(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0038222
(43) 공개일자 2019년04월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/28 (2006.01) *C21D 1/18* (2006.01)
C21D 1/28 (2006.01) *C21D 8/00* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/22* (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/28 (2013.01)
C21D 1/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0155132
(22) 출원일자 2017년11월20일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020170127167 2017년09월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
이창훈
경상남도 창원시 성산구 반림동 노블파크아파트 103동 104호
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 11 항

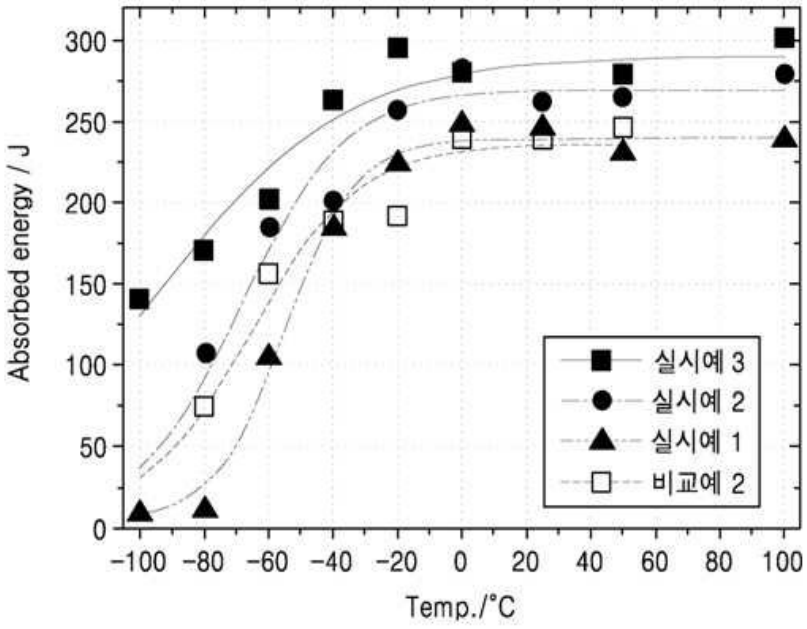
(54) 발명의 명칭 **인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

기지조직 내에 미세한 Ti-Ta계 MX 석출물을 석출시킴으로써 고온에서 열적 안정성이 우수할 뿐만 아니라 인장강도를 향상시킴과 동시에 충격인성을 향상시킬 수 있는 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법에 대하여 개시한다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도4



본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재는 중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하며, 상기 Ti 및 Ta는 하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가되는 것을 특징으로 한다.

수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

(여기서, []의 단위는 중량%임.)

(52) CPC특허분류
C21D 1/28 (2013.01)
C21D 8/005 (2013.01)
C22C 38/002 (2013.01)
C22C 38/22 (2013.01)
C22C 38/24 (2013.01)
C21D 2211/008 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2016M1A7A1A01005874
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 핵융합연구개발사업
연구과제명 고온물성과 조사저항성이 우수한 핵융합로용 저방사화 철강소재 개발 및용접부 수명향상 기술 연구(2/3)
기 여 율 1/1
주관기관 한국연구재단
연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하며,

상기 Ti 및 Ta는 하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가되는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

(여기서, []의 단위는 중량%임.)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 강재는

최종 미세조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직을 갖되, 상기 마르텐사이트 조직 내에는 TiC 석출물, TaC 석출물 및 (Ti, Ta)C 석출물이 석출되어 있는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 강재는

중량%로, Al : 0.1% 이하, P : 0.05% 이하 및 S : 0.05% 이하 중 1종 이상을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 강재는

600 ~ 750MPa의 인장강도(TS), 450 ~ 700MPa의 항복강도(YS) 및 16 ~ 25%의 연신율(EL)을 갖는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 강재는

연성-취성 천이온도(DBTT) -50℃ 이하를 가지며, 최대흡수에너지(USE)가 238 ~ 300J/㎠를 갖는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 강재는

하기 수학식 2를 만족하는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재.

수학식 2 : $0.24 \times [YS] - [DBTT] \geq 205$

(여기서, YS는 항복강도이고, DBTT는 연성-취성 천이온도를 나타냄.)

청구항 7

(a) 중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 열간압연하는 단계;

(b) 상기 열간압연된 강재를 900 ~ 1,100℃에서 0.5 ~ 2시간 동안 노말라이징하는 단계;

(c) 상기 노멀라이징 처리된 강재를 상온까지 냉각시키는 단계; 및 (d) 상기 냉각된 강재를 640 ~ 780℃에서 1 ~ 3시간 동안 템퍼링하는 단계;

를 포함하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 Ti 및 Ta는

하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가되는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법.

수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

(여기서, []는 각 원소의 중량%임.)

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 (d) 단계 이후,

상기 강재는

최종 미세조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직을 갖되, 상기 마르텐사이트 조직 내에는 TiC 석출물, TaC 석출물 및 (Ti, Ta)C 석출물이 석출되어 있는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 (d) 단계 이후,

상기 강재는

600 ~ 750MPa의 인장강도(TS), 450 ~ 700MPa의 항복강도(YS) 및 16 ~ 25%의 연신율(EL)을 갖고,

연성-취성 천이온도(DBTT) -50℃ 이하를 가지며, 최대흡수에너지(USE)가 238 ~ 300J/㎠를 갖는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 강재는

하기 수학식 2를 만족하는 것을 특징으로 하는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법.

수학식 2 : 0.24 × [YS] - [DBTT] ≥ 205

(여기서, YS는 항복강도이고, DBTT는 연성-취성 천이온도를 나타냄.)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 핵융합로 저방사 강재 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 기지조직 내에 미세한 Ti-Ta계 MX 석출물을 석출시킴으로써 고온에서 열적 안정성이 우수할 뿐만 아니라 인장강도를 향상시킴과 동시에 충격인성을 향상시킬 수 있는 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 핵융합로 구조용 소재로 사용되기 위해서는 중성자 조사 취화 저항성, 스웰링(Swelling) 저항성, 강도와 인성, 크리프(Creep) 등의 고온 특성, 용접성, 대량 생산성 등이 요구된다. 이에 부합하기 위해, 스웰링 저항성이 우수하고 용접성이 우수한 8 ~ 12 중량%의 고 크롬 페라이트-마르텐사이트계 철강소재가 핵융합 구조용 소재로 주목을 받고 있다. 그러나, 8 ~ 12 중량%의 고 크롬 페라이트-마르텐사이트계 철강소재는 텅스텐 합금, 실리콘 카바이드(SiC) 복합재료와 오스테나이트계 스테인리스강 등의 타 후보소재에 비해 강도와 충격특성이 상대적으로 낮은 단점을 나타내고 있어, 이에 대한 개선이 필요한 상황이다.

[0004] 한편, 고 크롬 페라이트/마르텐사이트 저방사 강은 원소재를 용해한 후, 열간압연, 노말라이징 및 템퍼링을 순차적으로 진행함으로써 제조된다. 여기서, 통상 노말라이징과 템퍼링은 각각 900 ~ 1,100℃ 및 약 750℃의 온도 환경에서 30분 ~ 2시간 동안 이루어진다.

[0005] 따라서, 저방사화 재료에서는 종래의 8 ~ 12 중량% 고 크롬 페라이트계 합금의 중요한 강화원소인 몰리브덴, 니오븀을 각각 텅스텐, 탄탈륨 등으로 대체하여 저방사화 특성을 향상시키고자 하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 기지조직 내에 미세한 Ti-Ta계 MX 석출물을 석출시킴으로써 고온에서 열적 안정성이 우수할 뿐만 아니라 인장강도 및 충격인성을 향상시킬 수 있는 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재는

중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하며, 상기 Ti 및 Ta는 하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

[0012] (여기서, []의 단위는 중량%임.)

[0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법은 (a) 중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 열간압연하는 단계; (b) 상기 열간압연된 강재를 900 ~ 1,100℃에서 0.5 ~ 2시간 동안 노말라이징하는 단계; (c) 상기 노멀라이징 처리된 강재를 상온까지 냉각시키는 단계; 및 (d) 상기 냉각된 강재를 640 ~ 780℃에서 1 ~ 3시간 동안 템퍼링하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법은 Ti-Ta 복합 첨가에 의해 미세 나노 탄화물의 석출로 고온에서 열적 안정성이 우수하여 핵융합로의 고온 및 고압부위에 효과적으로 사용될 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법은 고온 크립 강도가 우수하여 연료관, 압력관, 내압 플레이트 재료로 용접 및 성형작업이 가능한 장점이 있으며, 설비의 성능, 수명 및 경제성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법을 나타낸 공정 순서도.

도 2는 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 대한 기계적 물성 평가 결과를 나타낸 그래프.

도 3은 실시예 1 ~ 3에 따른 시편에 대한 기계적 물성 평가 결과를 나타낸 그래프.

도 4는 실시예 1 ~ 3 및 비교예 2에 따른 시편에 대한 충격흡수에너지 측정 결과를 나타낸 그래프.

도 5는 실시예 1 ~ 3 및 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 대한 YS-DBTT 측정 결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0021] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조 방법에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0023] Ti-Ta 함유 저방사 강재

[0024] 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재는 600 ~ 750MPa의 인장강도(TS), 450 ~

700MPa의 항복강도(YS), 16 ~ 25%의 연신율(EL), -50℃ 이하의 연성-취성 천이온도(DBTT)를 가지며, 최대흡수에너지(USE)가 238 ~ 300J/㎠를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0025] 이를 위해, 본 발명의 실시예에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재는 중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하며, 상기 Ti 및 Ta는 하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가된다.

[0026] 수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

[0027] (여기서, []의 단위는 중량%임.)

[0028] 또한, 상기 강재는 최종 미세조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직을 갖되, 마르텐사이트 조직 내에는 TiC 석출물, TaC 석출물 및 (Ti, Ta)C 석출물을 포함하는 Ti-Ta계 MX 석출물이 석출되어 있다.

[0029] 또한, 상기 강재에는 중량%로 Al : 0.1% 이하, P : 0.05% 이하 및 S : 0.05% 이하 중 1종 이상이 더 포함되어 있을 수 있다.

[0030] 또한, 상기 강재는 하기 수학식 2를 만족하는 것에 의해, 항복강도(YS) 및 연성-취성 천이온도(DBTT)가 동시에 향상되는 조합을 가질 수 있다.

[0031] 수학식 2 : $0.24 \times [YS] - [DBTT] \geq 205$

[0032] (여기서, YS는 항복강도이고, DBTT는 연성-취성 천이온도를 나타냄.)

[0034] 이하, 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재에 포함되는 각 성분의 역할 및 그 함량에 대하여 설명하면 다음과 같다.

[0036] 탄소(C)

[0037] 탄소(C)는 오스테나이트 안정화 원소이면서, 강 중에 과포화되어 켄칭(quenching), 템퍼링(tempering) 혹은 사용 도중 크롬, 바나듐, 텅스텐 등의 원소와 결합하여 석출물을 생성하여 강재의 강도를 향상시킨다. 또한, 탄소(C)는 상온 및 고온 강도, 용접성, 성형성 등에 큰 영향을 미치게 된다.

[0038] 상기 탄소(C)는 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.05 ~ 0.20 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 0.5 ~ 1.5 중량%를 제시할 수 있다. 탄소(C)의 첨가량이 0.05 중량% 미만일 경우에는 기계적 강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 탄소(C)의 첨가량이 0.20 중량%를 초과할 경우에는 용접성 및 성형성이 저하되고, 인성을 떨어뜨리는 원인이 된다.

[0040] 실리콘(Si)

[0041] 실리콘(Si)은 강력한 페라이트 안정화 원소이며, 알루미늄(Al)과 함께 탈산제로 사용된다. 이러한 실리콘(Si)은 델타 페라이트의 생성을 촉진시킬 뿐만 아니라, 라베스 상(Fe_2W)과 탄화물 석출량을 높이고 응집 조대화를 조장하기 때문에 크립취성을 유발시킨다. 따라서, 탈산 및 인성의 관점에서 실리콘(Si)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.5 중량% 이하의 함량비로 제한하는 것이 바람직하다.

[0043] 망간(Mn)

[0044] 망간(Mn)은 오스테나이트 안정화 원소로서, 고용강화 효과를 갖는다.

[0045] 상기 망간(Mn)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.1 ~ 1.5 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 0.3 ~ 0.5 중량%를 제시할 수 있다. 망간(Mn)의 첨가량이 0.1 중량% 미만일 경우에는 강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 망간(Mn)의 첨가량이 1.5 중량%를 초과할 경우에는 강재의 용접성이 저하될 수 있다.

[0047] 크롬(Cr)

[0048] 크롬(Cr)은 페라이트 안정화 원소로서, 내산화성, 내부식성 및 크립 강도를 동시에 필요로 하는 고온, 고압부위에 사용되는 재료에서 필수적인 원소이다.

[0049] 상기 크롬(Cr)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 8 ~ 12 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 8.5 ~ 9.5 중량%를 제시할 수 있다. 크롬(Cr)의 첨가량이 8 중량% 미만일 경우에는 강재의 내산화성과 내식성이 나빠질 수 있다. 반대로, 크롬(Cr)의 첨가량이 12 중량%를 초과할 경우에는 델타 페라이트 형성으로 인하여 강재의 강도 및 인성이 저하될 수 있다.

[0051] 텅스텐(W)

[0052] 텅스텐(W)은 철기지 속에 고용되어 철 원자의 확산을 방해하기 때문에 전위조직의 회복 및 재결정 속도를 지연시키는 효과가 있으며, 동시에 $M_{23}C_6$형 탄화물에 일부 고용되어 탄화물의 성장속도를 낮추는 역할을 하기 때문에 크립강도 향상에 효과적이다. 그러나, 텅스텐(W)은 강력한 페라이트 안정화 원소이기 때문에 첨가량이 많아지면 크롬 당량을 크게 높여 델타 페라이트의 생성을 억제하기 어려우며, 또한 성장속도가 빠른 라베스 상(Fe_2W)과 M_6C 상을 생성하여 크립 강도를 낮추고 크립 취성을 유발시킨다. 따라서, 본 발명에서는 텅스텐(W)의 첨가효과를 얻기 위하여 최소 0.5 중량% 이상 첨가하는 것이 바람직하고, 또한 인성 및 장시간의 크립 강도를 확보를 위하여 2.5 중량% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.

[0054] 바나듐(V)

[0055] 바나듐(V)은 페라이트 안정화 원소이며, 탄화물 생성 경향이 아주 강하여 강 중의 고용 탄소 및 질소와 결합하여 V(C,N) 혹은 $V_4(C,N)_3$형 탄질화물을 형성하여 크립강도를 크게 높이는 역할은 한다.

[0056] 상기 바나듐(V)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.05 ~ 0.5 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 0.2 ~ 0.3 중량%를 제시할 수 있다. 바나듐(V)의 첨가량이 0.05 중량% 미만일 경우에는 목표로 하는 강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 바나듐(V)의 첨가량이 0.5 중량%를 초과할 경우에는 생성되는 조대한 탄질화물이 기지조직과의 정합성을 상실하게 되어 강재의 인성을 저하시키는 문제가 있다.

[0058] 탄탈륨(Ta)

[0059] 탄탈륨(Ta)은 탄화물의 형성을 통한 석출 강화를 도모하여 인장강도를 향상시킴과 동시에 충격인성을 향상시키는 역할을 한다.

[0060] 상기 탄탈륨(Ta)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.01 ~ 0.10 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 0.03 ~ 0.07 중량%를 제시할 수 있다. 탄탈륨(Ta)의 첨가량이 0.01 중량% 미만일 경우에는 그 첨가량이 불충분하여 석출 강화 효과를 제대로 발휘하기 어렵다. 반대로, 탄탈륨(Ta)의 첨가량이 0.10 중량%를 초과할 경우에는 복합 석출로 인한 탄질화물의 조대화로 인성이 하락할 수 있다.

[0062] 티타늄(Ti)

[0063] 티타늄(Ti)은 (Ti,Ta)C와 같은 나노사이즈의 미세한 Ti-Ti계 탄화물을 형성하여 강재의 인장강도를 향상시킴과 동시에 인성을 향상시키는 역할을 한다.

[0064] 상기 티타늄(Ti)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.01 ~ 0.10 중량%의 함량비로 첨가되는 것이 바람직하며, 보다 바람직한 범위로는 0.04 ~ 0.09 중량%를 제시할 수 있다. 티타늄(Ti)의 첨가량이 0.01 중량% 미만일 경우에는 강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 티타늄(Ti)의 첨가량이 0.10 중량%를 초과할

경우에는 조대 탄질화물의 형성으로 강재의 인성이 저하될 수 있다.

[0066] 한편, 티타늄(Ti) 및 탄탈륨(Ta)은 하기 수학식 1을 만족하는 범위로 첨가되는 것이 보다 바람직하다.

[0067] 수학식 1 : $0.1 \leq [Ta] + [Ti] \leq 0.15$

[0068] (여기서, []의 단위는 중량%임.)

[0069] 만일, 티타늄(Ti) 및 탄탈륨(Ta)의 합산 함량이 0.1 중량% 미만일 경우에는 그 첨가량이 불충분하여 목표로 하는 인장강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 티타늄(Ti) 및 탄탈륨(Ta)의 합산 함량이 0.15 중량%를 초과할 경우에는 탄질화물의 복합 석출로 인한 탄질화물의 조대화로 인하여 강재의 인성을 저하시키는 문제를 유발할 수 있다.

[0071] 알루미늄(Al)

[0072] 알루미늄(Al)은 페라이트 안정화 원소로서, 본 발명에서는 탈산제로 사용된다.

[0073] 알루미늄(Al)은 연성에는 큰 영향을 미치지 않지만, 적정 함량 이상 잔류하면 강 중의 고용질소를 알루미늄나이트라이드(AlN) 생성으로 모두 소모하여 V(C,N) 등의 탄질화물 생성을 어렵게 하므로 장시간 크립 강도를 낮춘다. 따라서, 알루미늄(Al)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.1 중량% 이하의 함량비로 제한하는 것이 바람직하다.

[0075] 인(P), 황(S)

[0076] 인(P)과 황(S)은 철 속에 불가피하게 존재하는 불순물로서 함량이 많으면 입계취하를 유발하여 인성, 크립강도 등에 유해하다. 따라서, 인(P) 및 황(S)은 본 발명에 따른 Ti-Ta 함유 저방사 강재 전체 중량의 0.05 중량% 이하로 각각 제한하는 것이 바람직하다.

[0078] Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법

[0079] 도 1은 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법을 나타낸 공정 순서도이다.

[0080] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 제조 방법은 열간압연 단계(S110), 노멀라이징 단계(S120), 냉각 단계(S130) 및 템퍼링 단계(S140)를 포함한다.

[0082] 열간압연

[0083] 열간압연 단계(S110)에서는 중량%로, C : 0.05 ~ 0.20%, Si : 0.5% 이하, Mn : 0.1 ~ 1.5%, Cr : 8 ~ 12%, W : 0.5 ~ 2.5%, V : 0.05 ~ 0.5%, Ta : 0.01 ~ 0.10%, Ti : 0.01 ~ 0.10% 및 나머지 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 열간압연한다. 이때, 강재에는 중량%로 Al : 0.1% 이하, P : 0.05% 이하 및 S : 0.05% 이하 중 1종 이상이 더 포함되어 있을 수 있다.

[0084] 이러한 열간압연 단계(S110) 이전에는 상기의 조성을 갖는 강을 용해한 후, 주조하고 재가열하는 단계가 선행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0085] 본 단계에서, 열간압연은 통상의 열간압연 방법이 이용될 수 있고, 열갑압연된 강재는 소망하는 최종 두께로 압연될 수 있다.

[0087] 노멀라이징

[0088] 노멀라이징 단계(S120)에서는 열간압연된 강재를 900 ~ 1,100℃에서 0.5 ~ 2시간 동안 노말라이징한다.

[0089] 이러한 노말라이징 처리를 통해 미세조직을 오스테나이트화 하여 후속하는 냉각 후, 마르텐사이트 조직을 효과적으로 얻을 수 있도록 하여 준다. 또한, 고온 유지를 통하여 탄질화물을 재용해시켜 후속하는 템퍼링 단계(S130)에서 미세석출을 꾀할 수 있게 하여 준다.

[0090] 노멀라이징 열처리 온도가 900℃ 미만일 경우에는 고용 용질 원소들의 재고용이 어려워 강도 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 노멀라이징 열처리 온도가 1,100℃를 초과할 경우에는 결정립의 성장에 의해 조대립의 발생으로 인성이 저하될 수 있으며, 델타 페라이트가 생성되어 강도 및 인성이 함께 악화될 수 있다.

[0091] 또한, 노말라이징 처리 시간이 30분 미만일 경우에는 오스테나이트화가 부족할 수 있을 뿐만 아니라 탄질화물의 용해가 미흡할 수 있다. 반대로, 노멀라이징 처리 시간이 2시간을 초과할 경우에는 결정립의 조대화로 인성이 저하될 수 있다.

[0093] 냉각

[0094] 냉각 단계(S130)에서는 노멀라이징 처리된 강재를 상온까지 냉각시킨다.

[0095] 본 단계에서, 노멀라이징 처리된 강재는 수냉 방식으로 냉각 처리되어 마르텐사이트 조직으로 변태된다. 본 발명에서의 냉각 처리는 특별히 그 요건을 제한하지 않으며, 통상적인 수냉을 비롯한 냉각 처리 방법이라면 적용이 가능하다.

[0097] 템퍼링

[0098] 템퍼링 단계(S140)에서는 냉각된 강재를 640 ~ 780℃에서 1 ~ 3시간 동안 템퍼링한다.

[0099] 이러한 템퍼링 단계(S140) 시, 노말라이징 처리로 형성된 마르텐사이트 조직을 템퍼링 처리를 통하여 템퍼드 마르텐사이트 조직을 만들어 강재의 인성을 확보할 수 있게 한다. 또한, 기지조직 내에 나노사이즈의 미세한 TiC 석출물, TaC 석출물 및 (Ti, Ta)C 석출물을 포함하는 Ti-Ta계 MX 석출물을 석출시킴으로써 강재의 강도를 확보할 수 있게 하여 준다.

[0100] 본 단계시, 템퍼링 온도가 640℃ 미만일 경우에는 템퍼링 효과가 미미해서 인성 확보에 어려움이 따를 수 있다. 반대로, 템퍼링 온도가 780℃를 초과할 경우에는 Ti-Ta계 MX 석출물이 조대화될 수 있을 뿐만 아니라 오스테나이트화로 역변태가 일어날 수 있다.

[0101] 또한, 템퍼링 시간이 1시간 미만일 경우에는 석출물의 석출이 부족할 수 있으며, 템퍼링 효과가 부족해서 인성에 문제가 생길 수 있다. 반대로, 템퍼링 시간이 3시간을 초과할 경우에는 석출물이 조대해질 수 있고, 템퍼링이 과함(over-tempering)으로 인해 강도 하락이 발생할 수 있다.

[0103] 상기의 과정(S110 ~ S140)으로 제조되는 본 발명에 따른 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재는 Ti-Ta 복합 첨가에 의해 미세 나노 탄화물의 석출로 고온에서 열적 안정성이 우수하여 핵융합로의 고온 및 고압부위에 효과적으로 사용될 수 있다.

[0104] 또한, 본 발명에 따른 방법으로 제조되는 인장강도 및 충격인성이 우수한 Ti-Ta 함유 저방사 강재 및 그 제조방법은 고온 크립 강도가 우수하여 연료관, 압력관, 내압 플레이트 재료로 용접 및 성형작업이 가능한 장점이 있으며, 설비의 성능, 수명 및 경제성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0106] **실시예**

[0107] 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.

[0108] 여기에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략하기로 한다.

[0110] **1. 시편 제조**

[0111] 표 1에 기재된 조성 및 표 2에 기재된 공정 조건으로 실시예 1 ~ 3 및 비교예 1 ~ 2에 따른 시편을 제조하였다.

[0113] [표 1] (단위 : 중량%)

[0114]

구 분	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ta	Ti
비교예 1 ~ 2	0.10	0.11	0.40	9.3	0.93	0.22	0.094	-
실시예 1 ~ 3	0.10	0.11	0.42	9.1	1.1	0.21	0.090	0.014

[0116] [표 2]

[0117]

구 분	두께 (mm)	노멀라이징 열처리 온도 (℃)	노멀라이징 열처리 시간 (hr)	템퍼링 온도 (℃)	템퍼링 시간 (hr)
비교예 1	7	1,000	1	650	2
비교예 2	7	1,000	1	750	2
실시예 1	12	1,000	1	650	2
실시예 2	12	1,000	1	700	2
실시예 3	12	1,000	1	750	2

[0119] **2. 기계적 물성 평가**

[0120] 표 3은 실시예 1 ~ 3 및 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 대한 기계적 물성 평가 결과를 나타낸 것이다. 또한, 도 2는 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 대한 기계적 물성 평가 결과를 나타낸 그래프이고, 도 3은 실시예 1 ~ 3에 따른 시편에 대한 기계적 물성 평가 결과를 나타낸 그래프이다.

[0122] [표 3]

구 분	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)	DBTT (℃)	0.24 x [YS] - [DBTT]	최대 충격흡수에너지 (J)
비교예 1	783	674	17	-39	200	228
비교예 2	657	538	17	-66	195	236
실시예 1	771	679	17	-55	218	239
실시예 2	704	592	18	-68	210	269
실시예 3	623	484	19	-94	210	290

[0123]

[0124] 표 1 내지 표 3과 도 2 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 실시예 1 ~ 3에 따른 시편은 비교예 1 ~ 2에 따른 시편과 유사한 강도를 나타내면서도 최대흡수에너지(USE)가 238J/㎠ 이상으로 개선된 것을 확인할 수 있다.

[0125] 특히, 실시예 1 ~ 3에 따른 시편의 경우, 0.24 × [YS] - [DBTT] 값이 205 이상을 나타내어, 항복강도 및 연성-취성 천이온도(DBTT)가 동시에 향상된 것을 확인할 수 있다.

[0126] 반면, 비교예 1 ~ 2에 따른 시편의 경우, 최대흡수에너지(USE)가 목표값을 만족하지 못하였으며, 0.24 × [YS] - [DBTT] 값이 205 미만으로 측정되어 목표값에 미달하는 것을 확인할 수 있다.

[0128] 도 4는 실시예 1 ~ 3 및 비교예 2에 따른 시편에 대한 충격흡수에너지 측정 결과를 나타낸 그래프이다.

[0129] 도 4에 도시된 바와 같이, 실시예 2 ~ 3에 따른 시편이 비교예 2에 따른 시편에 비하여, -100 ~ 100℃에서 측정된 충격 흡수에너지가 상대적으로 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 실시예 2 ~ 3에 따른 시편이 비교예 2에 따른 시편에 비하여 저온 및 고온 모두에서의 충격 흡수에너지가 상대적으로 상향된 것을 확인하였다.

[0131] 도 5는 실시예 1 ~ 3 및 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 대한 YS-DBTT 측정 결과를 나타낸 그래프이다.

[0132] 도 5에 도시된 바와 같이, 실시예 1 ~ 3에 따른 시편이 비교예 1 ~ 2에 따른 시편에 비하여, YS-DBTT 측정 값이 상향된 결과 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이 결과, 실시예 1 ~ 3에 따른 시편이 항복강도 및 연성-취성 천이온도(DBTT)가 동시에 향상되는 조합이라는 것을 알아내었다.

[0134] 이상에서는 본 발명의 실시예를 중심으로 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 기술자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 이러한 변경과 변형은 본 발명이 제공하는 기술 사상의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명에 속한다고 할 수 있다. 따라서 본 발명의 권리범위는 이하에 기재되는 청구범위에 의해 판단되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0136] S110 : 열간압연 단계

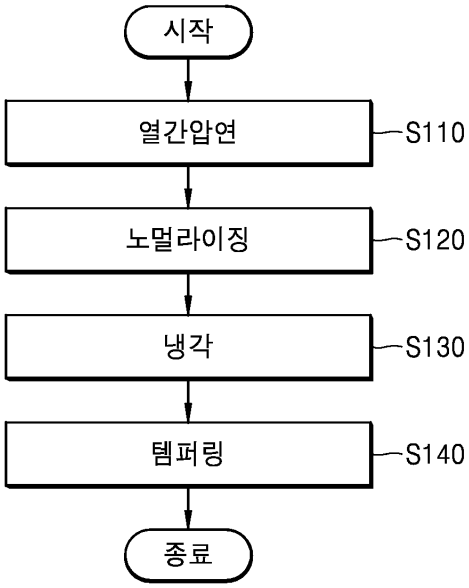
S120 : 노멀라이징 단계

S130 : 냉각 단계

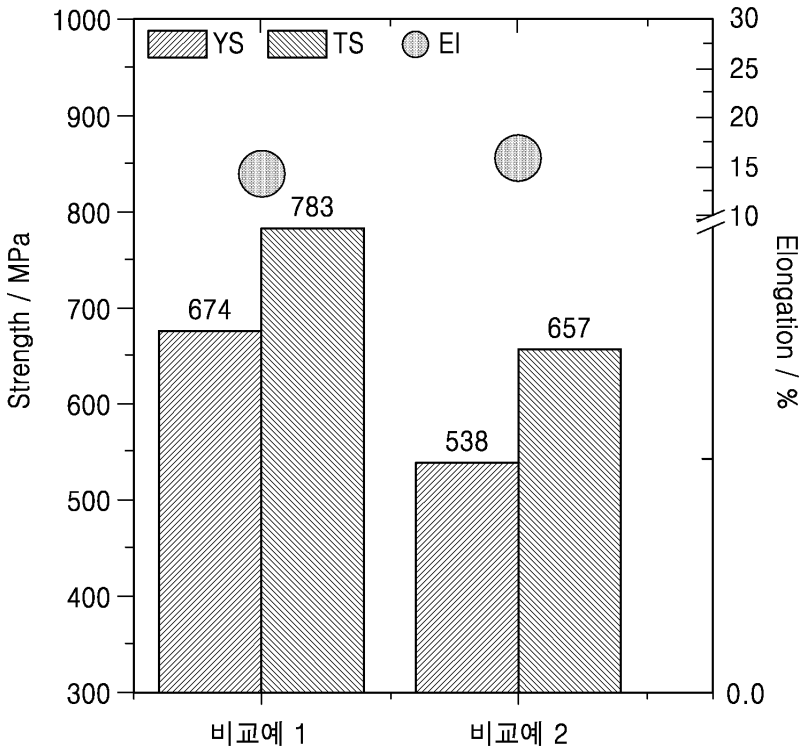
S140 : 템퍼링 단계

도면

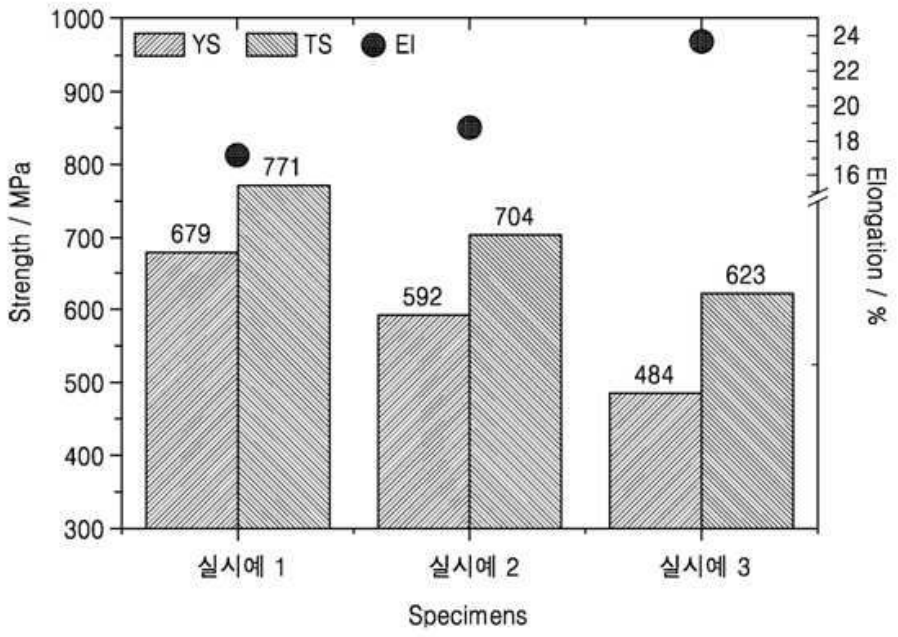
도면1


시작
열간압연
S110
노멀라이징
S120
냉각
S130
템퍼링
S140
종료

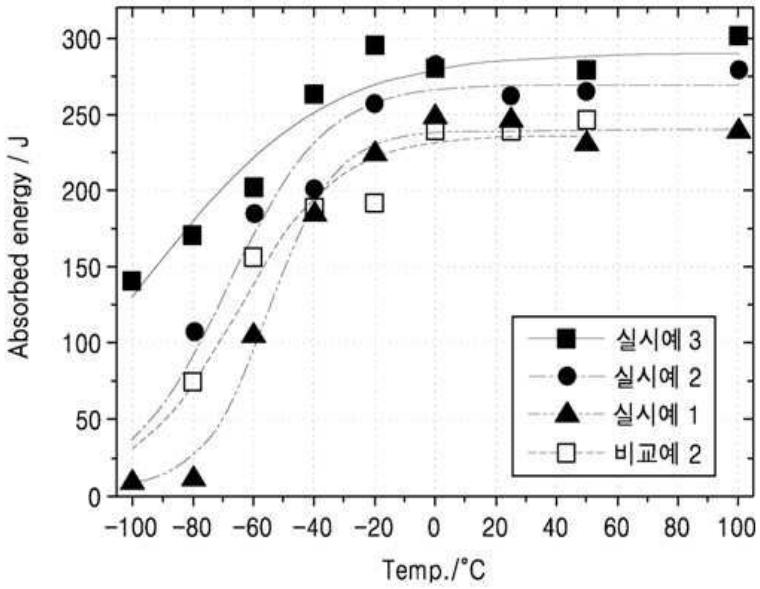
도면2


YS
TS
El
Strength / MPa
Elongation / %
1000
900
800
700
600
500
400
300
30
25
20
15
10
0.0
674
783
538
657
비교예 1
비교예 2

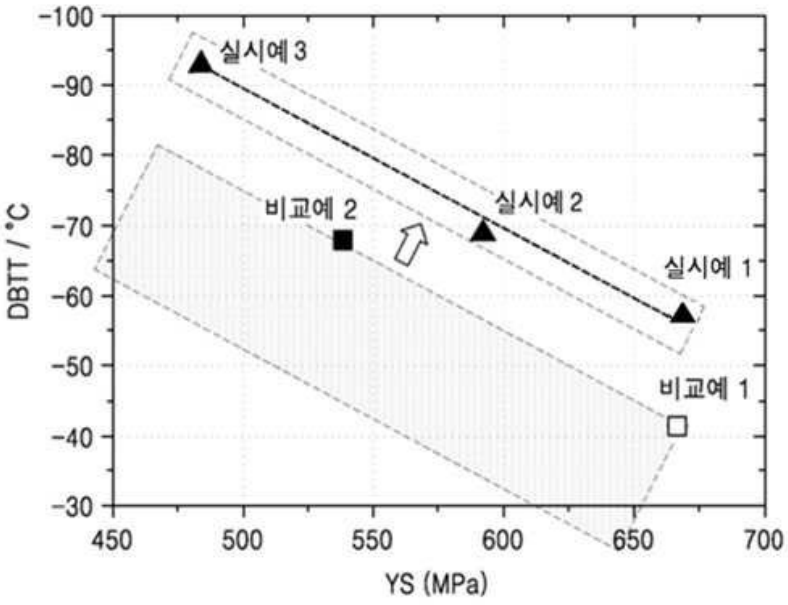
도면3


YS
TS
El
Strength / MPa
Elongation / %
679
771
592
704
484
623
실시예 1
실시예 2
실시예 3
Specimens

도면4


Absorbed energy / J
Temp./°C
실시예 3
실시예 2
실시예 1
비교예 2

도면5


-100
-90
-80
-70
-60
-50
-40
-30
DBTT / °C
450
500
550
600
650
700
YS (MPa)
실시예 3
실시예 2
실시예 1
비교예 2
비교예 1