



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년07월21일
(11) 등록번호 10-1418775
(24) 등록일자 2014년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 14/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0057217

(22) 출원일자 2012년05월30일

심사청구일자 2012년05월30일

(65) 공개번호 10-2013-0134014

(43) 공개일자 2013년12월10일

(56) 선행기술조사문헌

D.J. LIN et al., Materials Chemistry and Physics, Vol.76 (2002) pp.191-197

JP2010216011 A

D.J. LIN et al., Biomaterials, Vol.23 (2002) pp.1723-1730

US20070049418 A1

전체 청구항 수 : 총 10 항

(73) 특허권자

한국기계연구원

대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)

(72) 발명자

이동근

경상남도 창원시 마산합포구 상남동 토월성원아파트 313동 602호

서정화

경남 창원시 마산회원구 구암북15길 42-1, (구암동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인아이엠

심사관 : 배근태

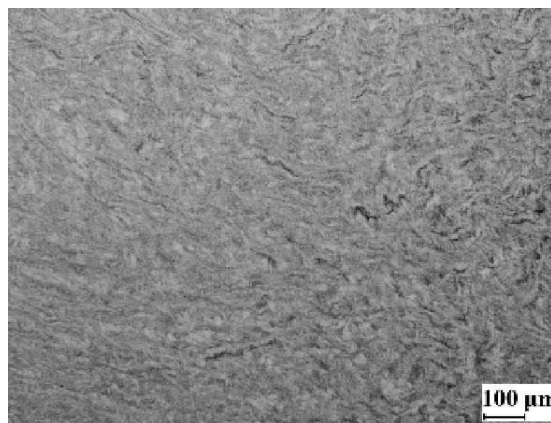
(54) 발명의 명칭 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금

(57) 요약

본 발명은 종래에 비해 탄성계수가 낮고 강도가 높은 베타형 타이타늄 합금을 제공하기 위한 것으로, 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 중량%로, Mo 6~13%, Fe 0.1~3.9%, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물을 포함하며, 선택적으로 Al 0.1~3.9%를 포함한다.

본 발명에 따른 타이타늄 합금은 저비용으로 1300MPa 이상의 높은 인장강도와 95GPa 이하의 낮은 탄성계수를 구현한다.

대표도 - 도2a



(72) 발명자

이용태

경남 창원시 의창구 창원대로 538, 203동 801호 (대원동, 대동아파트)

리첸린

중국 100088 베이징 북경유색금속연구총원

미수준

중국 100088 베이징 북경유색금속연구총원

예원준

중국 100088 베이징 북경유색금속연구총원

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 K20903002046-11B1200-16100

부처명 교육과학기술부

연구사업명 과학기술국제화사업

연구과제명 고강도 저탄성계수를 가지는 저가 베타 타이타늄 합금부품 개발연구

기 여 율 1/2

주관기관 재료연구소

연구기간 2011.12.28 ~ 2012.12.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PKC1270

부처명 지식경제부

연구사업명 재료연구소 자체사업

연구과제명 경량 고온 타이타늄 신합금 설계 및 특성연구

기 여 율 1/2

주관기관 재료연구소

연구기간 2012.03.01 ~ 2013.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

중량%로, Mo 6~13%, Fe 0.1~3.9%, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물을 포함하고, 인장강도가 1300MPa 이상이고 탄성계수가 95GPa 이하인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

추가로 Al 0.1~3.9%를 포함하는 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 베타형 타이타늄 합금의 미세조직은 평균 입자크기가 100nm 이하인 오메가상이 분산되어 있는 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

하기 [식 1]로 정의되는 Mo 당량이 7.0 ~ 20.0인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

[식 1]

$$\text{Mo당량} = [\text{Mo}] + 1/5[\text{Ta}] + 1/3.6[\text{Nb}] + 1/2.5[\text{W}] + 1/1.5[\text{V}] + 1.25[\text{Cr}] + 1.25[\text{Ni}] + 1.7[\text{Mn}] + 1.7[\text{Co}] + 2.5[\text{Fe}]$$

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 타이타늄 합금의 연신율은 6% 이상인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

청구항 6

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 타이타늄 합금의 인장강도가 1400MPa 이상인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금.

청구항 7

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 기재된 타이타늄 합금으로 제조된 봉재.

청구항 8

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 기재된 타이타늄 합금으로 제조된 판재.

청구항 9

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 기재된 타이타늄 합금으로 제조된 각재.

청구항 10

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 기재된 타이타늄 합금으로 제조한 스프링재.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 탄성계수가 낮고 강도가 높은 베타형 타이타늄 합금에 관한 것으로, 보다 상세하게는 종래에 비해 저비용으로 고성능을 갖는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 타이타늄은 일반적으로 비강도(강도/무게)가 높고, 내식성 등이 탁월하여 다양한 산업분야의 기초소재로 활용도가 높아 꿈의 신소재라고 불릴 정도로 미래의 활용분야가 기대되는 신금속 소재중 하나이며, 이러한 타이타늄의 여러 우수한 특성들로 인해 생체의료, 해양, 항공우주, 스포츠 및 레저 등의 분야에서 널리 연구개발되고 있다.
- [0003] 타이타늄 합금은, 상온(常溫)에서 금속조직을 구성하는 상(相)의 결정구조를 기준으로, 크게 α 형(조밀육방정: hcp), β 형(체심입방정: bcc), 및 $\alpha+\beta$ 형으로 구분된다. 공업용 순 타이타늄이나 알루미늄 등을 소량 첨가한 합금은 α 형이며, 고강도 합금으로서 잘 알려져 있어 항공기 등에 사용되고 있는 Ti-6Al-4V 합금은 $\alpha+\beta$ 형이고, β 형은 $\alpha+\beta$ 형보다 β 상을 안정시키는 합금원소의 함유량을 증가시킨 합금이다.
- [0004] 타이타늄 합금의 경우, 철강 재료와 비교하여 강도가 같은 상태에서 밀도가 56%, 전단 탄성계수가 50% 정도밖에 되지 않기 때문에, 동일한 성능을 가지는 스프링의 경우에 중량이 이론적으로 계산하면 28% 정도가 되므로 철강 재료 대비 72%의 경량화가 가능하다.
- [0005] 실제로 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr(β -C) 합금을 이용하여 코일 스프링을 만들 경우, 최대 전단응력 839MPa까지 사용 가능하면서도 이와 동일한 성능을 갖는 철강으로 제조된 코일 스프링에 비하여 중량이 47% 정도에 불과하여 확실한 경량화 효과를 얻을 수 있다.
- [0006] 또한, 타이타늄 합금은 감쇄능과 고유진동수가 크므로 엔진의 고속회전 시에 문제가 되는 서징(surging) 현상을 피할 수 있기 때문에 수명 연장에 확실한 효과가 있다. 실제 스프링용으로 주로 사용되고 있는 상기 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 고유 진동수는 870Hz로 기존의 철강으로 제조된 스프링의 483Hz에 비하여 월등히 높은 수치를 보인다.
- [0007] 또한, 타이타늄 합금 스프링 재료의 전단 탄성계수는 기존의 스프링 강보다 약 50%정도로 적기 때문에, 스프링의 권수를 줄일 수 있고 밸브 스프링의 밀착 높이를 감소시킴으로써, 엔진의 소형화 및 경량화를 도모할 수도 있다. 더욱이, 상기와 같은 타이타늄 합금의 여러 성질에 의해, 자동차 서스펜션용 스프링에 사용될 경우, 쿠션을 좋게 하여 승차감을 개선할 수도 있다.
- [0008] 그런데, 자동차의 하중을 고려할 때, 타이타늄 합금을 서스펜션 스프링용 재료로 사용하기 위해서는 인장강도가 적어도 1300MPa 이상이어야 하고, 전술한 타이타늄의 효과를 충분히 얻기 위해서는 탄성계수가 95GPa 이하가 되는 것이 바람직하다.
- [0009] 한편, β 형 타이타늄 합금을 제조하기 위해서는 베타 안정화원소들을 상당량 포함해야 하는데, 베타 안정화원소들의 가격이 일반적으로 높은 편이기 때문에, 상기와 같은 우수한 물성이 요구되는 용도가 특수한 부품에 주로 한정되어 사용되고 있는 실정이다.
- [0010] 이에 따라, 전술한 바와 같이 타이타늄 합금의 우수한 성질에도 불구하고, 저렴한 부품 가격이 요구되는 자동차 업계의 특성상, 타이타늄 합금이 기존의 철강재료로 제조한 부품을 대체하여 사용되지 못하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

(특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제2005-0005506호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 전술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 저비용으로 1300MPa 이상의 높은 인장강도와 95GPa 이하의 낮은 탄성계수를 갖는 우수한 물성을 구현할 수 있는 타이타늄 합금을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 과제를 해결하기 위한 수단으로 본 발명은, 중량%로, Mo 6~13%, Fe 0.1~3.9%, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물을 포함하고, 인장강도가 1300MPa 이상이고 탄성계수가 95GPa 이하인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금을 제공한다.

[0013] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금의 일 실시형태에 있어서, 추가로 Al 3.9중량% 이하를 포함할 수 있다. 즉, 본 발명은 중량%로, Mo 6~13%, Fe 0.1~3.9%, Al 0.1~3.9%, 나머지 Ti 및 불가피한 불순물을 포함하고, 인장강도가 1300MPa 이상이고 탄성계수가 95GPa 이하인 것을 특징으로 하는 저탄성 고강도 베타형 타이타늄 합금을 제공하는데, 이와 같은 Al의 추가적인 첨가는 타이타늄 합금의 가공성, 성형성, 주조성 등을 향상시킬 뿐 아니라 강화효과를 얻기 위한 다양한 열처리기술을 적용할 수 있게 하는 이점을 제공한다.

[0014] 삭제

[0015] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금의 일 실시형태에 있어서, 상기 타이타늄 합금의 연신율은 6% 이상일 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금의 일 실시형태에 있어서, 상기 타이타늄 합금의 인장강도가 1400MPa 이상일 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금의 일 실시형태에 있어서, 상기 타이타늄 합금의 미세조직은, 베타(β) 기지 내에 미세하게 분산된 오메가(ω) 상의 입자를 포함할 수 있고, 상기 오메가(ω) 상은 열처리기술을 이용하여 요구되는 강도 및 연성 등을 위해 제거되거나 생성시킬 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 인장강도가 1300MPa 이상이고 탄성계수가 95GPa 이하로, 저탄성 고강도가 요구되는 다양한 분야에 적용될 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 고가의 합금원소 사용을 최소화하였기 때문에, 합금 제조 비용을 크게 줄일 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금을 단조 및 공형압연을 통해 제조할 경우, 용체화처리나 시효처리와 같은 열처리 공정 없이, 인장강도 1300MPa 이상, 탄성계수 95GPa 이하, 연신율 약 6%이상 정도의 봉재, 각재 및 판재를 제조할 수 있게 되어, 수송기기용 스프링 및 고강도 저탄성 특성을 갖는 다양한 분야의 부품을 저비용으로 제조할 수 있게 되며, 특히, 스프링재로 사용될 경우 철강 재료로 제조된 스프링에 비해 약 50 ~ 60%의 경량화를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1a 내지 1e는 각각 본 발명의 실시예 1에서 실시예 5에 따라 제조한 열간단조재의 광학현미경 미세조직 사진이다.

도 2a 및 2b는 각각 본 발명의 실시예 2 및 3에 따라 제조한 공형압연된 봉재의 광학현미경 미세조직 사진이다.

도 3a 및 3b는 각각 본 발명의 실시예 2 및 3에 따라 제조한 공형압연된 봉재의 DFI (Dark Field Image) 투과전

자현미경 미세조직 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하 본 발명의 바람직한 실시예를 기초로 본 발명을 상세하게 설명하나, 본 발명이 하기 실시예에 제한되는 것은 아니다.
- [0023] 먼저, 본 발명에 따른 베타형 타이타늄 합금의 각 합금원소의 조성 범위를 상기와 같이 한정 한 이유는 다음과 같다.
- [0024] Mo: 6 ~ 13중량%
- [0025] Mo는 Fe와 함께 베타(β) 상을 안정화시키는 원소로서, 탄성계수를 낮추는 효과와 더불어 강도를 향상시키는 효과를 나타내는데, 고가의 Mo함량을 적정화하여 비용을 낮추면서 기계적 특성을 얻기 위해 6%이상 13%이하의 함량이 바람직하다.
- [0026] Fe: 0.1 ~ 3.9중량%
- [0027] Fe는 베타(β) 상을 안정화시키는 원소이나, 변형저항을 크게 하므로 종래에는 될 수 있으면 적게 첨가해온 원소이나, 본 발명에서는 다른 베타 안정화원소에 비해 저렴한 Fe를 상대적으로 많이 사용하는 것을 특징으로 하는데, Fe의 함량이 0.1중량% 미만일 경우 베타 안정화효과가 충분하지 않고, 3.9중량%를 초과할 경우 변형저항이 과도해져 가공성이 나빠지므로, 3.9중량% 이하가 바람직하다.
- [0028] 한편, 베타(β) 상을 안정화시켜 탄성계수가 낮은 베타형 타이타늄합금을 제조할 수 있는지에 대한 지표를 하기 [식 1]의 Mo당량으로 표현할 수 있는데, Fe와 함께 계산했을 때 Mo당량이 7.0~20.0 정도가 바람직하다.
- [0029] [식 1]
- [0030] Mo당량 = $[Mo] + 1/5[Ta] + 1/3.6[Nb] + 1/2.5[W] + 1/1.5[V] + 1.25[Cr] +$
- [0031] $1.25[Ni] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe]$
- [0032] Al: 0.1~3.9 중량%
- [0033] Al은 본 발명에 따른 β 형 타이타늄 합금의 강도 향상을 위하여 첨가하는 원소로서, Al은 열처리 과정에서 타이타늄 합금의 경도를 높여 취화(脆化)시키는 오메가(ω) 상의 석출을 억제하여, 강도와 연성을 높일 수 있고, 가공성 및 주조성을 향상시킬 수 있는 원소이므로, 본 발명에서는 선택적으로 첨가될 수 있는 원소이다. Al의 함량이 3.9중량%를 초과할 경우 경도가 지나치게 높아지고 연신율을 낮아져 가공성이 떨어지므로 Al은 3.9중량% 이하로 첨가되는 것이 바람직하다.
- [0034] 삭제
- [0035] 삭제
- [0036] 불가피한 불순물
- [0037] 불가피한 불순물은 타이타늄 합금의 원료 또는 제조과정에서 의도하지 않게 혼입될 수 있는 성분을 의미한다. 구체적으로, 산소는 타이타늄 합금의 변형능을 저하시키고, 강도의 냉간가공을 하였을 때에 균열을 발생시키는 원인이 되고 변형저항을 높이는 원인이 되므로, 0.3중량% 이하가 되도록 유지하는 것이 바람직하며, 0.18중량% 이하가 되도록 유지하는 것이 보다 바람직하다. 또한, 수소는 타이타늄 합금의 연성 및 인성을 떨어뜨리므로 적게 포함할수록 좋으며, 적어도 0.03중량% 이하로 포함하는 것이 바람직하고, 0.01중량% 이하로 포함하는 것이 보다 바람직하다. 또한, 탄소도 타이타늄 합금의 변형능을 크게 저하시키므로 적게 포함할수록 좋으며, 적어도 0.05중량% 이하가 바람직하고, 0.01중량% 이하가 보다 바람직하다. 또한, 질소도 타이타늄 합금의 변형능을 크게 저하시키므로 적게 포함할수록 좋으며, 적어도 0.02중량% 이하가 바람직하고, 0.01중량% 이하가 보다 바람직하다.
- [0038] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금은 미세조직에 있어서, 베타상의 기지(matrix)에 알파(α) 상이 혼합되어 있을 수 있고, 또한, 베타(β) 상 기지 내에 미세하게 분산된 오메가(ω) 상의 입자들을 포함할 수 있다.

[0039] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 합금을 이용하여 봉재, 각재 및 판재를 가공하는 방법은, (a) 상기 조성을 갖는 타이타늄 합금 용탕을 제조하는 단계; (b) 제조된 타이타늄 합금을 주조하여 잉곳을 만드는 단계; (c) 잉곳을 800℃ ~ 1200℃에서 열간단조하는 단계; (d) 단조된 타이타늄 합금을 25℃ ~ 650℃에서 공형압연하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0040] 상기 열간단조 및 공형압연 온도는 가공 과정에서 균열이 발생하는 것을 막고 충분한 압하율을 얻을 수 있도록 상기한 온도범위를 유지하는 것이 바람직하다.

[0041] [실시예]

[0042] ISM(Induction Skull Melting)을 사용하여 하기 표 1과 같은 조성을 갖는 타이타늄 합금을 제조하였다. 그리고 하기 표 1의 모든 합금에서 산소(O), 질소(N), 탄소(C), 수소(H)와 같은 불순물은 0.5중량% 미만인 되도록 하였다.

표 1

[0043]

합금	조성(중량%)			
	Mo	Fe	Al	Ti
실시예 1	9.2	2.2	-	Bal.
실시예 2	12.1	1.0	-	Bal.
실시예 3	9.0	2.2	2.0	Bal.
실시예 4	9.2	2.3	3.1	Bal.
실시예 5	11.7	1.3	1.2	Bal.
비교예 1	15.0	-	-	Bal.
비교예 2	3.4	4.0	-	Bal.
비교예 3	0.5	5.0	-	Bal.

[0044] 상기 표 1과 같은 조성으로 용해된 합금의 용탕을 직경 100mm× 높이 90mm 크기의 잉곳으로 주조하였다.

[0045] 본 발명자들은 상기 표 1의 합금 중에서, 수송기기의 서스펜션용에 적용할 수 있을 정도의 기계적 특성을 얻을 수 있는 합금을 선택하기 위하여 제조한 잉곳을 1100℃로 가열한 후 열간단조기에 장입하여 열간단조를 수행하여 길이 120mm, 폭 60mm, 높이 40mm의 치수를 갖는 소재를 만들었다.

[0046] 이와 같이 열간단조한 소재에 대해 인장특성을 평가하였으며, 그 결과는 하기 표 2와 같았다.

표 2

[0047]

합금	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
실시예 1	1198	1204	10
실시예 2	769	887	8.5
실시예 3	772	895	17
실시예 4	809	934	8.0
실시예 5	655	806	16
비교예 1	896	898	18
비교예 2	1088	1192	5.4
비교예 3	780	916	10

[0048] * 비교예 1은 기존에 개발된 소재의 인장특성임

[0049] * 비교예 2와 3은 봉재형태로 제조된 시험편을 이용하여 측정한 인장특성임

[0050] 평가결과 상기 표 2와 같이, 본 발명의 실시예 1에 따른 합금은 인장강도가 1200MPa을 초과하고 연신율이 10%에 달해 본 발명에서 목적하는 물성에 매우 근접한 특성을 나타내어 추가 가공공정에 의해 목표가 달성될 수 있음이 확인되었다.

- [0051] 또한, 실시예 2에서 실시예 5까지 모두 인장강도가 1000MPa이하이나 연신율이 우수한 편이고 무엇보다 탄성계수가 95GPa이하의 값을 가지고 있어, 후속 가공공정을 통해 추가적인 강도향상이 가능하므로 수송기기 서스펜션용 스프링재에 적용할 수 있다.
- [0052] 이를 확인하기 위해 Mo와 Fe 함량이 거의 동일한 실시예 2와 5, 실시예 3과 4로부터 각각 실시예 2와 실시예 3을 선택하여 후가공 공정을 실시하여 인장특성 및 탄성 특성을 측정하였다.
- [0053] 그러나 비교예 1, 비교예 2 및 비교예 3의 경우 봉재형태의 후가공 공정을 마친 상태이거나, 또는 인장특성이 너무 낮거나 탄성계수가 높아 스프링재에 적용하기 어려움을 알 수 있다.
- [0054] 상기의 상온인장특성을 바탕으로 유력한 후보인 실시예 1과 실시예 2, 그리고 실시예 3에 따라 제조된 타이타늄 합금의 잉곳을 상기한 방법으로 단조하여 각형 또는 봉형으로 제조한 타이타늄 합금을 600℃로 가열한 후, 3패스의 공형압연을 통해, 직경 16mm~20mm, 길이 500mm 이상의 치수를 갖는 봉재를 제조하였다.
- [0055] 이러한 과정을 통해 얻은 봉재의 중앙 부위에서 시편을 채취하여 기계적 특성을 평가하였다.
- [0056] 먼저, 공형압연한 봉재의 미세조직을 광학현미경과 투과전자현미경을 사용하여 분석하였으며, 광학현미경 분석용 시편은 표준 금속학적 준비과정을 통해 준비되었는데, 먼저 시편을 경면연마한 후에 크롬 에칭액을 사용하여 에칭하였다.
- [0057] 또한, 투과전자현미경 시편은 60 μ m 두께로 그라인딩한 후, 부탄올 35%-퍼클로릭산 6%-메탄올)로 이루어진 용액에서 60V의 조건으로 트윈-젯 폴리싱을 하여 준비하였다.
- [0058] 도 1a 내지 1e는 각각 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 5의 합금조성을 갖는 잉곳을 열간단조하여 제조한 열간단조재의 광학현미경 미세조직 사진이다. 도 1a 내지 1e에서 보이는 바와 같이, 상기 합금 모두 미세조직은 평균크기 약 수백 μ m의 등축정으로 이루어진 β 상을 기지조직으로 하고 있으며, 일부 알파상이 석출되어 존재하는 형태의 미세조직으로 이루어져 있다.
- [0059] 그런데, 공형압연된 봉재의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 도 2a 및 2b의 경우, 열간단조재에서 뚜렷하게 구별되었던 미세조직의 결정립들이 후속 공형압연 가공과정에 의해 뚜렷한 형상의 결정립계가 사라지고 심한 소성변형을 일으킨 파형(wave) 형상의 미세조직을 가지는 것을 관찰할 수 있다. 한편, 투과전자현미경을 이용하여 DFI (Dark Field Image)로 미세조직을 관찰해 보면 일부 영역에서 미세하게 존재하는 수 나노미터 ~ 수십 나노미터 크기의 미세한 오메가(ω)상이 일부 관찰되었다.
- [0060] 다음으로, 본 발명의 실시예 및 비교예에 따라 제조한 봉재의 인장특성 및 탄성계수를 측정한 결과, 하기 표 3과 같았다.

표 3

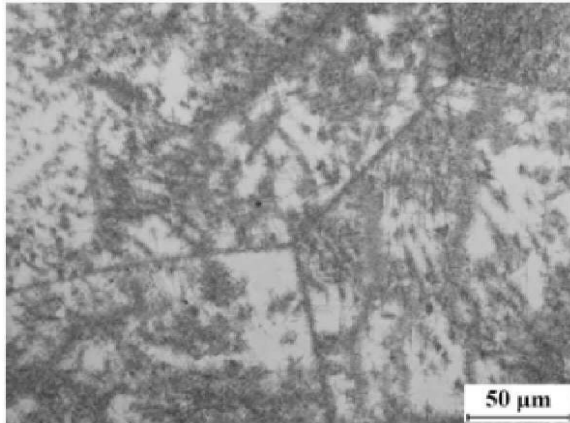
[0061]	시편	조성	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	탄성계수 (GPa)
	실시예 1	Ti-9.2Mo-2.2Fe	1330	1352	7.0	88
	실시예 2	Ti-12.1Mo-1Fe	1440	1501	10.1	85
	실시예 3	Ti-9Mo-2.2Fe-2Al	1386	1498	6.9	76
	비교예 2	Ti-3.4Mo-4Fe	1088	1192	5.4	93
	비교예 3	Ti-0.5Mo-5Fe	780	916	10	96

- [0062] 상기 표 3에서 확인되는 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 합금 봉재는 인장강도가 1300MPa 이상이고 탄성계수는 95GPa 미만으로 수송기기 서스펜션용 스프링재를 비롯하여 고강도 저탄성, 고반발 특성을 갖는 다양한 분야의 부품에서 요구되는 물성을 만족한다.
- [0063] 특히 실시예 2에 따른 합금 봉재의 경우, 인장강도가 1501MPa로 매우 높은데도 연신율이 10% 수준으로 가공성도 매우 양호할 뿐 아니라 탄성계수도 85GPa로 낮아, 특히 자동차 서스펜션 스프링재와 같은 스프링재에 적합하게 사용될 수 있다.
- [0064] 실시예 3에 따른 합금 봉재의 경우도 인장강도 1498MPa의 매우 높은 수치에 연신율 약 7%, 그리고 탄성계수가 76GPa로 고강도 저탄성 특성이 요구되는 다양한 분야의 부품에 적합하게 사용될 수 있다.
- [0065] 또한, 본 발명에 따른 합금 봉재는 베타안정화원소로 저가의 철(Fe)을 사용하고, 상용화소재인 Ti-15Mo에 비해

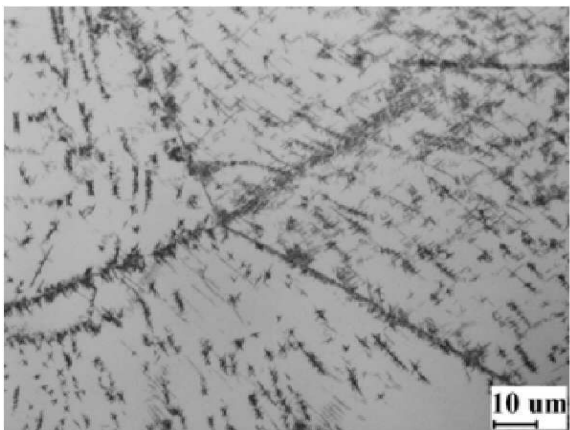
저렴한 비용에 우수한 기계적 특성을 확보할 수 있음으로써, 종래의 타이타늄 합금에 비해 제조비용을 낮출 수 있으면서도, 종래의 타이타늄 합금에 비해 우수한 인장특성과 함께 탄성특성을 얻을 수 있다.

도면

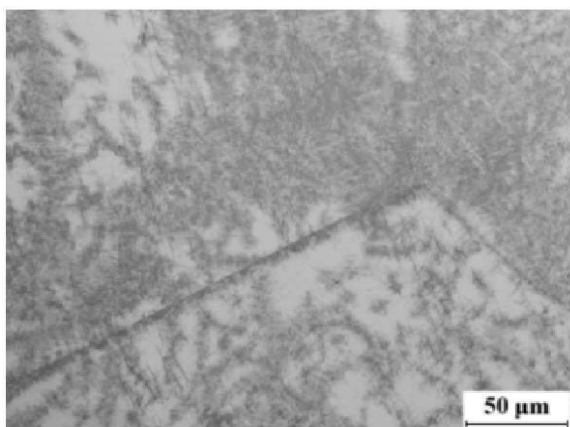
도면1a



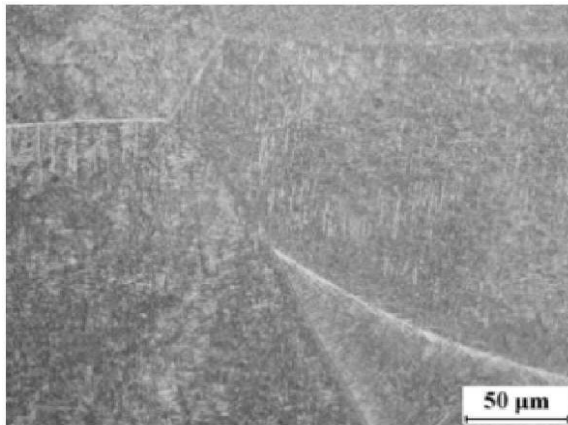
도면1b



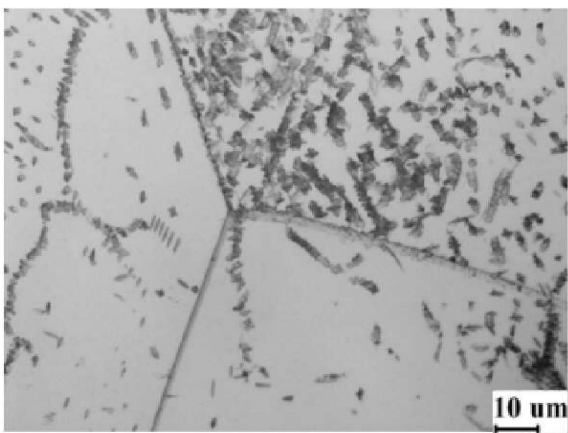
도면1c



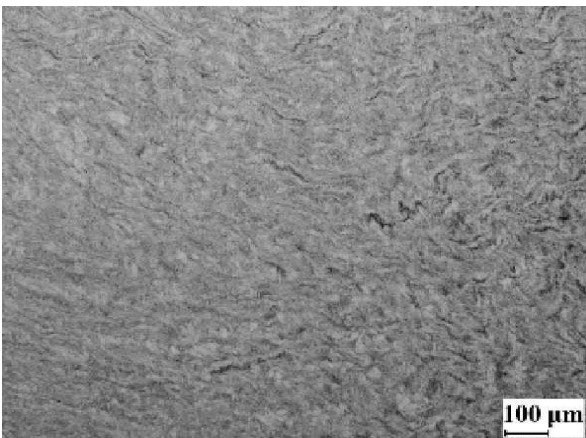
도면1d



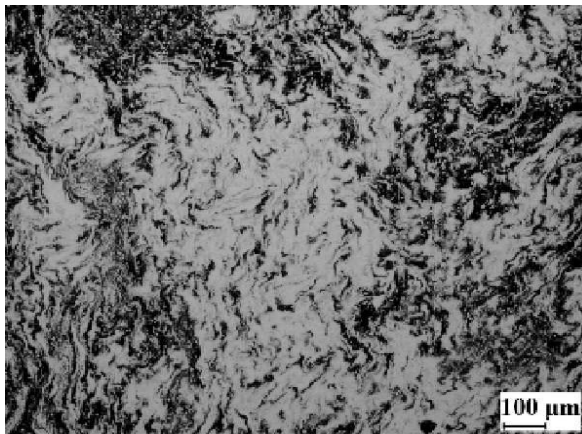
도면1e



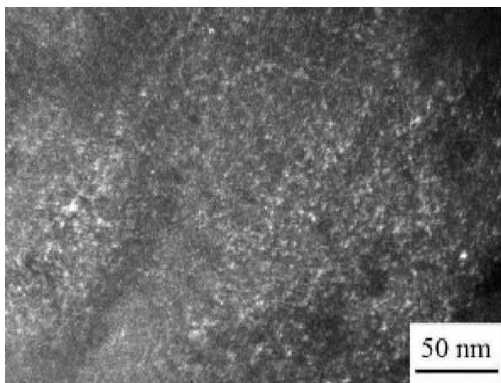
도면2a



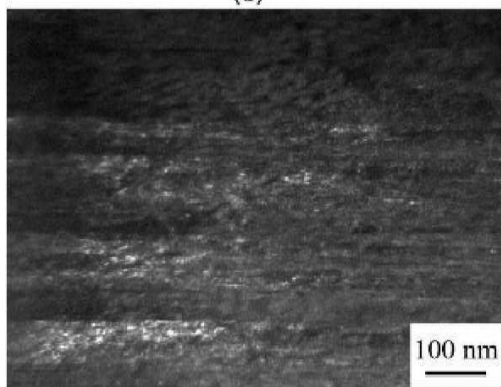
도면2b



도면3



(a)



(b)