(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월22일
(11) 등록번호 10-2434519
(24) 등록일자 2022년08월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01) *C22C 1/02* (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C22C 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0191855
(22) 출원일자 2021년12월29일
심사청구일자 2021년12월29일
(56) 선행기술조사문헌
WO1996033292 A1*
CN102965543 A
JP2010031314 A
JP2005060821 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
염종택
경상남도 김해시 번화1로 168 (심문동, 젤미마을10단지한림리츠빌)
박찬희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18 (상남동, 상남꿈에그린)
홍재근
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79 유니온빌리지
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 구본승

(54) 발명의 명칭 **페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법 및 고강도 타이타늄 합금**

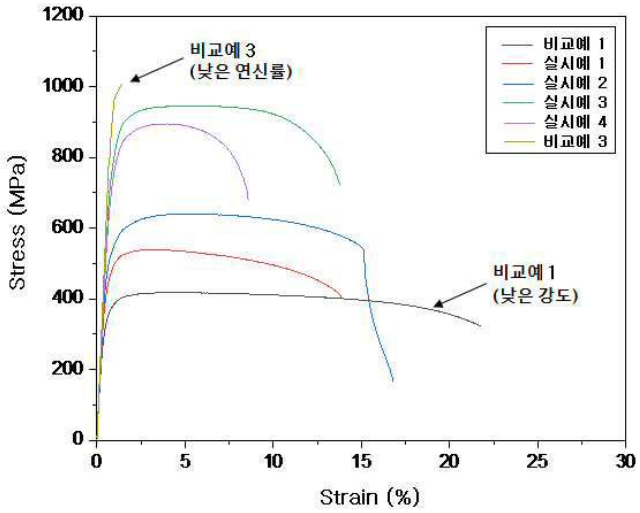
(57) 요 약

페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법 및 고강도 타이타늄 합금에 대하여 개시한다.

본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금 제조 방법은 (a) 순수 타이타늄(Ti)에 크롬(Cr), 철(Fe), 실리콘(Si) 및 탄소(C)를 포함하는 페로크롬을 첨가하는 단계;

(b) 상기 (a) 단계의 결과물을 용해시킨 후 냉각하여 타이타늄 합금 모재를 형성하는 단계; 및 (c) 타이타늄 합금 모재를 열간 성형하는 단계;를 포함하고, 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 상기 페로크롬이 4 중량% 미만으로 첨가되는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도3a



(52) CPC특허분류
C22F 1/183 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 0000000000
과제번호 20016572
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 소재부품기술개발사업-소재부품패키지형기술개발사업
연구과제명 플라즈마 아크 용해공정을 활용한 1톤급 고청정 Ti 잉곳 및 고기능성 열간 압연재(와이어로드, 열연 판재) 개발(1단계)(1/4)
기 여 율 1/1
과제수행기관명 (주)동아특수금속
연구기간 2021.04.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 순수 타이타늄(Ti)에 크롬(Cr), 철(Fe), 실리콘(Si) 및 탄소(C)를 포함하는 페로크롬을 첨가하는 단계;

(b) 상기 (a) 단계의 결과물을 용해시킨 후 냉각하여 타이타늄 합금 모재를 형성하는 단계; 및

(c) 타이타늄 합금 모재를 열간 성형하는 단계;를 포함하고,

상기 페로크롬은 철(Fe): 20~35 중량%, 실리콘(Si): 1~4 중량%, 탄소(C): 0.15 중량% 이하를 포함하고, 나머지 크롬(Cr)과 불가피한 불순물로 이루어지며,

타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 상기 페로크롬이 4 중량% 미만으로 첨가되어,

제조되는 타이타늄 합금이 크롬(Cr): 0.1~3.0 중량%, 철(Fe): 0.1~1.0 중량%, 실리콘(Si): 0.01~0.1 중량%, 산소(O): 0.4 중량% 이하를 포함하고, 나머지 타이타늄(Ti)과 불가피한 불순물로 이루어지며, 861~1165 MPa의 인장강도를 갖는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 상기 페로크롬이 0.5~2 중량%로 첨가되는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 열간 성형은 800~850 ℃에서 90% 이하의 성형률로 수행되는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금 제조 방법.

청구항 4

크롬(Cr): 0.1~3.0 중량%, 철(Fe): 0.1~1.0 중량%, 실리콘(Si): 0.01~0.1 중량%, 산소(O): 0.4 중량% 이하를 포함하되 크롬(Cr)의 함량이 철(Fe)의 함량보다_더 크며, 나머지 타이타늄(Ti)과 불가피한 불순물로 이루어지고,

861~1165 MPa의 인장강도를 갖는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 타이타늄 합금은 이하의 식 1로 표현되는 몰리브덴 당량([Mo]eq.)이 5 이하이고, 840~930 ℃의 베타변태점을 갖는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금.

[식 1]

$$[Mo]eq. = [Mo] + 0.2[Ta] + 0.28[Nb] + 0.4[W] + 0.67[V] + 1.25[Cr]+1.25[Ni] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe]$$

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 타이타늄 합금은 460~1280 MPa의 항복강도 및 95~105 GPa의 영률을 갖는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고강도 타이타늄 제조 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법에 관한 것이다.

[0002] 또한, 본 발명은 양호한 연신율과 함께 고강도를 나타낼 수 있는 타이타늄 합금에 관한 것이다.

[0003]

배 경 기 술

[0004] 타이타늄은 우수한 비강도를 비롯하여 내식성과 생체적합성이 탁월하여 항공 우주, 국방, 에너지 산업, 의료 및 생활소비재 등 광범위한 산업분야에 널리 활용되고 있다.

[0005] 일반적으로 타이타늄 합금의 종류는 상온에서의 안정상을 기준으로 순수 타이타늄, 알파(α) 합금, 알파-베타(α-β) 합금, 베타(β) 합금으로 구분된다. 이 중 알파 합금은 크리프 강도와 용접성 등이 우수하고, 베타 합금의 경우 가공성이 증가하는 것으로 알려져 있다.

[0006] 순수 타이타늄은 가격적인 측면에서 다른 타이타늄 합금에 비해 저렴하고, 성형성, 용접성, 가공성, 내식성이 우수하다. 다만, 순수 타이타늄은 강도가 낮아 응용 분야의 한계를 가진다. 타이타늄에 대한 적용 분야의 대부분은 고강도의 특성을 요구하고 있으며, 이 경우 합금원소를 다량 첨가하여 고가화될 우려를 야기시키고 있다.

[0007] 따라서, 가격 상승을 최소화하면서 우수한 강도, 성형성, 용접성, 가공성, 내식성, 생체적합성 등의 특성을 제어할 수 있는 비교적 저렴한 원소들로 구성된 타이타늄 합금과 그 제조 방법에 대한 개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-1835408호(2012.05.16. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법을 제공하는 것이다. 특히, 본 발명에서는 페로크롬을 합금 첨가재로 이용하여 타이타늄 합금의 제조 비용을 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 강도 및 연신율 확보 측면에서도 유리한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0011] 또한 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 양호한 연신율과 함께 고강도를 갖는 타이타늄 합금을 제공하는

것이다.

[0012] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 과제들 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 발명의 과제들 및 장점들은 청구범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

[0013]

과제의 해결 수단

[0014] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 고강도 타이타늄 합금 제조 방법은 (a) 순수 타이타늄(Ti)에 크롬(Cr), 철(Fe), 실리콘(Si) 및 탄소(C)를 포함하는 페로크롬을 첨가하는 단계; (b) 상기 (a) 단계의 결과물을 용해시킨 후 냉각하여 타이타늄 합금 모재를 형성하는 단계; 및 (c) 타이타늄 합금 모재를 열간 성형하는 단계;를 포함하고, 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 상기 페로크롬이 4 중량% 미만으로 첨가되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 상기 페로크롬이 0.5~2 중량%로 첨가되는 것이 보다 바람직하다.

[0016] 상기 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 산소(O)가 0.4 중량% 이하로 포함될 수 있다.

[0017] 상기 페로크롬은 철(Fe): 20~35 중량%, 실리콘(Si): 1~4 중량%, 탄소(C): 0.15 중량% 이하를 포함하고, 나머지 크롬(Cr)과 불가피한 불순물로 이루어질 수 있다.

[0018] 상기 열간 성형은 800~850 ℃에서 90% 이하의 성형률로 수행될 수 있다.

[0020] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 고강도 타이타늄 합금은 크롬(Cr): 0.1~3.0 중량%, 철(Fe): 0.1~1.0 중량%, 실리콘(Si): 0.01~0.1 중량%, 산소(O): 0.4 중량% 이하를 포함하고, 나머지 타이타늄(Ti)과 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 타이타늄 합금은 이하의 식 1로 표현되는 몰리브덴 당량([Mo]eq.)이 5 이하이고, 840~930 ℃의 베타변태점을 가질 수 있다 ([A]는 A의 중량%).

[0022] [식 1]

[0023] [Mo]eq. = [Mo] + 0.2[Ta] + 0.28[Nb] + 0.4[W] + 0.67[V] + 1.25[Cr]+1.25[Ni] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe]

[0024] 상기 타이타늄 합금은 540~1370 MPa의 인장강도, 460~1280 MPa의 항복강도 및 95~105 GPa의 영률을 가질 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금 제조 방법에 의하면, 인체에 무해한 원소(Cr, Fe, Si 등)로 구성된 저탄소 페로크롬(low-carbon ferrochrome)을 순수 타이타늄(commercial pure titanium)의 첨가 합금재로 활용함으로써 Cr, Fe, Si 등 개별원소로 첨가하는 것에 비해 원재료 가격 측면에서 그리고 공정 측면에서 비용을 낮출 수 있을 뿐만 아니라 강도 및 연신율 확보 측면에서도 유리한 효과를 제공할 수 있다.

[0027] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

[0028]

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1a는 순수 타이타늄(Ti-0.050) 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 1b는 순수 타이타늄(Ti-0.050)에 페로크롬이 4중량% 첨가된 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 1c는 순수 타이타늄(Ti-0.050)에 페로크롬이 0.5중량% 첨가된 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 2a는 순수 타이타늄(Ti-0.390) 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 2b는 순수 타이타늄(Ti-0.390)에 페로크롬이 4중량% 첨가된 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 2c는 순수 타이타늄(Ti-0.390)에 페로크롬이 0.5중량% 첨가된 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

도 3a는 비교예 시편 1, 3 및 실시예 시편 1~4에 대한 기계적 특성을 나타낸 것이다.

도 3b는 비교예 시편 2, 4 및 실시예 시편 5~8에 대한 기계적 특성을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 전술한 목적, 특징 및 장점은 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0031] 이하에서는, 본 발명의 몇몇 실시예에 따른 페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법 및 고강도 타이타늄 합금에 대하여 설명하도록 한다.

[0033] 순수 타이타늄의 강도를 증가하는 방법으로, 합금원소를 첨가하여 강도를 높이는 방법과 소성가공 및 열처리를 통해 내부의 결정립을 작게 하여 강도를 높이는 방법이 있다. 그러나, 이러한 방법은 합금원소를 첨가하고 별도의 결정립 미세화 공정이 추가되기 때문에 가격 상승의 원인이 된다. 또한, 소성가공 및 열처리를 통해 결정립을 미세화하는 방법의 경우, 공정에 따라 제조되는 타이타늄 합금의 기계적 특성의 변화가 크게 발생하며, 실제 생산공정에 직접적으로 적용하기 어려운 공정이 도출될 수 있는 단점이 있다.

[0034] 따라서, 소성가공 및 열처리를 통해 결정립을 미세화하는 방법보다는 합금원소를 첨가하는 방법이 더 유리하다고 볼 수 있다. 특히 저렴한 합금원소를 선택하여 합금화하는 것이 가격 상승을 최소화하고 강도를 증가시키는데 있어 가장 바람직한 방법이라 볼 수 있다. 나아가, 생체 안정성 확보를 위해, 독성이 있는 원소인 Co, Cu, Ni, V 등을 첨가하지 않은 것이 바람직하며, 본 발명에 따른 타이타늄 합금에는 이들 원소들이 포함되지 않으며, 예외적으로 불순물로 불가피하게 포함될 수는 있다.

[0035] 본 발명자들은 오랜 연구 결과, 순수 타이타늄에 대해 독성이 없고 용해가 용이한 Fe, Cr, Si 등이 포함되어 있는 페로크롬(Ferrochrome)을 첨가하여 합금화하는 방법을 개발하였다. 특히 페로크롬(Ferrochrome)에 포함되어 있는 원소인 Si의 경우 용해시 핵생성 사이트를 제공하여 용해된 잉곳의 결정립을 미세화하는 특징을 추가적으로 기대할 수 있다. 이를 통해 순수 타이타늄을 기지로 한 새로운 Ti-Cr-Fe-Si 합금을 개발하였다.

[0036] 이하, 페로크롬을 이용한 고강도 타이타늄 합금 제조 방법에 대하여 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0037] 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금 제조 방법은 순수 타이타늄(Ti)에 크롬(Cr), 철(Fe), 실리콘(Si) 및 탄소(C)를 포함하는 페로크롬을 첨가하는 단계와, 순수 타이타늄과 페로크롬을 용해시킨 후 냉각하여 타이타늄 합금 모재를 형성하는 단계와, 타이타늄 합금 모재를 열간 성형하는 단계를 포함한다.

[0038] 순수 타이타늄과 페로크롬의 용해는 진공용해법, 전자빔 용해법, 플라즈마 아크 용해법, 비소모전극식 아크 용해법 또는 유도스컬 용해법 등 공지된 다양한 방법이 이용될 수 있다. 열간 성형은 열간 압연, 열간 단조 등의 방식으로 수행될 수 있다. 열간 성형은 800~850 ℃에서 90% 이하의 성형률(forming ratio)로 수행될 수 있다. 성형률은 압연의 경우 압하율로 표현될 수 있다. 본 발명의 경우, 이하에서 설명하는 바와 같이 페로크롬이 4중량% 미만으로 첨가되며, 그 결과 800~850 ℃에서 성형률 90%로 성형을 진행하더라도 크랙이 발생하지 않는 효과를 제공할 수 있다.

[0039] 열간 성형 후 냉각은 수냉, 공냉, 로냉 등 다양한 방법이 이용될 수 있다. 냉각 방식은 열간 성형 이후에 추가의 열간 공정 유무에 따라 결정될 수 있는데, 예를 들어 추가의 열간 공정이 존재하지 않는다면 열간 성형 후 수냉이 수행될 수 있다. 열간 성형 후에는 균질화 처리, 용체화 처리, 시효 처리 등의 열처리가 추가로 수행될 수 있다.

[0040] 페로크롬의 용해와 관련하여 한가지 특징은 페로크롬을 용해할 때의 온도가 크롬, 철, 실리콘 등을 개별적으로 용해할 때보다 현저히 낮으며, 타이타늄의 융점과 유사하다는 것이다. 이를 통해 페로크롬은 상대적으로 낮은 온도에서 순수 타이타늄과 함께 용해가 가능하며, 이에 따라 타이타늄 합금 제조 비용을 저감할 수 있다.

[0041] 본 발명에서는 페로크롬의 첨가량이 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 4 중량% 미만인 것이 바람직하다. 보다

바람직하게는 3중량% 이하이고, 가장 바람직하게는 0.5~2중량%이다. 페로크롬이 첨가되면 순수 타이타늄에 비해 강도가 증가할 수 있다. 다만, 페로크롬의 첨가량이 4중량% 이상일 경우에는 연신율이 매우 낮으며, 크랙 발생의 우려가 있다.

[0043] 페로 크롬은 철(Fe): 20~35 중량%, 실리콘(Si): 1~4 중량%, 탄소(C): 0.15 중량% 이하를 포함하고, 나머지 크롬(Cr)과 불가피한 불순물로 이루어질 수 있다.

[0044] 크롬(Cr)은 독성이 없는 원소로서, 타이타늄 합금에서 몰리브덴(Mo)보다 높은 베타상 안정화 원소이다. 순수 타이타늄에 크롬을 첨가하면, 고용강화 효과로 인해 강도가 증가될 수 있다. 다만, 크롬이 과다하게 첨가되면 Laves Phase($TiCr_2$)상의 형성으로 성형공정에서 파단의 가능성이 크다. 예를 들어 Ti-33Zr-3Fe-2Cr 합금, Ti-33Zr-5Fe-2Cr 합금, Ti-33Zr-7Fe-2Cr 합금과 같은 타이타늄 합금에서 Cr 첨가시 Laves 상을 형성하고, 그 결과 (압축 시험시) 크랙 거동을 하는 것이 알려져 있다.

[0045] 철(Fe)은 크롬(Cr)과 마찬가지로 독성이 없으며, 몰리브덴보다 높은 베타상 안정화 원소이다. 순수 타이타늄에 철을 첨가하면, 고용강화 효과로 인해 강도가 증가될 수 있다. 다만, 철이 2중량% 이상 첨가된 타이타늄 합금의 용해시 마크로 또는 마이크로 편석을 유도할 수 있고, 일정 온도에서 열처리할 경우 상당히 취약한 상인 TiFe상을 형성할 수 있다.

[0046] 실리콘(Si)은 독성이 없는 원소로서, 타이타늄 합금 용해시 핵생성 사이트를 많이 형성하여 결정립 미세화를 유도한다. 또한 실리콘은 타이타늄 합금의 정적 강도(static strength)를 증가시키는데 기여한다. 다만, 실리콘의 함량이 0.25중량%를 초과하면, 취성이 강한 실리사이드 형성으로 인해 크랙 발생을 촉진시킬 수 있다.

[0047] 페로 크롬의 함량이 4중량% 미만일 경우, 타이타늄 합금에서 상기와 같은 크롬, 철, 실리콘의 바람직한 함량 범위를 충족시킬 수 있다.

[0048] 본 발명에 따른 타이타늄 합금에는 산소(O)가 타이타늄 합금 전체 중량에 대하여 0.4 중량% 이하로 포함될 수 있다. 산소는 침입형 원소로서, 부식 저항성에 큰 영향을 미치지 않으면서 격자를 강화시키는 고용강화 합금 원소이다. 다만, 산소가 0.4중량%를 초과하여 과다 포함되면, 저온에서의 쌍정변형을 억제시킴으로써 충격저항을 급격히 감소시킬 수 있다.

[0050] 상기와 같은 방법을 통해, 본 발명은 크롬(Cr): 0.1~3.0 중량%, 철(Fe): 0.1~1.0 중량%, 실리콘(Si): 0.01~0.1 중량%, 산소(O): 0.4 중량% 이하를 포함하고, 나머지 타이타늄(Ti)과 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 고강도 타이타늄 합금을 제공할 수 있다. 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금에서 Cr, Fe 및 Si 함량은 페로크롬의 첨가량에 따라 결정되며, 페로크롬 첨가량이 4중량% 미만, 보다 바람직하게는 3.0중량% 이하, 가장 바람직하게는 0.5~2.0중량%임에 따라 상기와 같은 Cr, Fe 및 Si 함량을 충족할 수 있다.

[0051] 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금은 이하의 식 1로 표현되는 몰리브덴 당량([Mo]eq.)이 5 이하일 수 있다.

[0052] [식 1]

[0053] [Mo]eq. = [Mo] + 0.2[Ta] + 0.28[Nb] + 0.4[W] + 0.67[V] + 1.25[Cr]+1.25[Ni] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe]

[0054] 또한 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금은 840~930 ℃의 베타변태점을 가질 수 있다.

[0055] 나아가, 실험 결과, 본 발명에 따른 고강도 타이타늄 합금은 540~1370 MPa의 인장강도, 460~1280 MPa의 항복강도 및 95~105 GPa의 영률을 가질 수 있다.

[0057] **실시예**

[0058] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 통해 본 발명의 구성 및 작용을 더욱 상세히 설명하기로 한다. 다만, 이는 본 발명의 바람직한 예시로 제시된 것이며 어떠한 의미로도 이에 의해 본 발명이 제한되는 것으로 해석될 수는 없다. 이하의 실시예에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략하기로 한다.

[0060] **1. 페로크롬 분석**

[0061] 3개의 페로크롬 시편에 대하여 다음과 같이 성분 분석을 하였다. 10 mm × 10 mm 사이즈의 각 시편의 3개 위치(Left, Center, Right)에 대하여 각각 3번씩 EDS 분석을 수행하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다.

[0062] [표 1] (단위 : 중량%)

	#1(%)	#2(%)	#3(%)	평균(%)
Si	2.58	3.81	3.42	3.27
Cr	66.80	66.31	63.84	65.65
Fe	30.61	29.87	32.74	31.07

[0063]

[0064] 3개의 시편 모두 약 66중량%의 Cr과, 약 31%의 Fe와, 약 3중량%의 Si를 함유하며, 성분들의 함량 차이는 크지 않은 것을 볼 수 있다.

[0065] 이하에서는 페로크롬 시편 #1을 대상으로 실험을 진행하였다.

[0067] 페로크롬 시편 #1의 표면산화층을 제거한 후, EDS로 O, N, H, C의 함량을 분석한 결과를 표 2에 나타내었다.

[0068] [표 2]

	O	N	H	C
중량%	0.034	0.003	0.001	0.100

[0069]

[0070] 페로크롬은 탄소 함량에 따라, 저탄소 페로크롬, 중탄소 페로크롬, 고탄소 페로크롬으로 구분되는데, 이 중 저탄소 페로크롬은 탄소 함량이 0.2중량% 이하 또는 0.15중량% 이하인 것을 의미한다. 앞서 분석된 페로크롬 시편 #1의 경우 탄소 함량이 약 0.1중량%이고, 크롬 함량이 약 67%인 바, 저탄소 페로크롬에 해당한다.

[0071] Cr, Fe 및 Si의 융점은 각각 1907℃, 1538℃ 및 1414℃이나, 탄소 함량이 0.15중량% 이하인 저탄소 페로크롬의 융점은 약 1620℃로 알려져 있다. 또한, 타이타늄의 융점은 1668℃이다.

[0073] 타이타늄에서 O, N, C, H 등은 파괴연성을 저하시키는 주요 원소로 특별한 관리가 요구된다. 순수 타이타늄에서 이들 원소들은 표 3에 나와 있는 중량% 이하로 관리하여야 한다(국가별 허용치 극소량 차이 존재). 특히 H 는 소량 첨가시에도 파괴연성을 저하시키므로 다른 원소에 비해 특별한 관리가 요구된다.

[0074] [표 3]

등급	O	N	C	Fe	H
Grade 1	0.18 max	0.03 max	0.10 max	0.20 max	0.015 max
Grade 2	0.25 max	0.03 max	0.10 max	0.30 max	0.015 max
Grade 3	0.35 max	0.05 max	0.10 max	0.30 max	0.015 max
Grade 4	0.40 max	0.05 max	0.10 max	0.50 max	0.015 max

[0075]

[0076] 앞서 분석된 페로크롬 시편 #1의 경우, 저탄소 페로크롬이고, 표 3의 O, N, C, H 등의 원소에 대한 최대 중량% 이하를 만족하고 있다.

[0078] 타이타늄 합금 시편의 제조

[0079] 순수 타이타늄(Ti-0.050 및 Ti-0.390)과 표 4에 기재된 함량의 페로크롬을 유도스컬 용해로에서 용해하여 타이타늄 합금을 형성한 후, 냉각하여 폭 10㎜ × 길이 30㎜ × 두께 10㎜의 잉곳들을 제조하였다.

[0080] 잉곳들을 830℃ ±20℃에서 표 4에 기재된 약 90%의 성형률(forming ratio)로 압연한 후 수냉하여, 비교예 1~2 및 실시예 1~8에 따른 타이타늄 합금 시편을 제조하였다.

[0082] 표 4는 비교예 1~2 및 실시예 1~8에 따라 제조된 타이타늄 합금 시편에 있어서, 페로크롬 함량에 따른 Mo 당량과 베타변태점을 나타낸 것이다. 그리고, 표 5는 실시예 1~8에 따른 타이타늄 합금 시편에서 첨가된 페로크롬에 따른 Cr, Fe 및 Si의 함량을 나타낸 것이다.

[0083] [표 4]

	No.	페로크롬 (wt.%)	O (wt.%)	성형률 (%)	Mo 당량	베타변태점 (℃)
비교예	1	0	0.05	87.15	0	891
	2	0	0.39	88.21	0	935
실시예	1	0.5	0.05	88.49	0.8	883
	2	1	0.05	90.04	1.6	874
	3	2	0.05	88.41	3.2	855
	4	3	0.05	88.43	4.8	840
	5	0.5	0.39	89.79	0.8	930
	6	1	0.39	87.53	1.6	922
	7	2	0.39	87.31	3.2	910
	8	3	0.39	87.52	4.8	900

[0084]

[0085] [표 5]

	순번	페로크롬 (wt.%)	Cr(wt.%)	Fe(wt.%)	Si (wt.%)	O(wt.%)
비교예	1	0	0	0	0	0.05
	2	0	0	0	0	0.39
실시예	1	0.5	0.33	0.155	0.015	0.05
	2	1	0.66	0.31	0.03	0.05
	3	2	1.32	0.62	0.06	0.05
	4	3	1.98	0.93	0.09	0.05
	5	0.5	0.33	0.155	0.015	0.39
	6	1	0.66	0.31	0.03	0.39
	7	2	1.32	0.62	0.06	0.39
	8	3	1.98	0.93	0.09	0.39

※ Cr:Fe:Si = 66:31:3

[0086]

[0087] 도 1a는 순수 타이타늄(Ti-0.050) 시편인 비교예 1에 따른 시편의 상분율을 나타낸 것이다. 도 1b는 순수 타이타늄(Ti-0.050)에 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 상분율을 나타낸 것이다. 도 1c는 순수 타이타늄(Ti-0.050)에 페로크롬이 0.5중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

[0088] 도 1a 내지 도 1c에 이용된 순수 타이타늄(Ti-0.050)은 산소 함량이 약 0.05중량%인 Grade 1 또는 Grade 2에 해당한다.

[0089] 표 4 및 도 1a를 참조하면, 순수 타이타늄(Ti-0.050)의 경우, 약 890℃ 이상의 고온에서는 베타 상으로 존재하고, 그 이하의 저온에서는 실질적으로 알파 상으로만 존재하는 것을 볼 수 있다.

[0090] 그러나, 표 4 및 도 1b를 참조하면, 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 경우, 약 850℃ 이상의 고온에서는 베타 상으로 존재하고, 600~850℃에서는 베타 상과 알파 상이 공존하며, 약 600℃ 이하에서는 알파 상으로 존재하는 것을 볼 수 있다. 특히, 도 1b를 참조하면, 고온 베타 상에서 저온 알파 상으로 상변태되는 도중에 600~650℃ 구간에서 $TiCr_2$가 석출된 것을 볼 수 있다. 이러한 $TiCr_2$가 과다하면 성형 공정에서 파단 가능성이 있다.

[0091] 한편, 도 1c를 참조하면, 페로크롬이 0.5중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 경우, 도 1b와 달리 석출물이 거의 형성되지 않아, 성형 공정에서 보다 유리하다고 볼 수 있다.

[0093] 도 2a는 순수 타이타늄(Ti-0.390) 시편인 비교예 2에 따른 시편의 상분율을 나타낸 것이다. 도 2b는 순수 타이타늄(Ti-0.390)에 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 상분율을 나타낸 것이다. 도 2c는

순수 타이타늄(Ti-0.390)에 페로크롬이 0.5중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 상분율을 나타낸 것이다.

[0094] 도 2a 내지 도 2c에 이용된 순수 타이타늄(Ti-0.390)은 산소 함량이 약 0.39중량%인 Grade 4에 해당한다고 볼 수 있다.

[0095] 표 4 및 도 2a를 참조하면, 순수 타이타늄(Ti-0.390)의 경우, 약 930℃ 이상의 고온에서는 베타 상으로 존재하고, 그 이하의 저온에서는 실질적으로 알파 상으로만 존재하는 것을 볼 수 있다.

[0096] 그러나, 표 4 및 도 2b를 참조하면, 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 경우, 약 910℃ 이상의 고온에서는 베타 상으로 존재하고, 600~910℃에서는 베타 상과 알파 상이 공존하며, 600℃ 이하에서는 알파 상으로 존재하는 것을 볼 수 있다. 특히, 도 2b를 참조하면, 고온 베타 상에서 저온 알파 상으로 상변태되는 도중에 약 600~650℃에서 $TiCr_2$가 석출된 것을 볼 수 있다.

[0097] 한편, 도 2c를 참조하면, 페로크롬이 0.5중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편의 경우, 도 2b와 달리 석출물이 거의 형성되지 않은 것을 볼 수 있다.

[0099] 도 3a 및 도 3b는 비교예 시편 1~4 및 실시예 시편 1~8에 대한 기계적 특성을 나타낸 것이다.

[0100] 비교예 3에 따른 시편은 순수 타이타늄(Ti-0.050)에 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편이고, 비교예 4에 따른 시편은 순수 타이타늄(Ti-0.390)에 페로크롬이 4중량% 첨가되어 제조된 타이타늄 합금 시편이다.

[0101] 기계적 특성은 각 타이타늄 합금 시편에 대하여 상온에서 변형속도 1.5 mm/min 조건으로 인장시험하여 얻었다.

[0102] 비교예 시편 1~2 및 실시예 시편 1~8에 대한 기계적 특성을 표 6에 나타내었다.

[0103] [표 6]

	순번	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)	영률 (MPa)
비교예	1	418	352	21.8	93
	2	758	672	23.1	103
실시예	1	540	460	13.9	99
	2	640	514	16.8	98
	3	946	803	13.7	101
	4	895	756	8.6	105
	5	861	786	12.7	95
	6	960	885	11.4	105
	7	1165	1072	11	103
	8	1370	1280	2.2	104

[0104]

[0105] 도 3a, 도 3b 및 표 6을 참조하면, 페로크롬이 첨가되지 않은 비교예 1 ~ 2에 따른 순수 타이타늄 시편들의 경우, 418 ~ 758MPa의 인장강도와 352 ~ 672MPa의 항복강도를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이에 반해, 순수 타이타늄에 페로크롬이 3.0중량% 이하로 첨가하여 제조된 타이타늄 합금 시편들의 경우, 540 ~ 1370MPa의 인장강도와 460 ~ 1280MPa의 항복강도를 갖는 것을 볼 수 있다. 즉, 페로크롬이 첨가되어 제조된 타이타늄 합금의 경우, 순수 타이타늄에 비해 강도가 상승하는 것을 볼 수 있다.

[0107] 표 7은 비교예 1~4에 따른 시편과 실시예 1~8에 따른 시편의 연신율 측정 결과 및 크랙발생 관찰 결과를 나타낸 것이다.

[0108] [표 7]

	순번	페로크롬 (wt.%)	O (wt.%)	연신율 (%)	크랙발생
비교예	1	0	0.05	21.8	-
	2	0	0.39	23.1	-
	3	4	0.05	1.4	X
	4	4	0.39	1.1	O
실시예	1	0.5	0.05	13.9	X
	2	1	0.05	16.8	X
	3	2	0.05	13.7	X
	4	3	0.05	8.6	X
	5	0.5	0.39	12.7	X
	6	1	0.39	11.4	X
	7	2	0.39	11	X
	8	3	0.39	2.2	X

[0109]

[0110] 도 3a, 도 3b 및 표 7을 참조하면, 비교예 1, 실시예 1~4 및 비교예 3을 비교할 때, 그리고 비교예 2, 실시예 5~8 및 비교예 4를 비교할 때, 순수 타이타늄 시편에 페로크롬이 첨가됨에 따라 연신율은 감소하는 경향을 보인다.

[0111] 그러나, 비교예 3 ~ 4의 경우 산소 농도가 0.05~0.39중량%가 포함된 순수 타이타늄에 4.0중량%로 페로크롬을 첨가한 경우, 연신율이 1.1 ~ 1.4로 급격히 감소하나, 실시예 1 ~ 8의 경우 산소 농도가 0.05~ 0.39중량%가 포함된 순수 타이타늄에 4.0중량% 미만, 보다 구체적으로 3.0중량% 이하로 페로크롬을 첨가한 경우 급격한 연신율 감소없이 연신율 범위가 2.2 ~ 16.8%로 나타났다. 즉, 실시예 1~4 및 비교예 3을 비교할 때, 그리고 실시예 5~8 및 비교예 4를 비교할 때, 4중량% 미만의의 페로크롬의 첨가는 급격한 연신율의 감소를 가져오지 않으나, 4중량% 또는 그 이상의 페로크롬을 첨가하는 경우 급격한 연신율의 감소를 가져오는 것을 알 수 있다.

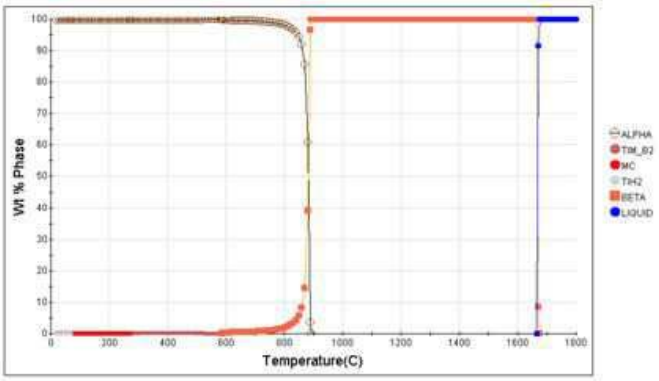
[0112] 나아가, 실시예 1~3과 실시예 4, 실시예 5~7과 실시예 8을 비교하면, 페로크롬의 첨가량이 0.5~2.0중량%인 경우에 비해, 페로크롬의 첨가량이 3.0중량%인 경우 연신율의 저하 정도가 더 크게 나타남을 볼 수 있다. 따라서, 강도 및 연신율을 고려할 때 페로크롬의 첨가량은 0.5~2.0중량%인 것이 가장 바람직하다고 볼 수 있다.

[0113] 또한, 표 7을 참조하면, 비교예 4에 따른 타이타늄 합금 시편의 경우, 크랙이 발생하였으나, 실시예 1~8에 따른 타이타늄 합금 시편의 경우 크랙이 발생하지 않은 것을 볼 수 있다.

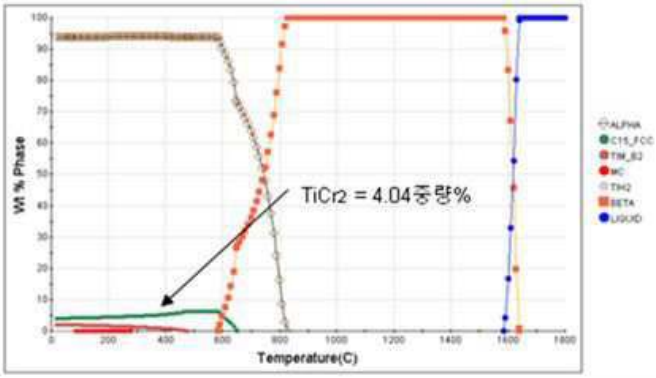
[0115] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시 예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시 예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을 지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다.

도면

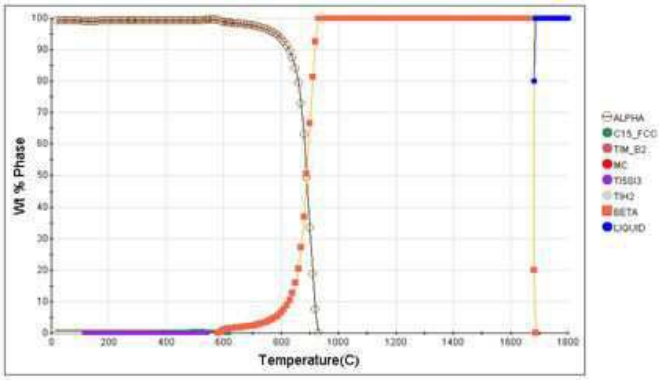
도면1a



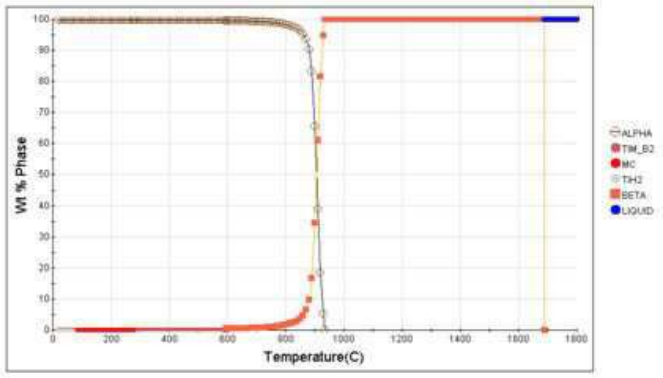
도면1b



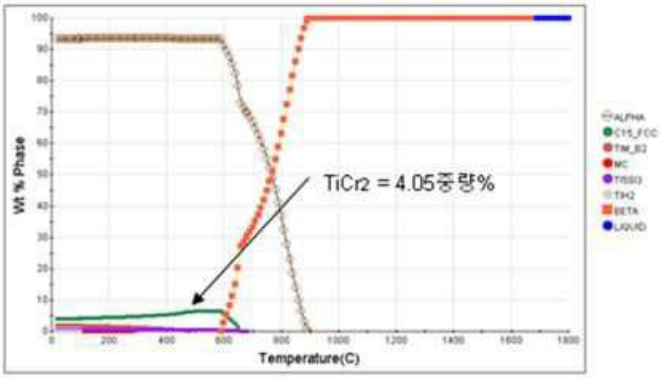
도면1c



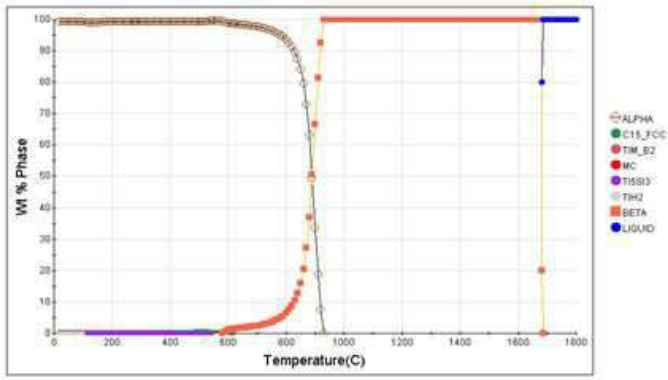
도면2a



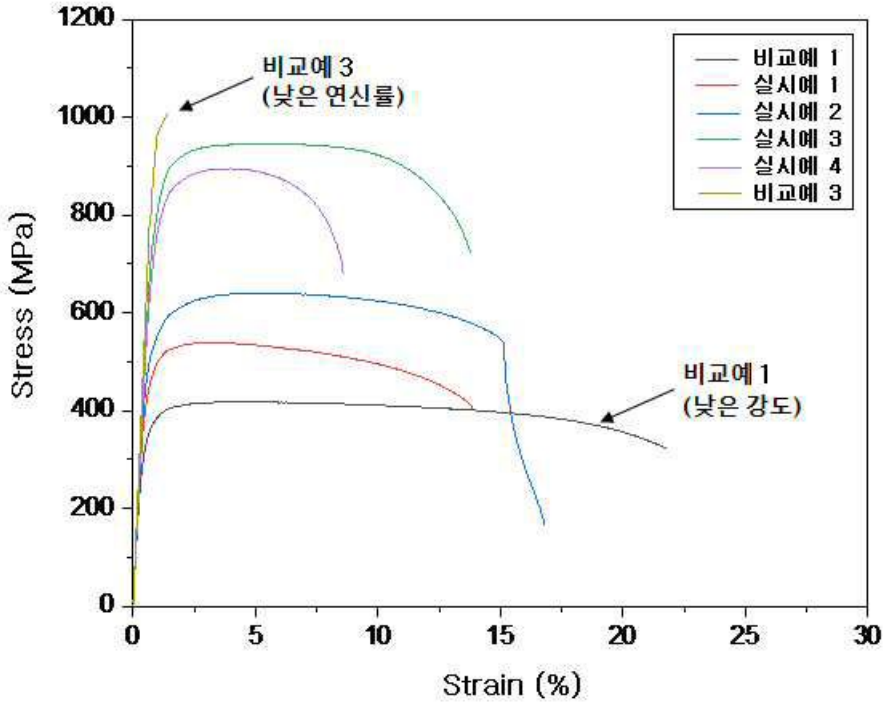
도면2b



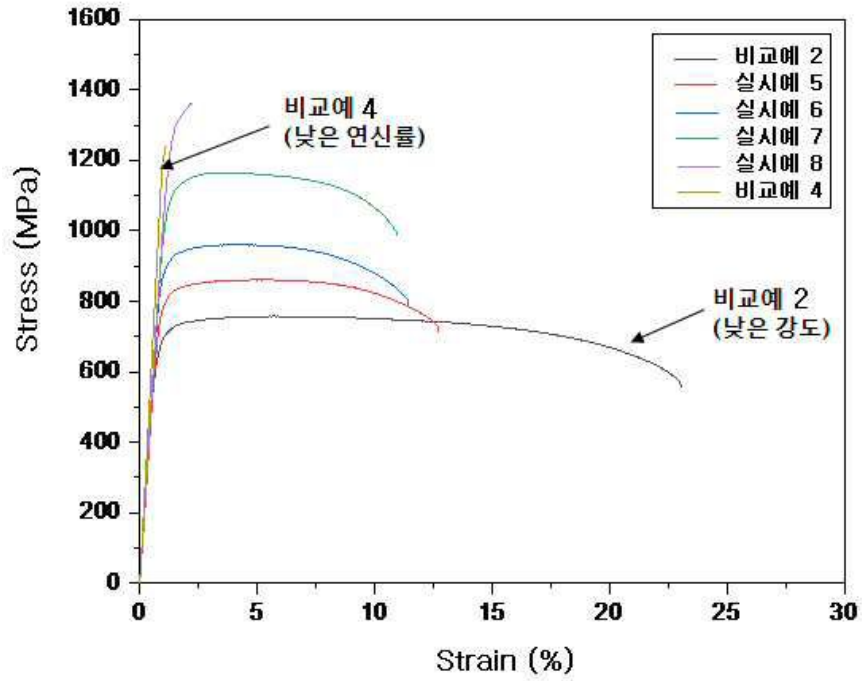
도면2c



도면3a


비교예 3
(낮은 연신률)
비교예 1
(낮은 강도)
비교예 1
실시예 1
실시예 2
실시예 3
실시예 4
비교예 3
Stress (MPa)
Strain (%)
0
200
400
600
800
1000
1200
0
5
10
15
20
25
30

도면3b


비교예 4
(낮은 연신률)
비교예 2
(낮은 강도)
비교예 2
실시예 5
실시예 6
실시예 7
실시예 8
비교예 4
Stress (MPa)
Strain (%)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
0
5
10
15
20
25
30