

 (19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0032779 (43) 공개일자 2014년03월17일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C22C 14/00 (2006.01) (21) 출원번호 10-2012-0099487 (22) 출원일자 2012년09월07일 심사청구일자 2012년09월07일	(71) 출원인 세종대학교산학협력단 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교) (72) 발명자 김기범 서울 강남구 압구정로 401, 53동 1102호 (압구정동, 한양아파트) 이찬호 서울 광진구 동일로56길 55, (군자동) 이승환 서울 동대문구 외대역동로1길 24, 101동 609호 (휘경동, 롯데낙천대아파트) (74) 대리인 특허법인이상

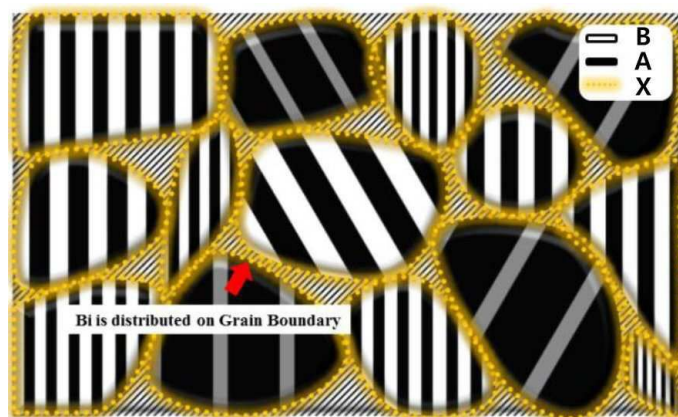
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **콜로니 경계 내에 비스무스 또는 납을 함유하는 티타늄-철 합금**

(57) 요약

Ti-Fe 합금을 제공한다. 상기 합금은 콜로니들을 갖는 Ti-Fe 조직을 구비한다. 상기 콜로니 경계 내에 함유된 Pb 또는 B를 함유한다. 상기 콜로니는 β -Ti 상과 TiFe 상이 반복적으로 배치된 라멜라 구조를 가질 수 있고, 또한 공정조직일 수 있다. 이러한 합금에서, 상기 Pb 또는 B는 상기 Ti와 상기 Fe의 합계 원자수를 100으로 할 때, 0.3 내지 1의 원자수로 함유될 수 있다. 구체적으로, 상기 합금은 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 가질 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345171618

부처명 교육과학기술부

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 불균일도 제어형 극미세 공정조직 합금의 고장력화 원리 규명

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2012.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

콜로니들을 갖는 Ti-Fe 조직; 및
상기 콜로니 경계 내에 함유된 Pb 또는 B를 함유하는 Ti-Fe 합금.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 Ti-Fe 조직은 β -Ti 상과 TiFe 상이 반복적으로 배치된 라멜라 구조를 갖는 Ti-Fe 합금.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 Ti-Fe 조직은 공정 조직인 Ti-Fe 합금.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 Pb 또는 B는 상기 Ti와 상기 Fe의 합계 원자수를 100으로 할 때, 0.3 내지 1의 원자수로 함유되는 Ti-Fe 합금.

청구항 5

제4항에 있어서,
 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 갖는 Ti-Fe 합금.

청구항 6

$(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 갖는 Ti-Fe 합금.

청구항 7

β -Ti 상과 TiFe 상이 반복적으로 배치된 라멜라 구조의 콜로니들;
상기 β -Ti 상에 대한 용해도와 상기 TiFe 상에 대한 용해도가 다른 금속을 함유하는 Ti-Fe 합금.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 금속은 Bi 또는 Pb인 Ti-Fe 합금.

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 Pb 또는 B는 상기 Ti와 상기 Fe의 합계 원자수를 100으로 할 때, 0.3 내지 1의 원자수로 함유되는 Ti-Fe 합금.

청구항 10

제9항에 있어서,
 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 갖는 Ti-Fe 합금.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 금속 합금에 관한 것으로 Ti-Fe합금에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 나노결정재료(nanocrystalline material)는 일반적으로 1μm미만의 결정립 크기를 가지는 다결정 재료로 정의되며, 나노 구조(nanostructure) 또는 나노결정립(nano grained) 재료 등으로 불리워지기도 한다. 이러한 나노결정재료는 우수한 강도로 인해 주목받고 있다. 그러나, 이와 같이 우수한 강도를 나타내는 나노결정재료는 제한된 유연성(plasticity)을 나타낸다.

[0003] 한편, Ti계 금속 합금은 인체에 대한 적합성으로 인해 임플란트용 인공치아 등의 생체 의료기기 분야에 사용되며, 또한 강도 및 가벼움으로 인해 전투기등의 국방관련 분야에 사용되고 있다. 특히 Ti-Fe 합금은 순수 Ti와 유사한 특성을 나타내면서도 가격적인 측면에서 장점이 있다. 이러한 Ti-Fe 합금이 나노 구조를 갖도록 형성한 경우에 강도가 향상되지만, 여전히 유연성이 제한적이어서 소성변형구간이 길지 않고 또한 항복강도가 적은 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 우수한 강도와 함께 우수한 유연성을 갖는 Ti-Fe합금을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기 과제를 이루기 위하여 본 발명의 일 측면은 Ti-Fe 합금의 일 예를 제공한다. 상기 합금은 콜로니들을 갖는 Ti-Fe 조직을 구비한다. 상기 콜로니 경계 내에 함유된 Pb 또는 B를 함유한다. 상기 콜로니는 β-Ti 상과 TiFe 상이 반복적으로 배치된 라멜라 구조를 가질 수 있고, 또한 공정조직일 수 있다. 이러한 합금에서, 상기 Pb 또는 B는 상기 Ti와 상기 Fe의 합계 원자수를 100으로 할 때, 0.3 내지 1의 원자수로 함유될 수 있다. 구체적으로, 상기 합금은 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 가질 수 있다.

[0006] 상기 과제를 이루기 위하여 본 발명의 다른 일 측면은 Ti-Fe 합금의 다른 예를 제공한다. 상기 합금은 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 가질 수 있다.

[0007] 상기 과제를 이루기 위하여 본 발명의 또 다른 일 측면은 Ti-Fe 합금의 또 다른 예를 제공한다. 상기 합금은 β-Ti 상과 TiFe 상이 반복적으로 배치된 라멜라 구조의 콜로니들을 가지며, 상기 β-Ti 상에 대한 용해도와 상기 TiFe 상에 대한 용해도가 다른 금속을 함유한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명에 따르면, 콜로니 경계에 존재하는 Pb 또는 Bi는 합금 내에서 화학적 불균일성(chemical heterogeneity)을 야기할 수 있고, 이는 전단 에너지를 흡수하여 전단 밴드(shear band)의 전파를 소멸시킬 수 있고 이에 따라 연성의 증가에 기여할 수 있다. 이러한 화학적 불균일성은 Pb 또는 Bi가 TiFe 상과 β-Ti 상에 대한 용해도가 다를 때 발생할 수 있는데, Pb 또는 Bi 외에도 상기 TiFe 상과 β-Ti 상에 대한 용해도가 다른 금속은 합금내 특히 콜로니 경계에서 화학적 불균일성을 야기할 수 있고 이에 따라 유연성의 향상을 이룰 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1 및 도 2은 본 발명의 일 실시예에 Ti-Fe 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 도면들이다.

도 3은 종래기술에 따른 Ti-Fe 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 4a는 시편들 1 내지 4의 상온에서의 압축응력하의 응력-변형 커브(stress-strain curve)이다.

도 4b는 일부 변형된 시편 4의 측면을 촬영한 SEM 이미지이다.

도 5는 시편들 5 내지 7의 상온에서의 압축응력하의 응력-변형 커브이다.

도 6은 시편들 1 내지 4의 X선 회절 그래프이다.

도 7은 시편들 1 내지 4의 SEM 사진들이다.

도 8은 시편들 1, 5 내지 7의 X선 회절 그래프이다.

도 9a, 도 9b, 및 도 9c는 시편들 5 내지 7의 SEM 사진들이다.

도 10은 시료 4($(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{99}\text{Bi}_1$)의 TEM 명시야(bright-field) 이미지(a), HAADF(Annular dark-field imaging) 이미지(d), 및 선택된 영역 회절 패턴들((b) 및 (c))을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 이하, 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0011] 도 1 및 도 2은 본 발명의 일 실시예에 Ti-Fe 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 도면들이다. 도 3은 종래 기술에 따른 Ti-Fe 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0012] 도 1 및 도 2를 참조하면, Ti-Fe 합금은 콜로니들을 갖는 Ti-Fe 조직을 갖는다. 상기 콜로니는 주변 영역들과 서로 다른 결정(crystal) 형태를 가져 주변 영역들과 구분되는 영역으로서 결정립을 말한다. 상기 Ti-Fe 조직의 콜로니는 서로 다른 조성의 층들(A, B)이 반복적으로 배치된 라멜라 구조를 가질 수 있다. 이 때, 상기 Ti-Fe 합금의 강도는 향상될 수 있다. 나아가, 상기 Ti-Fe 조직은 공정조직(eutectic structure)일 수 있다. 이 때, 상기 라멜라 구조를 갖는 콜로니 내의 반복되는 한 쌍의 층들은 TiFe 상(B)와 β -Ti 상(A)일 수 있다.
- [0013] 상기 콜로니들 사이의 경계 즉, 콜로니 경계에 Pb 또는 Bi가 존재한다. 나아가, Pb 또는 Bi는 상기 콜로니들 내부보다 상기 콜로니 경계에서 더 풍부하게 존재한다. 이는 합금 내에서 원소들의 화학적 불균일성(chemical heterogeneity)을 야기할 수 있다. 이러한 불균일성은 전단 에너지를 흡수할 수 있어 전단 밴드(shear band)의 전파를 소멸시킬 수 있고 이에 따라 연성의 증가에 기여할 수 있다. 이러한 화학적 불균일성은 Pb 또는 Bi가 상기 TiFe 상과 β -Ti 상에 대한 용해도가 다를 때 발생할 수 있다.
- [0014] 상기 Pb 또는 Bi는 상기 Ti와 상기 Fe의 합계 원자수를 100으로 할 때, 0.3 내지 1의 원자수로 함유될 수 있다. 한편, 이를 위해, 상기 Ti-Fe 합금은 $(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100-x}(\text{Y})_x$ (Y는 Pb 또는 B, $0.3 \leq x \leq 1$)의 조성을 가질 수 있다.
- [0015] 한편, 도 3은 Pb 또는 B를 함유하지 않는 Ti-Fe 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸다. 도 3을 참조하면, 콜로니 경계 부분에 다른 물질이 존재하지 않는다.
- [0016] 이러한 Ti-Fe 합금은 먼저 모합금을 제조한 후, 이 모합금을 사용하여 제조될 수 있다. 상기 모합금은 99.9% 이상의 순도를 갖는 원소들을 고순도 아르곤 가스분위기하에서 아크 용해법을 사용하여 제조할 수 있다. 이후, 이 모합금을 재료로 하여 급속응고법을 수행함으로써 Ti-Fe 합금으로 형성할 수 있다. 일 예로서, 상기 Ti-Fe 합금은 흡입주조(arc suction)법을 사용하여 형성할 수 있다.
- [0017] 본 실시예에서는 Ti-Fe합금 내에 Pb 또는 Bi가 첨가되었을 때를 중점으로 설명하였으나, 이 외에도 상기 TiFe 상과 β -Ti 상에 대한 용해도가 다른 금속은 합금내 특히 콜로니 경계에서 화학적 불균일성을 야기할 수 있고 이에 따라 유연성의 향상을 이룰 수 있다.
- [0018] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실험예(example)를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0019] <모합금 제조예>

[0020] 99.9% 이상의 순도를 가지는 약 3 내지 5g의 Ti, 약 3 내지 5의 Fe, 및 약 3 내지 5의 Bi 또는 Pb 를 챔버 내의 수냉중인 Cu 몰드 위에 놓고, 10^{-5} Torr의 진공도와 고순도 아르곤(99.9%)가스 분위기 하에서 아크 용해하여 모합금을 제조하였다. 이 때, 합금 성분의 편석 발생 방지를 위해 시료를 5회 반전시키며 용해하였다.

[0021] <합금 시편 제조예>

[0022] 모합금 제조예에서 제조한 모합금을 원료로 하고 흡입주조법을 사용하여 합금 시편으로 제조하였다. 구체적으로, 모합금 제조예 1에서 제조한 용탕 상태의 모합금을 메인 챔버와 석션챔버의 진공도 차이를 이용하여 수냉되고 있는 구리 몰드로 흡입하여 직경이 3mm이고 길이가 50mm인 봉상시편을 제조하였다.

[0023] <합금 시편 평가예 1: X선 회절 분석>

[0024] 제조된 합금 시편을 X선 회절 분석 장비(RigakuModel: D/MAX-2500/PC)를 이용하여 분석하였다. X선 회절 분석은 파장 $\lambda=1.5406$ Å의 CuK α 1 타겟을 사용하였고, 튜브 전압은 40kV, 전류는 100mA의 조건에서 행하였다. X선 회절 스펙트럼은 연속주사의 방법으로 $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 의 범위에서 $2^{\circ}/\text{min}$ 또는 $4^{\circ}/\text{min}$ 의 속도로 얻어졌다.

[0025] <합금 시편 평가예 2: 기계적 특성 분석>

[0026] 제조된 합금 시편의 기계적 특성을 평가하기 위하여 인스트론 타입(Instron Type)의 만능시험기를 이용하여 압축강도를 측정하였다. 압축강도 측정은 상온에서 등속압축응력으로 시험하였으며 일정한 변형속도(strain rate= 1×10^{-4} /s)의 조건에서 수행되었다. 제조된 합금 시편을 길이 6mm로 절단하였으며, 시편의 파괴가 일어날 때 까지 변형되었다.

[0027] 하기 표 1은 제조된 합금 시편들의 조성 및 기계적 특성을 나타낸다.

표 1

번호	조성	σ_y (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	ϵ_p (%)
시편 1	Ti _{70.5} Fe _{29.5}	1888.62	2017	1.186
시편 2	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.7} Bi _{0.3}	1950.34	2272	6.733
시편 3	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.5} Bi _{0.5}	2131.27	2260	5.112
시편 4	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.0} Bi _{1.0}	1943.82	2347	8.508
시편 5	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.7} Pb _{0.3}	2070.19		6.256
시편 6	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.5} Pb _{0.5}	2057.52		7.589
시편 7	(Ti _{70.5} Fe _{29.5}) _{99.0} Pb _{1.0}	5082.52		7.974
σ_y (MPa) : 시편 변형이 시작될 때의 응력 $\sigma_{\max}$ (MPa) : 시편 파괴가 일어난 시점의 응력 ϵ_p (%) : 변형의 정도				

[0029] 도 4a는 시편들 1 내지 4의 상온에서의 압축응력하의 응력-변형 커브(stress-strain curve)이고, 도 4b는 일부 변형된 시편 4의 측면을 촬영한 SEM 이미지이다. 또한, 도 5는 시편들 5 내지 7의 상온에서의 압축응력하의 응력-변형 커브이다.

[0030] 도 4a, 도 5, 및 표 1을 참조하면, Bi가 첨가된 합금들(시편 2 내지 4)은 Bi가 첨가되지 않은 합금(시편 1)의 강도(σ_y (MPa), $\sigma_{\max}$ (MPa))에 비해 우수한 강도를 나타내면서도, 소성구간(ϵ_p (%))이 증가하여 연성 또한 향상됨을 알 수 있다. 이와 더불어서, Pb가 첨가된 합금들(시편 5 내지 7)은 Pb가 첨가되지 않은 합금(시편 1)의 강도(σ_y (MPa), $\sigma_{\max}$ (MPa))에 비해 우수한 강도를 나타내면서도, 소성구간(ϵ_p (%))이 증가하여 연성 또한 향상됨을 알 수 있다.

[0031] 도 4b를 참조하면, 많은 변형 밴드(deformation band)는 시편 전체에 걸쳐 균일하게 분포되어 있다. 더욱이, 대부분의 변형 밴드의 전파가 콜로니 경계에서 강한 영향을 받는 것은 Bi-풍부 콜로니 경계가 변형 동안 스트레

스의 국지화를 해소시키는 데 효과적인 것을 나타낸다. 이에 더하여, 상기 콜로니 경계를 따라 회전 운동(rotational motion)을 위한 통상적인 자취를 찾을 수 있다.

[0032] 도 6은 시편들 1 내지 4의 X선 회절 그래프이고, 도 7은 시편들 1 내지 4의 SEM 사진들이다. 또한, 도 8은 시편들 1, 5 내지 7의 X선 회절 그래프이고, 도 9a, 도 9b, 및 도 9c는 시편들 5 내지 7의 SEM 사진들이다.

[0033] 도 6 및 도 8을 참조하면, 샤프한 피크들은 bcc β -Ti 고용체(solid solution)과 TiFe 금속간 화합물(intermetallic compound)로 정의될 수 있다. β -Ti 고용체 상의 격자 상수($a = 0.313\text{nm}$)는 순수 β -Ti의 격자 상수($a = 0.331\text{nm}$)에 비해 작고, TiFe 금속간 화합물의 격자 상수는 $a = 0.2968$ 로 측정되었다. Bi 또는 Pb 첨가량이 증가함에 따라 bcc β -Ti 고용체의 회절 피크는 저 회절각으로 점차로 시프트되었다. 또한, β -Ti 상(phase)의 격자 상수는 시료 1($(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{100}$)에서 0.3130nm 로 측정되었으며, 상대적으로 큰 원자 반경($r=0.16\text{nm}$)을 갖는 Bi의 용해에 따라 시료 4($(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{99}\text{Bi}_1$)에서는 0.3176nm 로 측정되었다. 이와는 반대로, TiFe 금속간 화합물과 관련한 피크 시프트는 크게 나타나지 않았는데, 이는 대부분의 Bi 또는 Pb가 TiFe 금속간 화합물 상 보다는 β -Ti 상에 용해되는 것을 의미하며, 또한 이는 bcc β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물에서 Bi 또는 Pb가 비대칭적으로 녹음을 나타낸다. 더욱이, Bi 또는 Pb의 첨가는 다른 결정상을 생성하지는 않는 것으로 나타났다.

[0034] 도 7을 참조하면, 시료 1의 $\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5}$ 바이너리 공정합금은 30 내지 $50\mu\text{m}$ 의 공정 콜로니 사이즈, 그리고 300 내지 500nm 의 라멜라 스페이스를 나타낸다. 이러한 합금은 샘플 전체에서 마이크로 스케일의 텐드라이트 없이 다크와 그레이 콘트라스트 영역들의 혼합물로 나타난다. 그러나, Bi 또는 Pb의 함량이 1.0 at% 이므로 추가되는 경우, 콜로니 경계에서 상기 대조에 큰 변화가 나타난다. 구체적으로, Bi 또는 Pb의 함량이 증가함에 따라 콜로니 경계를 따라 밝기가 증가된 콘트라스트 영역들이 형성된다. 그러나, Bi 또는 Pb의 함량이 증가하더라도 라멜라 스페이스 간격이 큰 차이를 보이지 않는다. 이로부터, 콜로니 경계를 따른 Bi 또는 Pb-풍부 영역은 응고과정에서의 용질 분할(solute partition)을 통해 나타나는 것으로 이해될 수 있다. 이에 더하여, Bi 또는 Pb를 첨가하는 것은 라멜라 구조의 길이-스케일을 조절하거나 구조적 불균일도(structural heterogeneity)로 인식되는 다른 상을 형성하는데 큰 영향을 끼치지 않는다. 반대로, β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물에 대한 비대칭적 용해도는 화학적 불균일도(chemical heterogeneity)를 이루는데 효과적일 뿐이다.

[0035] 도 10은 시료 4($(\text{Ti}_{70.5}\text{Fe}_{29.5})_{99}\text{Bi}_1$)의 TEM 명시야(bright-field) 이미지(a), HAADF(Annular dark-field imaging) 이미지(d), 및 선택된 영역 회절 패턴들((b) 및 (c))을 나타낸다.

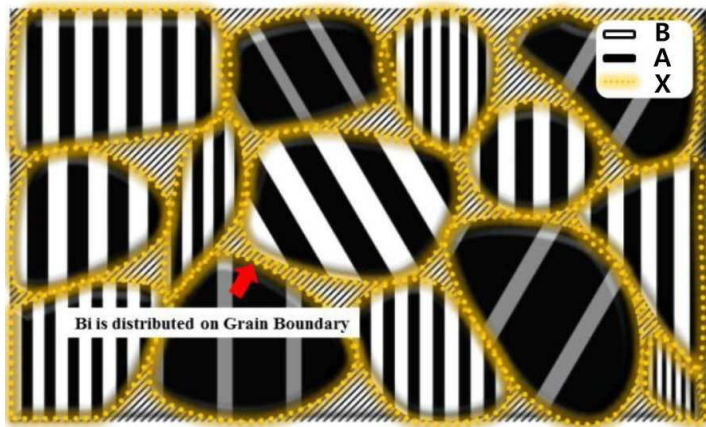
[0036] 도 10을 참조하면, 300 내지 500nm 의 라멜라 간격을 갖는 통상적인 극미세 공정 구조가 나타난다(a). 선택된 영역 회절 패턴들((b) 및 (c))은 각각 β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물의 $[111]$ 결정축(zone axis)들을 나타낸다. HAADF(Annular dark-field imaging) 이미지(d)를 참고하면, 공정 구조의 형태(morphology)가 이미지 전체에서 균일한 것으로 나타나지만, 대쉬 라인을 기준으로 콘트라스트의 분명한 차이가 있음을 알 수 있다. HAADF 이미지의 콘트라스트는 고각 산란 전자(high angle scattering electron)의 평균 원자수에 크게 의존하기 때문에, 상기 밝은 콘트라스트 영역은 Bi의 함량이 높은 영역인 것으로 추정할 수 있다. 상기 어두운 콘트라스트 영역(A)과 상기 밝은 콘트라스트 영역(B)을 EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)를 통해 측정된 결과, 상기 어두운 콘트라스트 영역(A)에서는 β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물은 각각 $\text{Ti}_{81.28}\text{Fe}_{16.50}\text{Bi}_{2.21}$ 과 $\text{Ti}_{53.03}\text{Fe}_{46.96}$ 의 성분을 갖는 것으로 조사되었다. 이로부터, β -Ti 고용체는 Bi와 함께 용해된 것으로 파악된다. 반대로, 상기 밝은 콘트라스트 영역(B)에서는 β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물은 각각 $\text{Ti}_{80.03}\text{Fe}_{17.41}\text{Bi}_{2.54}$ 과 $\text{Ti}_{64.68}\text{Fe}_{34.20}\text{Bi}_{1.10}$ 의 성분을 갖는 것으로 조사되었다. 이는 콜로니 경계에서는 Bi가 β -Ti 고용체뿐 아니라 TiFe 금속간 화합물에도 용해된 것을 의미한다. Bi는 TiFe 상에 대해 제한된 용해도를 가짐에도 불구하고, 상기 밝은 콘트라스트 영역(B) 즉, 상기 콜로니 경계에서는 β -Ti 고용체와 TiFe 금속간 화합물 모두가 Bi를 함유하는 것으로 보인다. 이는, 응고 과정에서, 고용체 β -Ti 상에 용해된 Bi가 공정 콜로니 경계로 방출되고, 이에 따라 TiFe 화합물 내의 과포화된 Bi를 형성하는 것으로 보인다.

[0037] 이상, 본 발명을 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상 및 범위 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러가지 변형 및 변경이 가

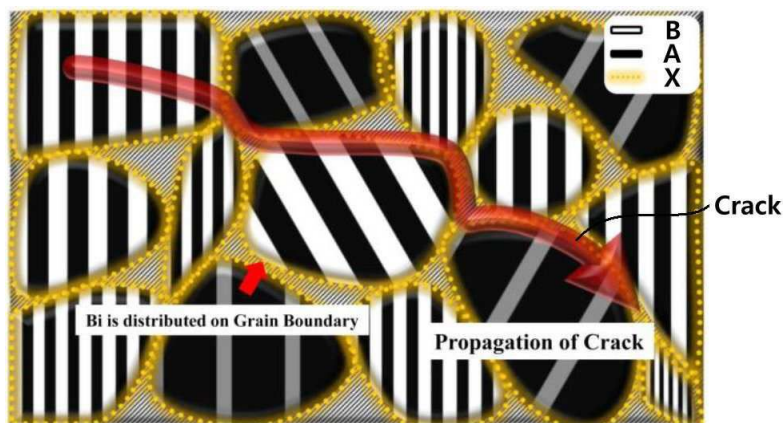
능하다.

도면

도면1



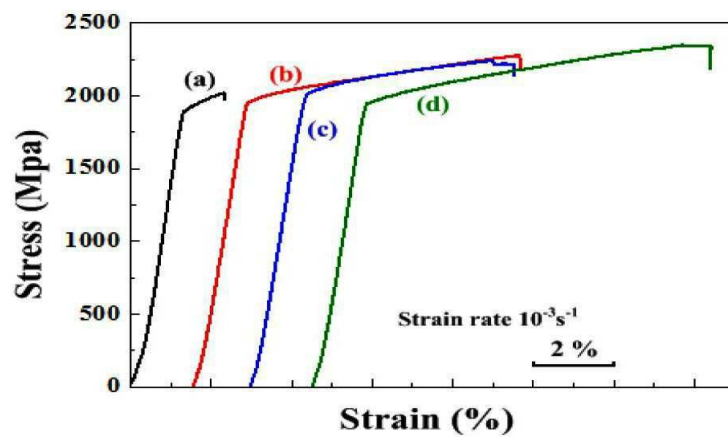
도면2



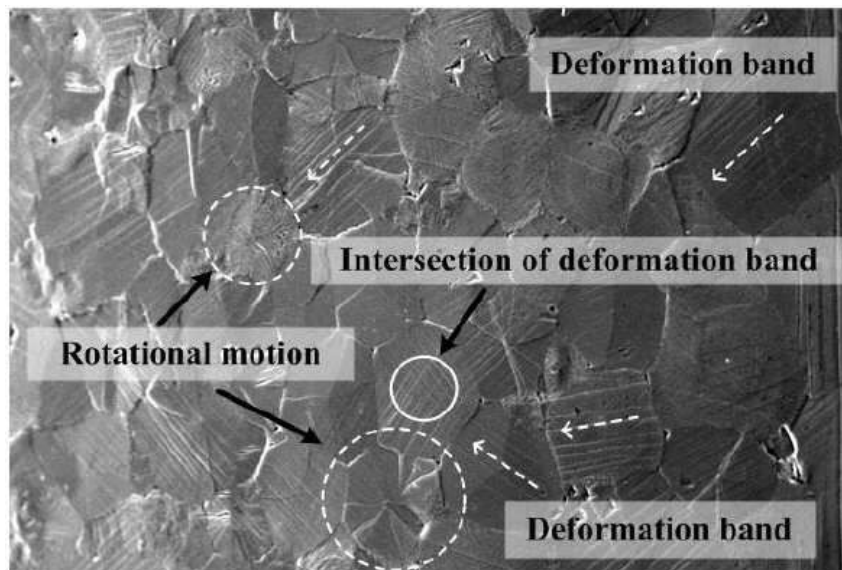
도면3



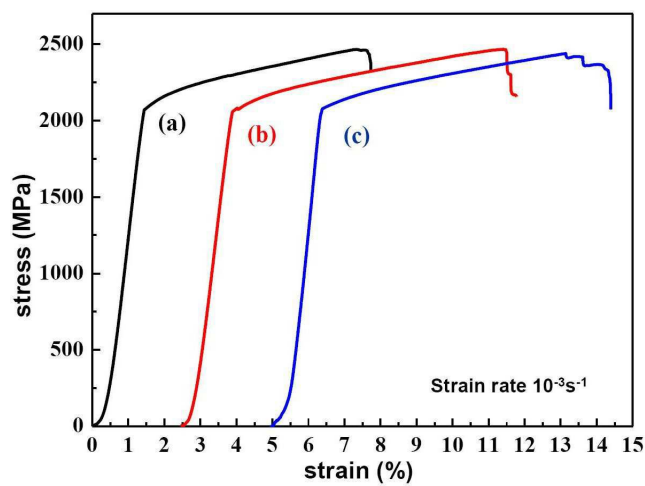
도면4a



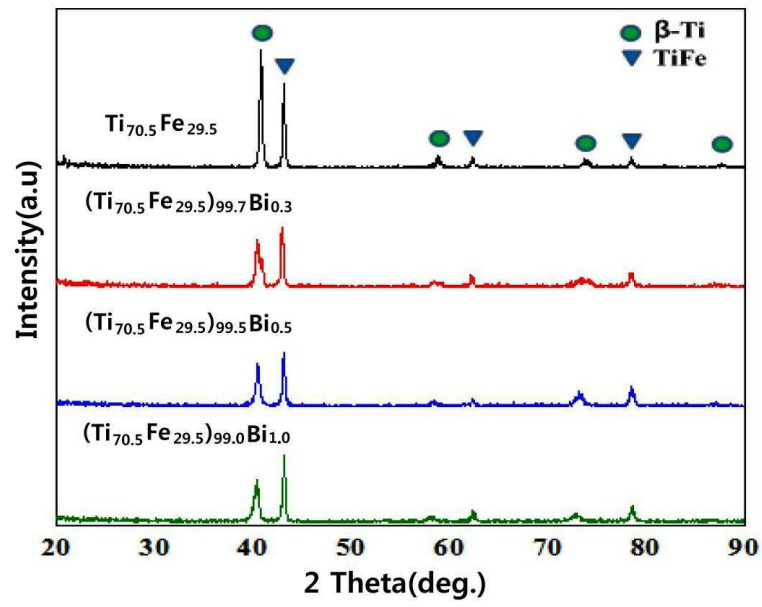
도면4b



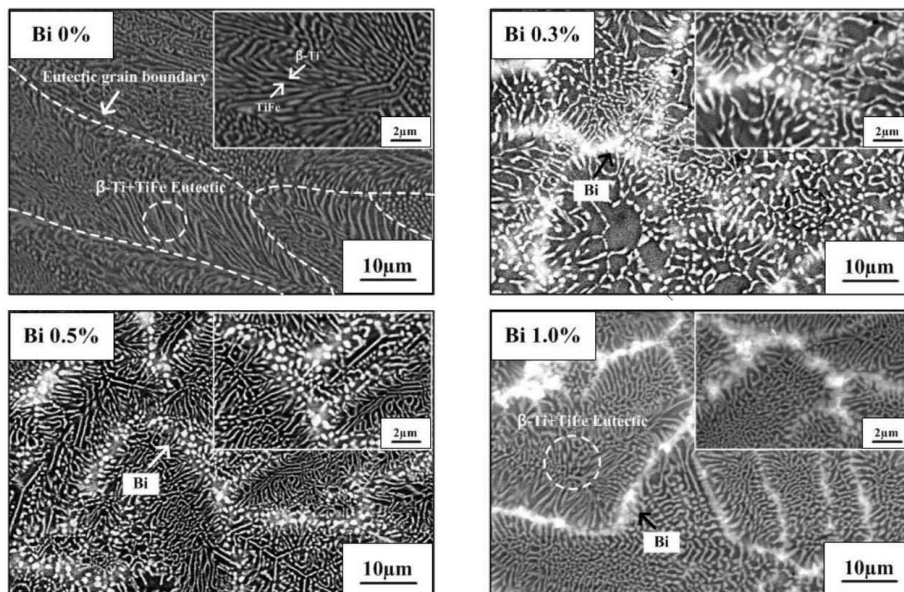
도면5



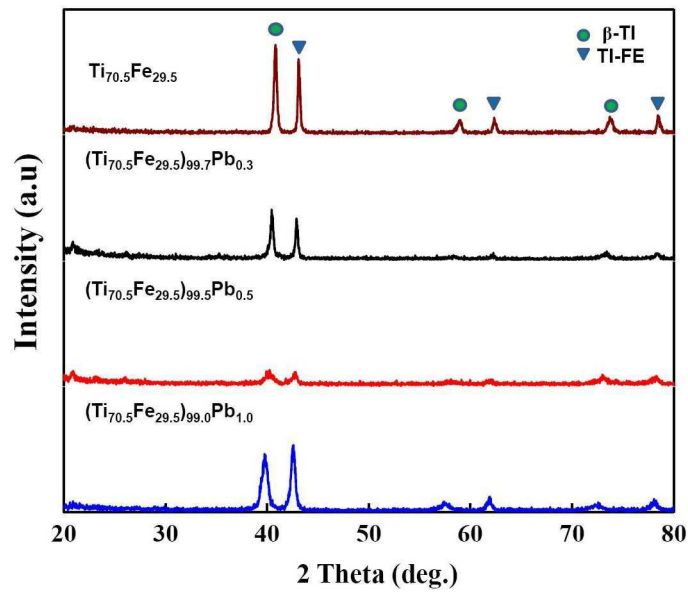
도면6



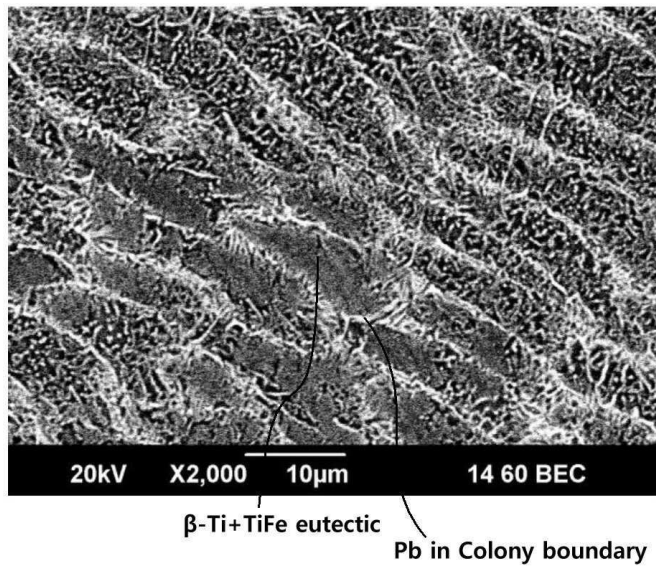
도면7



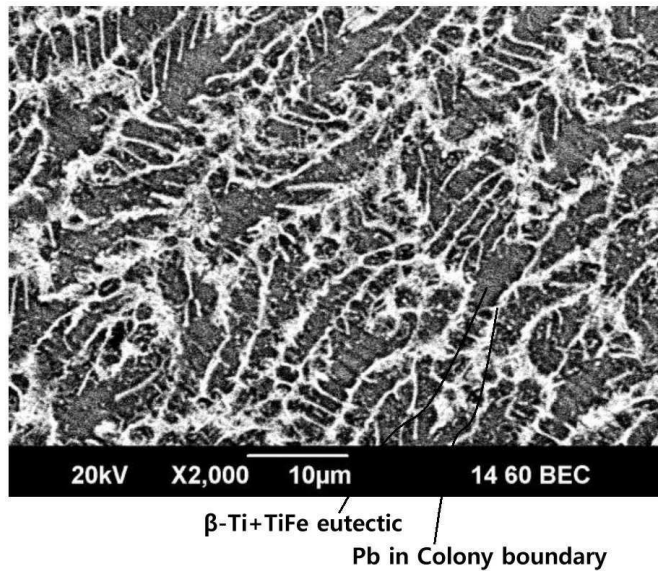
도면8



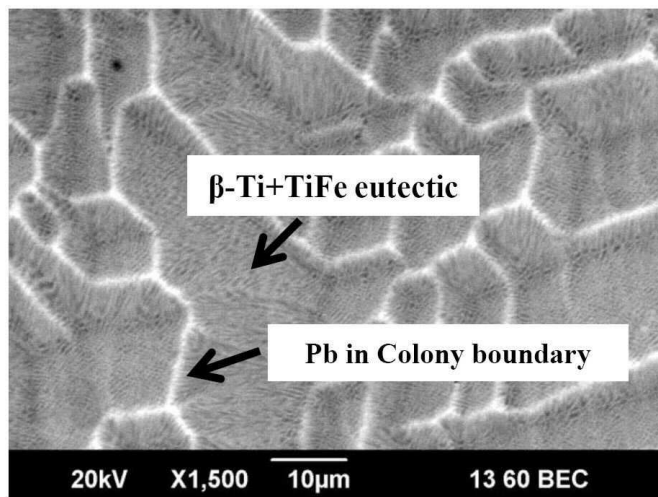
도면9a



도면9b



도면9c



도면10

