 또는 TiB_2의 조성을 가질 수 있다.

[0053] TiB는 융점이 약 2980℃이고, TiB_2는 융점이 약 3230℃로 알려져 있다.

[0054] 따라서 만일 타이타늄 합금에 B이 첨가되면, 약 1668℃의 타이타늄 융점보다 상기 Ti-boride의 융점이 더 높으므로 액상의 타이타늄 합금 멜트(melt) 내에 이미 Ti-boride가 정출(primary solidify)되고, 그 이후에 타이타늄 합금 멜트가 고체의 타이타늄 합금으로 응고(solidify)된다.

[0055] 응고된 타이타늄 합금은 고온에서 이미 정출되어 존재하는 Ti-boride로 인해 결정립 성장이 억제되어 그로 인해 주조 상태(as-cast) 상태에서도 미세한 결정립을 가질 수 있다.

[0056] 결론적으로 본 발명의 타이타늄 합금은 B 첨가로 인해 주조 상태에서도 미세한 결정립을 가지며, 미세한 결정립은 본 발명의 타이타늄 합금의 강도 및 연성 확보를 가능하게 한다.

[0058] 상기와 같은 기술적 이유를 바탕으로, 본 발명의 타이타늄 합금은 Ti-(5~7)%Al-(1~3)%Fe-(0.05~0.4)%B 조성을 가지는 것을 기술적 특징으로 한다.

[0060] 만일 Al의 첨가량이 5%보다 적으면, Al 첨가에 따른 고용강화 효과가 작아서, 그 결과 최종 타이타늄 합금의 강도 및 경도가 저하되는 문제가 있다.

[0061] 반면 Al의 첨가량이 7%보다 많으면, 과도한 Al 첨가에 따라 주조 후 냉각 중에 Ti_3Al 석출물이 형성되는 문제가 있다.

[0062] 특히 Al 함량의 상한은 본 발명의 타이타늄 합금에서 매우 중요한데, 이는 본 발명의 타이타늄 합금은 별도의 후속 열간 또는 냉간 가공이나 열처리를 하지 않으므로 만일 Ti_3Al가 과도하게 석출되면 이를 제거할 수 없기 때문이다.

[0064] 한편 Fe가 1% 보다 적게 첨가되면, 너무 적은 Fe 함량으로 인해 주조 후 냉각 과정에서 실질적으로 고온 베타 단상의 미세조직으로 인해 결정립 크기가 지나치게 조대해져서 그로 인해 강도 및 연성이 저하되는 문제가 있다.

[0065] 반면 Fe가 3% 보다 많이 첨가되면, 주조 후 냉각 과정에서 TiFe 금속간 화합물이 석출되어 연성이 저하되는 문제가 있다.

[0067] 또한 B가 0.05% 보다 적게 첨가되면, B 첨가에 의해 형성되는 Ti-boride가 너무 적어서 그로 인해 타이타늄 합금의 결정립이 미세화되지 못하여 기계적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0068] 특히 순수한 Ti에 대해 B은 약 0.2at.% 정도의 용해도를 가지는 것으로 알려져 있다. Ti이 B 대비 약 4.5배 정도의 밀도를 가지므로, Ti-boride가 형성되기 위해서는 최소 0.05% 이하의 B의 첨가는 반드시 필요하다.

[0069] 반면 B이 0.4% 보다 많이 첨가되면, Ti-boride가 지나치게 많이 형성될 뿐만 아니라 정출된 Ti-boride가 지나치게 조대화 되어 그로 인해 타이타늄 합금 기지와 Ti-boride 사이의 계면이 crack initiator로 작용하여 기계적 특성이 저하되는 문제가 있다.

[0071] 본 발명의 타이타늄 합금의 제조 방법은 다음과 같다.

[0072] 본 발명의 타이타늄 합금은 먼저 원하는 조성의 타이타늄 합금을 칭량 후 소모전극식 진공용해법, 전자빔 용해법, 플라즈마 아크 용해법, 비소모전극식 아크 용해법 또는 유도스컬용해법 등을 이용하여 잉곳을 주조한다.

[0073] 그 후 상기 주조 상태(as-cast)의 타이타늄 합금은 후속 열간 또는 냉간 가공 또는 열처리 공정 없이 원하는 부품 형상으로 기계 가공된다.

[0075] 이하 기계적 특성이 우수한 본 발명의 주조형 T-(5~7)%Al-(1~3)%Fe-(0.05~0.4)%B 조성의 타이타늄 합금을 구체적인 실시예를 통해 살펴보기로 한다.

[0077] **실시예**

[0078] 본 발명의 실시예 및 비교예로써 Ti-6%Al-2%Fe-(0~0.5)%B 조성의 타이타늄 합금은 유도스컬용해로(induction skull melting furnace, 모델명 CONSARC ISM)을 이용하여, 300V, 110kW의 공정 조건에서 분할형 수냉동 도가니에서 완전히 용해된 후 흑연 주형 내로 상기 용해된 용탕을 주입함으로써 잉곳(ingot) 형태로 제조되었다.

[0079] 상기 주조 상태(as-cast) 상태의 타이타늄 합금의 인장시험 평가 결과는 아래의 표 1과 같다.

[0081] <표 1> Ti-Al-Fe-(B) 합금의 인장 특성

[0082]

	합금 조성	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)
실시예	Ti-6Al-2Fe-0.1B	862	958	12.3
비교예 1	Ti-6Al-2Fe	797	857	7.6
비교예 2	Ti-6Al-2Fe-0.5B	894	947	4.5

[0084] 먼저 B이 첨가되지 않은 비교예 1과 대비할 때, B이 첨가된 실시예 및 비교예 2의 합금의 강도는 비교예 1의 합금 대비 강도가 매우 높은 것을 알 수 있다.

[0085] 이는 B 첨가에 따라 형성되는 Ti-boride 정출물이 타이타늄 합금의 강도를 높일 수 있음을 의미한다.

[0086] 특히 상기 본 발명의 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B는 기계적 강도뿐만 아니라 연신율도 매우 높은 것

으로 측정되었다.

[0087] 상기 본 발명의 실시예의 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 강도는 비교 합금(reference alloy)인 상용 Ti-6Al-4V 합금 가공열처리재의 강도와 동등 수준인 것을 상기 표 1과 도 1의 인장특성 결과로부터 알 수 있다.

[0088] 이는 본 발명의 타이타늄 합금은 어떠한 후속 공정이 이루어지지 않은 주조 상태에서도 상용 가공열처리재인 Ti-6Al-4V 합금 수준의 강도를 가질 수 있음을 의미한다.

[0089] 한편 B이 0.5% 포함된 비교예 2의 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금은 상기 실시예의 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금보다 항복강도는 약간 증가한 반면, 연신율은 크게 줄어드는 것으로 측정되었다.

[0090] 이는 B이 Ti-6%Al-2%Fe 합금에 0.4%를 초과하여 첨가되면, 강도 향상의 효과와 함께 연신율이 감소하는 트레이드 오프 관계에 있음을 의미한다.

[0092] 상기 표 1의 기계적 특성 결과는 각 합금 별 미세조직에 의해 유래된다.

[0093] 먼저 도 2는 본 발명의 실시예 및 비교예로써 Ti-6%Al-2%Fe-(0~0.5)B 조성의 타이타늄 합금의 광학 현미경 미세조직 사진이다.

[0094] 도 2의 (a)에서 도시하는 바와 같이, B이 첨가되지 않은 비교예 1의 Ti-6%Al-2%Fe 합금은 800~1000㎛ 크기의 prior 베타 결정립을 가지는 조대한 침상 미세조직을 가진다.

[0095] 또한 상기 prior 베타 결정립 내에는 알파상과 베타상을 포함하는 조대한 침상 조직이 존재한다.

[0096] 이와 같은 비교예 1의 Ti-6%Al-2%Fe 합금의 미세조직은 먼저 응고시 고온 베타상이 먼저 멜트로부터 응고되면서 고온으로 인해 베타 결정립이 800~1000㎛ 크기로 성장한 후, 냉각시 저온 알파상이 상기 고온 베타 결정립의 입계에서 입내 방향으로 석출됨을 의미한다.

[0097] 또한 비교예 1의 Ti-6%Al-2%Fe 합금의 상기와 같이 조대한 미세조직은 비교예 1 합금이 실시예 1 합금 대비 강도와 연성이 떨어지는 하는 주요 원인이다.

[0098] 반면 B이 0.1% 첨가된 실시예의 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금은 약 100~200㎛ 크기의 prior 베타 결정립 내에 바스켓위브(basketweave) 형태 또는 층상 구조의 알파상과 베타상을 포함하는 기지와 상기 기지 내에 수 ㎛ 크기의 Ti-boride가 상기 결정립 입계 및 입내에 분포하는 미세조직을 가진다(도 2 (b)).

[0099] 이와 같이 B이 첨가된 상기 실시예의 타이타늄 합금은 멜트 상태에서 이미 Ti-boride가 정출되어 멜트가 응고시 정출되는 고온 베타상의 결정립 성장을 상기 Ti-boride가 억제하였기 때문에 미세한(fine) 미세조직을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

[0100] 한편 B이 0.5% 첨가된 비교예 2의 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금은 상기 실시예인 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금과 유사한 미세조직을 가짐을 알 수 있다(도 2 (c)).

[0101] 다만 상기 비교예 2의 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금은 실시예의 합금 대비 prior 베타상 입계에 훨씬 많은 양의 Ti-boride를 포함하는 차이가 있다.

[0103] B 첨가에 따른 Ti-boride의 차이를 확인하기 위해, 본 발명에서는 주사전자현미경을 이용하여 미세조직을 보다 자세히 관찰하였다.

[0104] 도 3은 B이 첨가되지 않은 비교예 1에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

[0105] 도 4는 B이 0.1% 첨가된 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

[0106] 도 5는 B이 0.5% 첨가된 비교예 2에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금의 주사전자현미경 미세조직이다.

[0108] 도 3에서 도시하는 바와 같이, 첨가되지 않은 비교예 1에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe 합금은 주사전자현미경 분석결과 아무런 Ti-boride를 포함하지 않으며, 기지는 알파+베타상의 조대한 침상 조직으로 구성됨을 확인하였다.

[0109] 보다 구체적으로 비교예 1에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe 합금의 기지는 조대한 침상의 형상을 가지며 기지 대부분을

차지하는 알파상과 상기 알파상들 사이에 위치하는 베타상들로 이루어진다.

[0111] 한편 도 4 및 5에서 나타난 바와 같이, B을 포함하는 실시예 및 비교예 2 합금은 결정립계와 결정립 내부에서 모두 Ti-boride가 존재함을 확인하였다.

[0112] 도 4 및 5의 정량분석 결과, 실시예 합금인 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금에서의 Ti-boride의 면적 분율은 약 3.1%이고 비교예 2 합금인 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금에서의 Ti-boride의 면적 분율은 약 10.5%인 것으로 측정되었다.

[0113] 또한 비록 도시하지는 않았지만, Ti-6%Al-2%Fe-0.4%B 합금에서의 Ti-boride의 면적 분율은 최대 9%를 넘지 않은 것으로 측정되었다.

[0114] 이에 더하여 상기 실시예와 비교예 2 합금에서의 Ti-boride는 크기에 있어서도 큰 차이를 보인다.

[0115] 먼저 도 4에서 도시하는 바와 같이, B이 0.1% 첨가된 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 Ti-boride는 최대 5㎛ 이하의 괴상(blocky) 또는 그보다 훨씬 미세한 Ti-boride를 가진다.

[0116] 반면 도 5에서 도시하는 바와 같이, B이 0.5% 첨가된 비교예 2에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금의 Ti-boride는 평균 10~25㎛ 크기의 막대(rod) 형상의 Ti-boride를 가진다.

[0117] 비교예 2의 Ti-6%Al-2%Fe-0.5%B 합금의 상기 조대한 막대 형상의 Ti-boride는 합금의 변형시 그 형상으로 인해 응력 집중이 발생하기 쉽고 더 나아가 조대한 크기로 인해 기지의 변형에 대해 대응하지 못하므로 균열 시작부(crack initiator)로 작용할 가능성이 매우 높아진다.

[0118] 반면 실시예의 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 상기 미세한 입자 또는 괴상 형상의 Ti-boride는 합금의 변형시 그 형상으로 인해 응력 집중이 일어나지 않으며 더 나아가 미세한 크기로 인해 기지의 변형에 대해 대응이 가능하므로 합금의 연성에 나쁜 영향을 주지 않는다.

[0119] 상기와 같은 Ti-boride의 차이로 인해, 비교예 2의 Ti-6%Al-2%Fe-0.5B 합금이 본 발명의 실시예의 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금 대비 더 낮은 연신율을 가지는 것으로 추정된다.

[0121] 도 6은 B이 0.1% 첨가된 본 발명의 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금의 미세조직을 투과전자현미경(모델명 JEOL 2100F)로 관찰한 사진이다.

[0122] 도 6에서 도시하는 바와 같이, 상기 합금의 미세조직은 다량의 쌍정(twin)을 포함하고 있다.

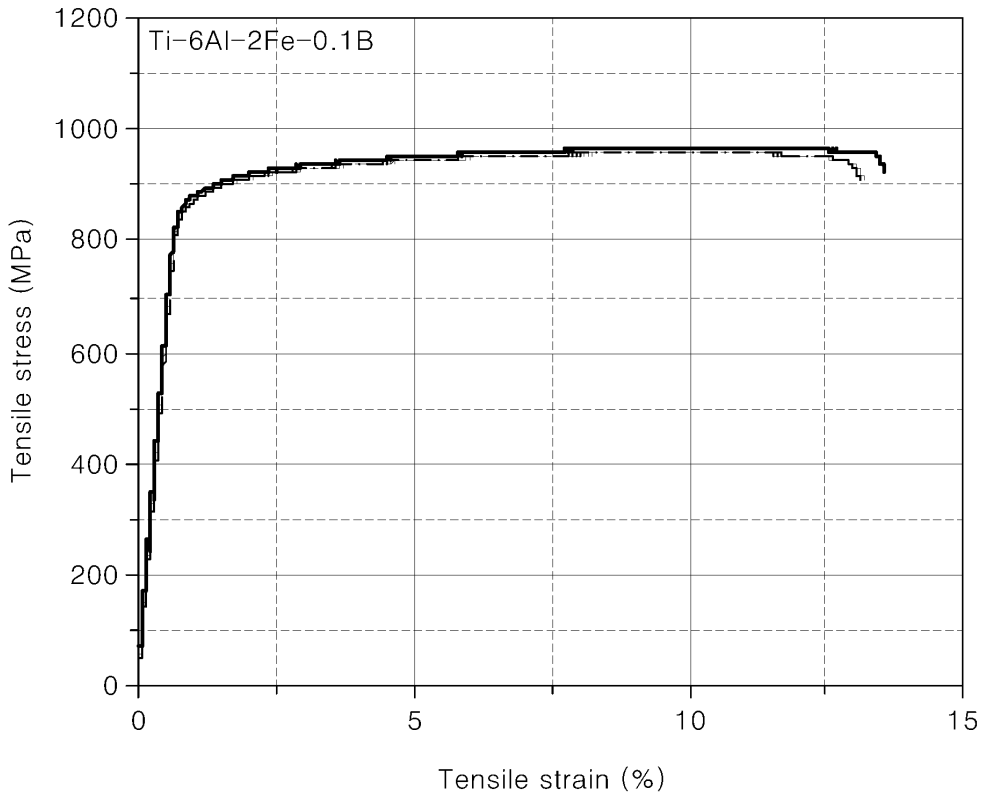
[0123] 따라서 B 첨가에 의한 결정립 미세화와 더불어 미세조직 내의 다량의 쌍정의 형성으로 인해, B이 첨가된 본 발명의 실시예에 해당하는 Ti-6%Al-2%Fe-0.1%B 합금은 우수한 기계적 특성을 가지는 것으로 판단된다.

[0124] 특히 상기 쌍정은 본 발명의 타이타늄 합금의 변형시 전위 등과의 상호 작용으로 인해 합금의 강도를 높일 뿐만 아니라 von-Mises 조건(5개의 독립된 변형 시스템 조건)을 만족시키는 변형 시스템으로도 작용할 수 있어서 합금의 연성 증가에도 기여하는 것으로 판단된다.

[0126] 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.

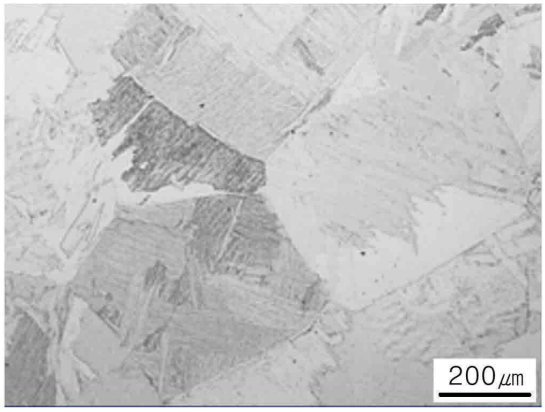
도면

도면1

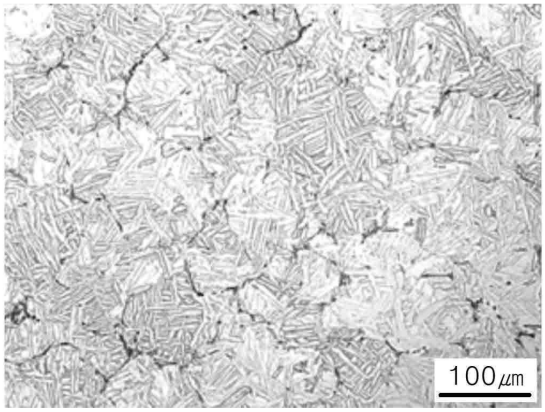

Ti-6Al-2Fe-0.1B
Tensile stress (MPa)
Tensile strain (%)
0
200
400
600
800
1000
1200
0
5
10
15

도면2

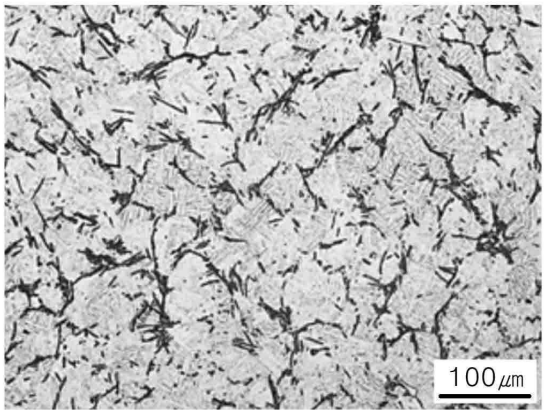
(a)



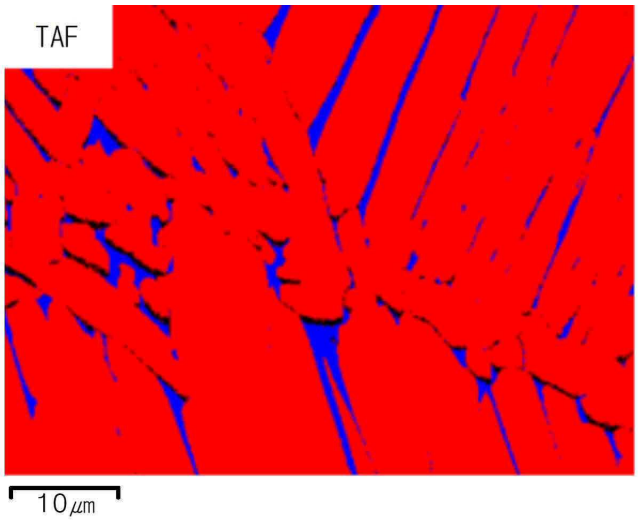
(b)



(c)



도면3

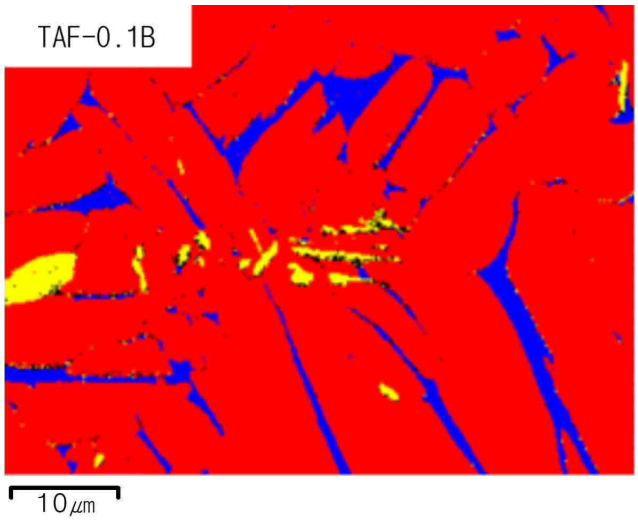


EBSP | Unit Cell | Pole Figure | Phase Statistics

Full Map Statistics

Phase	Color	Fraction(%)	Count	Mean BC	Mean MAD
Ti-Hex		93.42	110805	116.12	0.36
Titanium cubic		4.90	5806	97.97	0.49
Zero Solutions		1.68	1993	38.26	

도면4

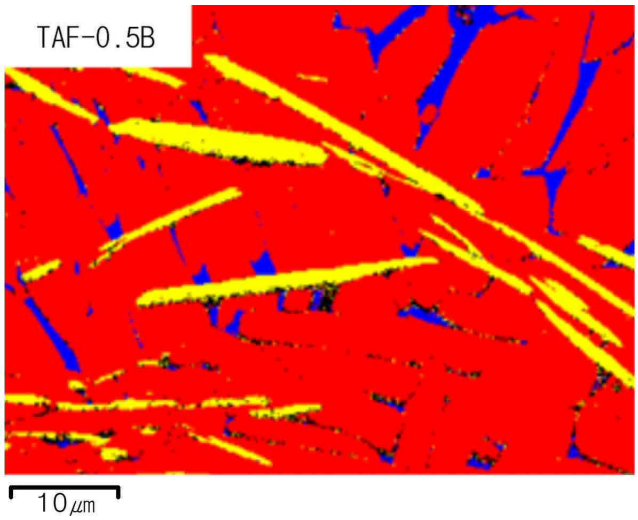


EBSP | Unit Cell | Pole Figure | Phase Statistics

Full Map Statistics

Phase	Color	Fraction(%)	Count	Mean BC	Mean MAD
Ti-Hex		89.89	68035	101.69	0.34
Titanium cubic		6.88	5206	99.43	0.41
Ti B		2.13	1610	63.37	0.61
Zero Solutions		1.10	833	58.40	

도면5



EBSP | Unit Cell | Pole Figure | Phase Statistics

Full Map Statistics

Phase	Color	Fraction(%)	Count	Mean BC	Mean MAD
Ti-Hex		83.20	62968	105.86	0.33
Titanium cubic		3.82	2894	104.53	0.39
Ti B		10.53	7967	71.06	0.47
Zero Solutions		2.45	1855	47.12	

도면6

