(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0083386
(43) 공개일자 2025년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01) *C22F 1/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C22F 1/183 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0171028
(22) 출원일자 2024년11월26일
심사청구일자 2024년11월26일
(30) 우선권주장
1020230171159 2023년11월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
박찬희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18 (상남동, 상남 꿈에그린)
원종우
경상남도 창원시 성산구 창원천로 34(대원동, 포레나 대원)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 12 항

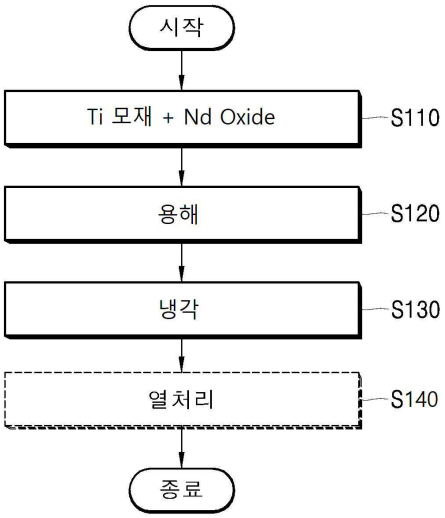
(54) 발명의 명칭 **절삭성이 우수한 Nd 함유 타이타늄계 재료 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

절삭성이 우수한 Nd 함유 타이타늄계 재료 및 그 제조 방법에 대하여 개시한다.

본 발명에 따른 타이타늄계 재료는 순수 타이타늄 기지(base) 또는 타이타늄 합금 기지; 및 상기 순수 타이타늄 기지에 분산된 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물을 포함하고, 상기 네오디뮴 산화물이 0.2개/μm^2 이상으로 존재한다. 바람직하게는, 네오디뮴 산화물은 상기 네오디뮴 산화물이 0.4개/μm^2 이하로 존재한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

염종택

경상남도 김해시 번화1로 168 (삼문동, 젤미마을10단지 한림리츠빌)

현용택

경상남도 창원시 성산구 비음로27번길 46-22(사파동)

홍재근

경남 창원시 성산구 성주동 유니온빌리지아파트

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711196718
과제번호	PNK8870
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국재료연구원
연구사업명	한국재료연구원연구운영비지원(주요사업비)
연구과제명	Ti 부품 저가화를 위한 쾌삭 Ti 신소재 개발(3/3)
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

순수 타이타늄 기지(base); 및

상기 순수 타이타늄 기지에 분산된 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물을 포함하고,

상기 네오디뮴 산화물이 0.2개/㎛^{2} 이상으로 존재하는, 타이타늄계 재료.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 네오디뮴 산화물이 0.5개/㎛^{2} 이하로 존재하는, 타이타늄계 재료.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 네오디뮴 산화물이 0.4개/㎛^{2} 이하로 존재하는, 타이타늄계 재료.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 네오디뮴 산화물은 평균 크기가 350㎚ 이상인, 타이타늄계 재료.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 네오디뮴 산화물은 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물 전체에 대하여 7% 이상의 개수 비율로 존재하는, 타이타늄계 재료.

청구항 6

타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 준비하는 단계;

상기 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 용해하는 단계; 및

용해된 타이타늄계 재료를 냉각하는 단계를 포함하는, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 타이타늄계 모재는 순수 타이타늄인, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 타이타늄계 모재는 타이타늄 합금인, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 네오디뮴 산화물은 상기 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물 전체 중량의 0.05~2.0중량%로 첨가되는, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 10

제6항에 있어서,

제조된 타이타늄계 재료를 열처리하는 단계를 추가로 포함하는, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 타이타늄계 모재는 순수 타이타늄이고, 상기 열처리는 650~750℃에서 수행되는, 타이타늄계 재료 제조 방법.

청구항 12

제6항에 있어서,

상기 타이타늄계 모재는 Ti-6Al-4V 합금이고, 상기 열처리는 850~950℃에서 수행되는, 타이타늄계 재료 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 타이타늄을 기지(base)로 하는 타이타늄계 재료 제조 기술에 관한 것이다.

[0002] 특히, 본 발명은 절삭성이 우수한 네오디뮴(Nd) 함유 타이타늄계 재료에 관한 것이다.

[0003] 또한, 본 발명은 절삭성이 우수한 Nd 함유 타이타늄계 재료를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 타이타늄은 우수한 기계적 특성에도 불구하고 낮은 열전달계수로 인해 절삭성이 좋지 못한 난삭성 재료로 알려져 있다.

[0006] 또한, 강도를 높이기 위해 Al, Fe, Cr, Co 등이 첨가된 타이타늄 합금, 내식성을 높이기 위해 Pd, Pt 등이 첨가된 타이타늄 합금, 생체친화성을 높이기 위해 Nb, Zr, Sn 등이 첨가된 타이타늄 합금 등의 경우에도 낮은 열전달 계수로 인해 절삭성이 좋지 못한 것으로 알려져 있다. 순수 타이타늄이나 타이타늄 합금과 같은 타이타늄계

재료를 절삭할 때 많은 열이 발생하는데, 이러한 타이타늄계 재료의 낮은 열전달 계수로 인해, 절삭시 발생한 열이 타이타늄계 재료를 통해 외부로 빠르게 빠져나가지 못하게 된다. 이에 따라 절삭 불량, 절삭 공구의 마모, 절삭 시간 증가 등의 다양한 문제가 발생할 수 있다.

[0007] 이러한 절삭성을 높이기 위해 P, S, Ni, 희토류 금속(REM) 등이 첨가된 타이타늄 합금이 제시되었으나, 절삭성 향상 효과가 그리 크지 않을 뿐만 아니라, 다른 기계적 특성까지 저하되는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 타이타늄을 기지로 하는 타이타늄계 재료에 있어서, 절삭성이 우수한 타이타늄계 재료를 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 타이타늄을 기지로 하는 타이타늄계 재료에 있어서, 절삭성 및 기계적 특성이 동시에 우수한 타이타늄계 재료를 제공하는 것이다.

[0011] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 절삭성이 우수한 타이타늄계 재료 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 타이타늄을 기지로 하는 타이타늄계 재료에 있어서, 절삭성 및 기계적 특성이 동시에 우수한 타이타늄계 재료 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 과제들 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 Nd 함유 타이타늄계 재료는 순수 타이타늄 기지(base); 및 상기 순수 타이타늄 기지에 분산된 순수 네오디뮴(Nd)과 네오디뮴 산화물(Nd Oxide)을 포함하고, 상기 네오디뮴 산화물이 0.2개/μm^2 이상으로 존재한다.

[0016] 상기 네오디뮴 산화물은 0.5개/μm^2 이하로 존재하는 것이 바람직하다. 상기 네오디뮴 산화물은 0.4개/μm^2 이하로 존재하는 것이 보다 바람직하다.

[0017] 상기 네오디뮴 산화물은 평균 크기가 350nm 이상일 수 있다.

[0018] 상기 네오디뮴 산화물은 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물 전체에 대하여 7% 이상의 개수 비율로 존재할 수 있다.

[0020] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 Nd 함유 타이타늄계 재료 제조 방법은 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 준비하는 단계; 상기 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 용해하는 단계; 및 용해된 타이타늄계 재료를 냉각하는 단계를 포함한다.

[0021] 상기 타이타늄계 모재는 순수 타이타늄일 수 있다.

[0022] 상기 타이타늄계 모재는 타이타늄 합금일 수 있다.

[0023] 상기 네오디뮴 산화물은 상기 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물 전체 중량의 0.05~2.0중량%로 첨가될 수 있다.

[0024] 상기 타이타늄계 재료 제조 방법은 제조된 타이타늄계 재료를 열처리하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0025] 상기 타이타늄계 모재는 순수 타이타늄이고, 상기 열처리는 650~750℃에서 수행될 수 있다.

[0026] 상기 타이타늄계 모재는 Ti-6Al-4V 합금이고, 상기 열처리는 850~950℃에서 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 의하면, 네오디뮴 산화물을 첨가함으로써 타이타늄계 재료 내에 조대한 크기의 네오디뮴 산화물이 0.2개/μm^2 이상으로 존재할 수 있고, 그에 따라 순수 네오디뮴이 첨가된 타이타늄계 재료 대비 향상된 절삭성을 가질 수 있다.

[0029] 나아가, 타이타늄계 재료 내에 조대한 크기의 네오디뮴 산화물이 0.5개/μm^2 이하로 존재할 경우, 보다 바람직하게는 0.5개/μm^2 이하로 존재할 경우, 기계적 특성(항복강도×연신율)의 감소가 크지 않으면서도 향상된 절삭성을 가져올 수 있다

[0030] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법은 추가의 열처리를 통해 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물 개수를 증대시킬 수 있어, 절삭성 향상 효과를 높일 수 있다.

[0031] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법에 의하면, 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물 개수 증대를 통해, 절삭성 뿐만 아니라 기계적 물성 또한 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0032] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법에 의하면, P 및 S를 의도적으로 첨가하지 않아, 이들 원소 첨가로 인한 기계적 특성 저하없이 높은 절삭성을 나타낼 수 있다.

[0033] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법을 개략적으로 나타낸 것이다.

도 2는 순수 타이타늄(Grade 1)에 네오디뮴 산화물 1.4중량%를 첨가한 시편의 BSEM(Back Scattered Electron Micrographs) 이미지를 나타낸 것이다.

도 3은 순수 타이타늄(Grade I)에 (a) 2.0중량%의 순수 네오디뮴을 첨가한 시편, (b) 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가한 시편 및 (c) 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가하고 700℃에서 60분동안 수행된 시편의 SEM 사진을 나타내는 것이다.

도 4는 (a) 순수 타이타늄 시편(Grade 1), (b) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 순수 네오디뮴이 첨가된 시편, (c) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가된 시편, (d) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가되고 700℃에서 60분간 열처리된 시편 및 (d) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가되고 700℃에서 180분간 열처리된 시편에 대하여, 절삭성 측정용 드릴링 장치로 절삭을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 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.

[0037] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 절삭성이 우수한 Nd 함유 타이타늄계 재료 및 그 제조 방법에 대하여 설명하도록 한다.

[0039] 본 발명에 따른 타이타늄계 재료는 타이타늄 기지에 네오디뮴 산화물(Nd Oxide)이 포함된 것이 특징이다.

[0040] 타이타늄 기지는 순수 타이타늄이 될 수 있다. 구체적으로, 타이타늄 기지는 불순물 함량에 따른 ASTM 등급 기준으로는 Ti Grade 1 내지 4의 순수 타이타늄이 될 수 있다. 또한, 상기 타이타늄 기지는 타이타늄 합금이 될 수 있다. 타이타늄 합금으로는 Ti Grade 5의 Ti-6Al-4V 합금이 될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0042] 본 발명의 발명자들은 오랜 연구 결과, 타이타늄에 희토류 금속 중 하나인 순수 네오디뮴(금속 상태의 네오디뮴)을 그 자체로 첨가하는 경우에 비해, 네오디뮴 산화물로 첨가할 때 절삭성이 크게 향상되는 것을 알아내었다.

[0043] 네오디뮴 산화물을 첨가하는 경우, 순수 네오디뮴을 그 자체로 첨가하는 경우에 비해, 제조되는 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 다량 존재할 수 있다.

[0044] 이러한 네오디뮴 산화물 첨가시 절삭성이 크게 향상되는 특징은 타이타늄계 재료 내에 존재하는 네오디뮴 산화물의 크기에 어느정도 영향이 있는 것으로 보인다. 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물은 평균 크기가 350nm 이상, 대략 350~580nm 일 수 있다. 이는 타이타늄계 재료 내에 순수 네오디뮴이 25~85nm의 평균 크기로 존재하는 것과는 현저한 차이점이 있다. 이러한 조대한 크기를 갖는 네오디뮴 산화물이 다량 포함된 타이타늄계 재료의 경우, 절삭시 칩 길이를 감소시킴으로써 절삭성을 향상시키는데 기여하는 것이라 판단된다.

[0045] 특히, 네오디뮴 산화물이 단위 면적(μm^2)당 0.2개 이상, 즉 0.2개/μm^2 이상 존재하는 타이타늄계 재료의 경우, 절삭성이 현저히 개선되는 것을 알아내었다.

[0046] 네오디뮴 산화물이 아닌 순수 네오디뮴이 첨가된 경우 또는 미쉬 메탈(misch metal)의 형태로 첨가된 경우, 극히 일부만이 네오디뮴 산화물로 변환되며, 대부분은 순수 네오디뮴 자체로 존재한다. 순수 네오디뮴을 0.05~2.0중량%로 첨가하였을 때, 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물 전체에 대하여 개수 비율로 최대 약 2.3%만이 네오디뮴 산화물로 존재하여, 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물의 개수가 약 0.1개 이하를 나타내었다.

[0047] 그러나, 본 발명의 경우 네오디뮴 산화물이 첨가된 결과, 타이타늄 기지 내에 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물을 포함하는 네오디뮴 2차상이 생성되었으며, 이때 네오디뮴 산화물이 0.2개/μm^2 이상 존재하였다. 네오디뮴 2차상 중 순수 네오디뮴은 첨가되는 네오디뮴 산화물에 이미 존재하는 것일 수 있고, 공정 중 환원된 것일 수 있다. 네오디뮴 2차상 중 네오디뮴 산화물은 첨가되는 대부분 네오디뮴 산화물에 존재하는 것이지만, 네오디뮴 산화물 중 일부는 공정 중 산화된 것일 수도 있다.

[0048] 본 발명의 경우, 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물 전체에 대하여 네오디뮴 산화물의 개수 비율은 6% 이상으로, 상대적으로 높은 네오디뮴 산화물 비율을 나타내었다. 전술한 바와 같이 네오디뮴 산화물은 평균 크기가 350nm 이상으로 조대하며, 이러한 조대한 크기의 네오디뮴 산화물의 비율이 증가함으로써 절삭시 칩 길이를 감소시킬 수 있다.

[0049] 또한, 후술하겠지만, 추가의 열처리를 통해 더 높은 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물 개수를 얻을 수 있었다.

[0050] 열처리를 수행하면 타이타늄계 재료 내에 순수 네오디뮴 및 네오디뮴 산화물의 전체 개수가 증가할 수 있는데, 중요한 것은 열처리를 통해 네오디뮴 산화물의 개수가 증가할 수 있다는 것이다. 이러한 증가된 네오디뮴 산화물의 개수에 의해 추가의 절삭성 향상 효과를 얻을 수 있다.

[0052] 한편, 단위 면적당 네오디뮴 산화물의 개수의 상한은 0.6개/μm^2 이하가 될 수 있으며, 0.5개/μm^2 이하인 것이 바람직하며, 0.4개/μm^2 이하인 것이 보다 바람직하다. 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물의 개수가 0.5개를 초과하는 경우, 절삭성 향상에 비해 기계적 특성(항복강도×연신율)이 크게 저하될 수 있다. 즉, 네오디뮴 산화물의 단위면적당 개수가 증가할수록 절삭시 칩 길이가 짧아져 절삭성이 향상되는데, 0.5개/μm^2까지는 기계적 특성의 큰 저하를 수반하지 않았으나, 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 0.5개/μm^2를 초과하는 경우, 기계적 특성이 크게 저하되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 단위 면적당 네오디뮴 산화물의 개수는 0.5/μm^2 이하인 것이 바람직하다.

[0053] 또한, 네오디뮴 산화물의 첨가량이 0.05~0.1중량%로 상대적으로 작을 경우에는, 기계적 특성까지 고려할 때 네오디뮴 산화물의 개수가 0.2~0.4개인 것이 보다 바람직하다. 이 경우에는 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 0.4개/μm^2를 초과하는 경우, 기계적 특성이 크게 저하되는 문제점이 발생할 수 있다.

[0054] 결국, 네오디뮴 산화물은 타이타늄계 재료 내에서 0.2~0.4개/㎛^{2}로 존재하는 것이 가장 바람직하다.

[0055] 이에 따라, 단위면적당 네오디뮴 산화물의 개수를 증가시키기 위한 열처리 또한, 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 0.5개/㎛^{2}, 네오디뮴 산화물의 첨가량이 작을 경우 0.4개/㎛^{2}를 초과하지 않도록 열처리 온도 및 열처리 시간이 제어되는 것이 바람직하다.

[0057] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법을 개략적으로 나타낸 것이다.

[0058] 도 1을 참고하면, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법은 타이타늄계 모재 및 네오디뮴 산화물 준비 단계(S110), 용해 단계(S120) 및 냉각 단계(S120)를 포함한다. 또한, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법은 열처리 단계(S140)를 추가로 포함할 수 있다.

[0059] 타이타늄계 모재 및 네오디뮴 산화물 준비 단계(S110)에서는 목적하는 타이타늄계 재료를 제조하기 위해, 타이타늄계 모재 및 네오디뮴 산화물을 각각 미리 정해진 함량으로 준비한다.

[0060] 타이타늄계 모재는 Grade 1~4의 순수 타이타늄일 수 있다. 또한, 타이타늄계 모재는 타이타늄 합금일 수 있다. 타이타늄 합금은 예를 들어, Ti-6Al-4V일 수 있다.

[0061] 네오디뮴 산화물의 첨가량은 출발 물질 전체 중량, 즉 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물의 전체 중량의 0.05~2.0중량%로 포함되는 것이 바람직하다. 여기서 주의할 점은 네오디뮴 산화물을 첨가한다고 하더라도, 제조되는 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 그대로 존재하는 것은 아니라는 점이다. 출발 물질에는 네오디뮴 산화물이 첨가되지만 제조되는 타이타늄계 재료에는 순수 네오디뮴, 네오디뮴 산화물 및 기타 네오디뮴 함유 상들이 공존할 수 있다. 순수 네오디뮴, 네오디뮴 산화물 및 기타 네오디뮴 함유 상들은 출발 물질의 내부, 즉 네오디뮴 산화물 덩어리나 분말의 내부에 이미 포함된 것이거나, 공정중 산화, 환원 등의 반응에 의해 형성된 것일 수 있다. 네오디뮴 산화물의 함량이 0.05중량% 미만인 경우 제조되는 타이타늄계 재료 내에 0.2개/㎛^{2} 이상의 네오디뮴 산화물을 달성하기 어렵다. 한편, 네오디뮴 산화물의 함량이 2.0 중량%를 초과하면 제조되는 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물이 지나치게 많이 존재하여 기계적 특성이 저하될 수 있다.

[0062] 용해 단계(S120)에서는 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 용해한다.

[0063] 타이타늄계 모재와 네오디뮴 산화물을 용해하는 방식은 예를 들어 PAM(Plasma Arc Melting)이 이용될 수 있으며, 이외에도 공지된 다양한 용해 방식이 이용될 수 있다.

[0064] 냉각 단계(S130)에서는 용해된 타이타늄계 재료를 냉각한다.

[0066] 상기와 같은 과정을 거쳐 제조된 타이타늄계 재료는 As-cast 상태로 사용 가능할 수 있다.

[0067] 또한, 제조된 타이타늄계 재료는 추가로, 열간 또는 냉간 가공 단계를 거쳐 판재, 선재 등 원하는 형상으로 가공될 수도 있다. 열간 가공은 열간 단조, 열간 압연 등이 될 수 있다. 열간 가공 후에는 수냉 또는 공냉의 방식으로 냉각이 수행될 수 있다. 냉간 가공은 냉간 단조, 냉간 압연 등과 같은 냉간 가공이 될 수 있다. 냉간 가공 후에는 약 400~600℃에서 열처리가 수행될 수 있다.

[0069] 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법은 용해 및 냉각을 통해 제조된 타이타늄계 재료를 열처리하는 단계(S140)를 추가로 포함할 수 있다. 열처리는 공기나 산소 가스와 같은 산소를 함유하는 분위기에서 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0070] 본 발명에 따른 타이타늄계 재료를 열처리하면, 순수 네오디뮴과 네오디뮴 산화물의 전체 개수가 증가할 수 있다. 특히, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료를 열처리하면, 네오디뮴 산화물의 개수가 증가할 수 있어, 절삭성을 추가로 향상시킬 수 있다.

[0071] 다만, 타이타늄계 모재에 따라 열처리 온도가 달라질 필요가 있다. 타이타늄계 모재가 순수 타이타늄인 경우, 열처리는 650~750℃에서 수행되는 것이 바람직하다. 이 경우 예를 들어 600℃와 같이 650℃ 미만의 온도에서 열처리하는 경우, 네오디뮴 산화물 개수의 증가 효과를 얻기 어렵다. 반대로 800℃와 같이 750℃를 초과하는 온

도에서 열처리하는 경우, 확산 효과에 의해 네오디뮴 산화물 개수가 지나치게 증가하여 다른 기계적 특성(항복강도×연신율)이 크게 저하될 수 있다. 한편, 상기 타이타늄계 모재가 타이타늄 합금, 예를 들어 Ti-6Al-4V 합금인 경우, 상기 열처리는 850~950℃에서 수행되는 것이 바람직하다. 이는 순수 타이타늄을 모재로 하는 경우에 비해 약 200℃ 정도 높은 온도에 해당한다. 예를 들어 Ti-6Al-4V 합금의 경우, 알파상에서 베타상으로의 변태 온도(beta transus temperature)가 순수 타이타늄보다 더 높기 때문에 충분한 산소 확산에 의한 네오디뮴 산화물 개수 증가를 위해서는 더 높은 온도의 열처리가 필요하다고 판단된다.

[0072] 또한, 열처리 시간은 대략 180분 이하가 될 수 있다. 바람직한 열처리 시간은 제조되는 타이타늄계 재료 내의 단위 면적당 네오디뮴 산화물의 개수나 기계적 특성 등의 물성을 고려하여 결정될 수 있다.

[0073] 또한, 바람직한 열처리 시간은 네오디뮴 산화물의 첨가량에 따라 달라질 수 있다. 절삭성 뿐만 아니라 기계적 물성(항복강도×연신율)까지 고려할 때, 네오디뮴 산화물의 첨가량이 0.06중량%인 경우 열처리 시간은 약 120분 이하인 것이 바람직하다. 네오디뮴 산화물의 첨가량이 2.0중량%인 경우 열처리 시간은 약 60분 이하인 것이 바람직하다.

[0075] **실시예**

[0076] 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.

[0078] **1. 시편의 제조**

[0079] Grade 1 (산소 함량 0.07)인 순수 타이타늄과 순수 네오디뮴(비교예) 또는 네오디뮴 산화물(실시예)이 PAM(Plasma Arc Melting) 방식으로 용해된 후, 냉각되었다. 이때 순수 네오디뮴(비교예) 또는 네오디뮴 산화물(실시예)의 함량은 전체 출발물질의 0.06중량%, 1.40중량% 및 2.00중량%이었다.

[0080] 이후, 각 시편들에 대하여 700℃에서 0분(열처리 없음), 30분, 60분, 90분 및 120분동안 열처리를 수행하였다.

[0082] **2. 미세조직 및 기계적 특성 평가 방법**

[0083] 미세조직 분석은 EBSD(Electron Back Scattered Diffraction) 장비, SEM(Scanning Electron Microscope) 장비, TEM(Transmission Electron Microscope) 장비를 이용하였다.

[0084] 기계적 특성은 인장시험을 통해 측정하였으며, 측정 조건은 상온, $10^{-3}s^{-1}$ 변형속도, ASTM-E8 서브 사이즈 (게이지 길이 25 ㎜)로 하였다.

[0085] 절삭성은 본 출원인에 의해 자체 제작된 절삭성 측정용 드릴링 장치를 이용하여 제조된 타이타늄계 재료 시편들에 대하여 동일한 조건으로 드릴링을 수행한 후, 칩 길이로 분석하였다.

[0087] **3. 물성 평가**

[0088] **(1) 순수 타이타늄(Grade 1) + Nd Oxide**

[0089] Grade 1 (산소 함량 0.07중량%)인 순수 타이타늄에 순수 네오디뮴 또는 네오디뮴 산화물을 첨가하여 제조된 타이타늄계 재료 시편들에 대한 물성 평가 결과를 표 1-1 및 1-2에 나타내었다.

[0090] [표 1-1]

	Nd 첨가량 (wt%)	Nd Oxide 첨가량 (wt%)	열처리 온도: 700℃ 시간 (분)	전체 Nd+Nd Oxide (개/μm²)	Nd oxide 개수 (개/μm²)	Nd oxide 비율 (%)
비교예	0.00	0.00	-	0	0	0
비교예	0.06	0.00	-	2.456	0.038	1.547
실시예	0.00	0.06	-	2.333	0.256	10.97
			30	2.535	0.288	11.36
			60	2.501	0.345	13.79
			90	2.755	0.381	13.8
			120	2.721	0.399	14.66
			180	2.610	0.483	18.51
비교예	2.00	0.00	-	5.015	0.1433	2.857
실시예	0.00	2.00	-	5.221	0.381	7.297
			30	5.423	0.396	7.302
			60	5.399	0.489	9.057
			90	5.890	0.534	9.066
			120	6.103	0.520	8.520
			180	6.228	0.754	12.10

[0091]

[0092] [표 1-2]

	Nd 첨가량 (wt%)	Nd Oxide 첨가량 (wt%)	열처리 온도: 700℃ 시간 (분)	칩길이 (mm)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)	항복강도 x 연신율 (GPa%)
비교예	0.00	0.00	-	131	208	28	5.82
비교예	0.06	0.00	-	99	203	30	6.09
실시예	0.00	0.06	-	82	260	31	8.06
			30	80	295	32	9.44
			60	69	319	28	8.93
			90	71	328	28	9.18
			120	61	336	25	8.40
			180	57	344	17	5.85
비교예	2.00	0.00	-	25	280	25	7
실시예	0.00	2.00	-	21	331	22	7.28
			30	15	346	24	8.30
			60	10	355	22	7.81
			90	13	359	17	6.10
			120	11	366	12	4.39
			180	7	371	13	4.82

[0093]

[0094] 표 1-1 및 표 1-2를 참고하면, Grade 1 순수 타이타늄 시편의 경우 절삭시 131㎜의 칩 길이를 나타내어 절삭성이 좋지 못함을 볼 수 있다.

[0095] 이에 반해, Grade 1 순수 타이타늄에 순수 네오디뮴 또는 네오디뮴 산화물이 첨가된 경우 제조된 타이타늄계 재료 시편 내에 순수 네오디뮴 및 네오디뮴 산화물이 존재함에 따라 절삭시 칩 길이가 감소하는 것을 볼 수 있다.

[0096] 한편, Grade 1 순수 타이타늄에 순수 네오디뮴이 0.06중량% 및 2.00중량% 첨가된 비교예 시편들의 경우, 단위 면적(㎛²)당 네오디뮴 산화물의 개수가 0.038개 및 0.143개에 불과하였다. 이에 반해, 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물이 0.06중량% 및 2.00중량% 첨가된 실시예 시편들의 경우, 열처리를 수반하지 않더라도 0.256개 및 0.381개를 나타내어, 비교예 시편들보다 현저히 높은 단위 면적(㎛²)당 네오디뮴 산화물의 개수를 나타내었다. 이러한 결과로, 절삭시 칩 길이가 비교예에 따른 타이타늄계 재료 시편들에 비해 실시예에 따른 타이타늄계 재

료 시편들의 경우가 더 짧은, 즉 더 우수한 절삭성을 가져왔다.

[0097] 또한, 표 1-1 및 1-2를 참고하면, 실시예 시편들에서 700℃에서 열처리가 수행된 경우 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물의 개수가 추가로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과, 700℃에서 열처리가 수행된 시편들의 경우 열처리가 수행되지 않은 시편에 비해 절삭시 더 짧은 칩 길이를 나타낼 수 있었다. 그리고, 열처리 시간이 길어질수록 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물 개수 역시 더 많아지는 것을 볼 수 있다.

[0098] 다만, 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물의 개수가 0.5개를 초과하는 경우 기계적 특성(항복강도×연신율)이 크게 저하되는 것을 볼 수 있다. 이러한 기계적 특성까지 고려한다면, 단위 면적(μm^2)당 네오디뮴 산화물의 개수가 0.2~0.5개가 되도록 열처리 조건을 제어하는 것이 바람직하다. 또한, 네오디뮴 산화물의 첨가량이 0.05~0.1중량%, 예를 들어 0.06중량%인 경우에는, 기계적 특성까지 고려할 때 네오디뮴 산화물의 개수가 0.2~0.4개인 것이 보다 바람직하다는 것을 볼 수 있다.

[0099] 또한, 특이한 점은 순수 타이타늄에 순수 네오디뮴이 첨가된 비교예 시편들에 비해 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물이 첨가된 실시예 시편들이 더 높은 항복강도×연신율 값을 나타내었다. 이는 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물이 첨가될 경우, 절삭성 뿐만 아니라 기계적 특성 또한 향상될 수 있다는 것을 의미한다.

[0101] 도 2는 순수 타이타늄(Grade 1)에 네오디뮴 산화물 1.4중량%를 첨가한 시편의 BSEM(Back Scattered Electron Micrographs) 이미지를 나타낸 것이다.

[0102] 도 2를 참고하면, 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물 1.4중량%를 첨가한 시편의 경우, 타이타늄계 재료 내의 네오디뮴 성분이 미세한 순수 네오디뮴과 조대한 네오디뮴 산화물이 혼재되어 있는 것을 볼 수 있다.

[0104] 도 3은 순수 타이타늄(Grade I)에 (a) 2.0중량%의 순수 네오디뮴을 첨가한 시편, (b) 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가한 시편 및 (c) 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가하고 700℃에서 60분동안 수행된 시편의 SEM 사진을 나타내는 것이다.

[0105] 도 3의 (a)를 참고하면, 2.0중량%의 순수 네오디뮴을 첨가한 시편의 경우 미세한 Nd 석출물만 존재하는 것을 볼 수 있다. 이에 반해, 도 3의 (b)를 참고하면, 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가한 시편의 경우 조대한 크기의 네오디뮴 산화물이 다수 존재하는 것을 볼 수 있다. 또한, 도 3의 (c)를 참고하면, 2.0중량%의 네오디뮴 산화물을 첨가하고, 열처리까지 진행한 시편의 경우, 도 3의 (b)에 비해 네오디뮴 산화물의 개수가 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 조대한 크기의 네오디뮴 산화물의 개수가 증가함을 통해 절삭성 향상을 기재할 수 있다.

[0107] 도 4는 (a) 순수 타이타늄 시편(Grade 1), (b) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 순수 네오디뮴이 첨가된 시편, (c) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가된 시편, (d) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가되고 700℃에서 60분간 열처리된 시편 및 (d) 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가되고 700℃에서 180분간 열처리된 시편에 대하여, 절삭성 측정용 드릴링 장치로 절삭을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

[0108] 도 4의 (a)를 참고하면, 순수 Ti 시편의 경우 칩 길이가 약 131 ㎜ 정도로 매우 길었다. 그러나, 도 4의 (b) 내지 (e)를 참고하면, 순수 Ti 시편에 순수 네오디뮴 또는 네오디뮴 산화물이 첨가되는 경우 칩 길이가 감소하는 것을 볼 수 있다.

[0109] 한편, 도 4의 (b)와 (c)를 비교하면 순수 타이타늄에 2.0 중량% 순수 네오디뮴이 첨가된 시편의 경우 약 25㎜의 칩 길이를 나타내는데 반해 순수 타이타늄에 2.0 중량% 네오디뮴 산화물이 첨가된 시편의 경우 약 21㎜의 칩 길이를 나타내었는 바, 순수 타이타늄에 순수 네오디뮴보다는 네오디뮴 산화물을 첨가하는 것이 절삭성을 향상시키는데 보다 유리하다고 볼 수 있다. 이는 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물을 첨가할 때 제조되는 타이타늄계 재료 내에 더 많은 조대한 크기의 네오디뮴 산화물이 존재하기 때문이라 판단된다.

[0110] 또한, 도 4의 (c)와 (d), (e)를 비교하면, 순수 타이타늄에 네오디뮴 산화물을 첨가하고 추가로 열처리를 수행한 경우 칩 길이가 약 10 ㎜ 및 7㎜로서, 절삭성이 더욱 향상된 것을 볼 수 있다. 이는 추가의 열처리를 통해 타이타늄계 재료 내에 더 많은 네오디뮴 산화물이 생성된 결과로 볼 수 있다.

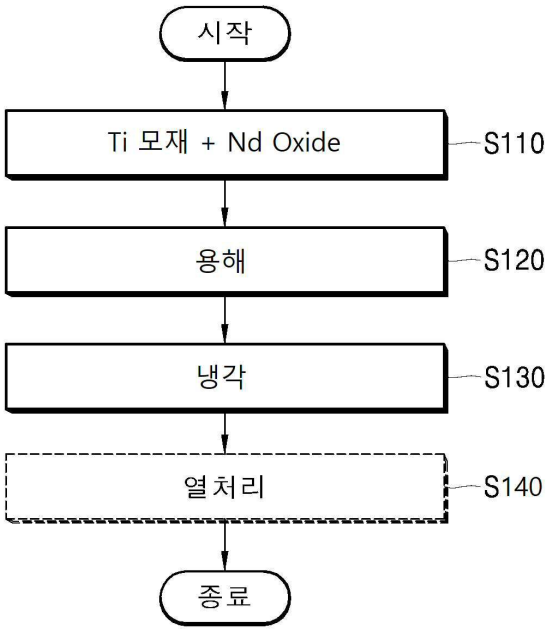
[0112] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 및 그 제조 방법에서는 네오디뮴 산화물 첨가를 통해 타이타늄계 재료 내에 조대한 크기의 네오디뮴 산화물이 충분히 존재할 수 있고, 그에 따라 순수 네오디뮴을 첨가하여 제조되는 타이타늄계 재료 대비 향상된 절삭성을 가질 수 있으며, 이와 함께 타이타늄계 재료의 기계적 물성까지 향상시킬 수 있다.

[0113] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄계 재료 제조 방법은 추가의 열처리를 통해 타이타늄계 재료 내에 네오디뮴 산화물 개수를 증대시킬 수 있어, 절삭성 향상 효과를 높일 수 있다.

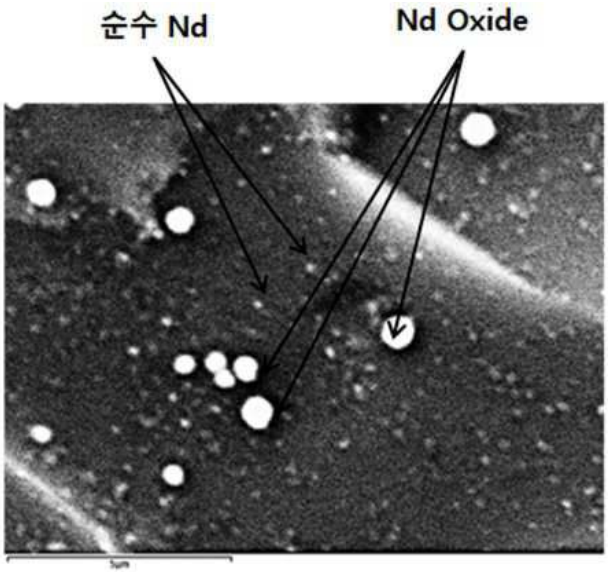
[0115] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시 예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시 예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을 지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다.

도면

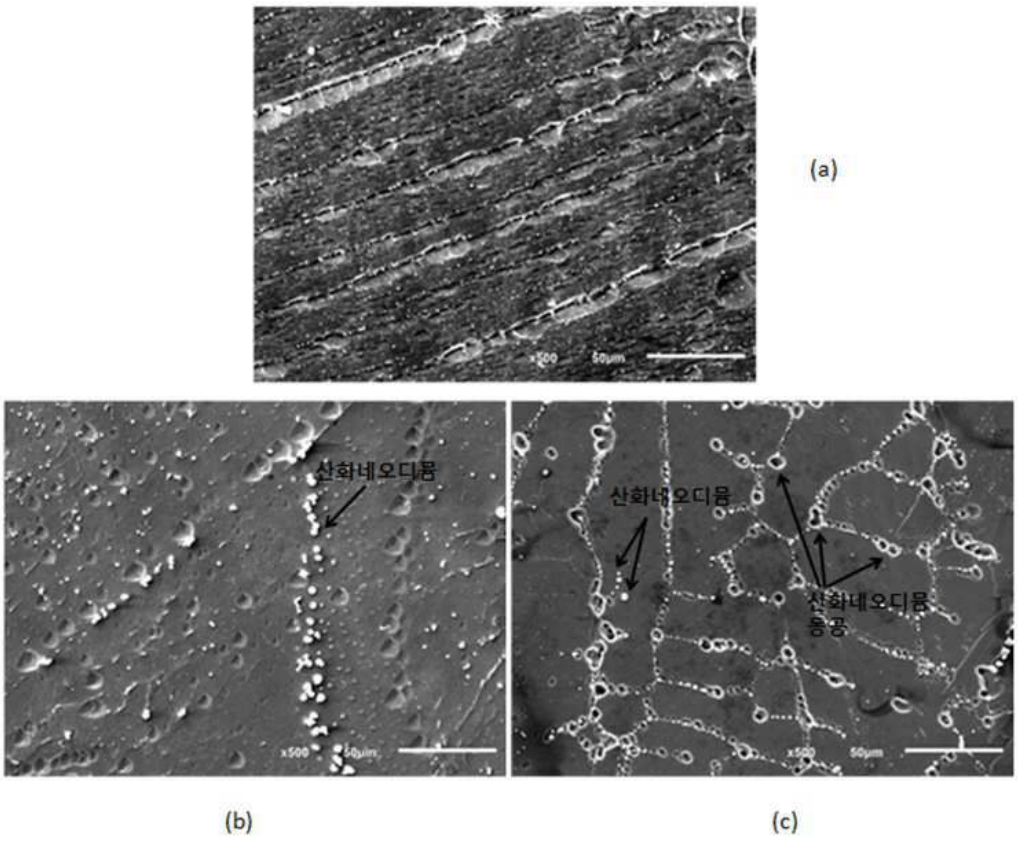
도면1



도면2



도면3



도면4

