(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0133062
(43) 공개일자 2017년12월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/28 (2006.01) *C21D 8/02* (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01) *C22C 38/22* (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/28 (2013.01)
C21D 8/0226 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0064022
(22) 출원일자 2016년05월25일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
이창훈
경상남도 창원시 성산구 원이대로 449 (반림동, 노블파크아파트), 103동 104호
박준영
서울특별시 은평구 은평터널로 179, 1층동 101호 (신사동 신한파크빌)
문준오
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774 (상남동, 성원아파트), 309동 101호
(74) 대리인
특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 4 항

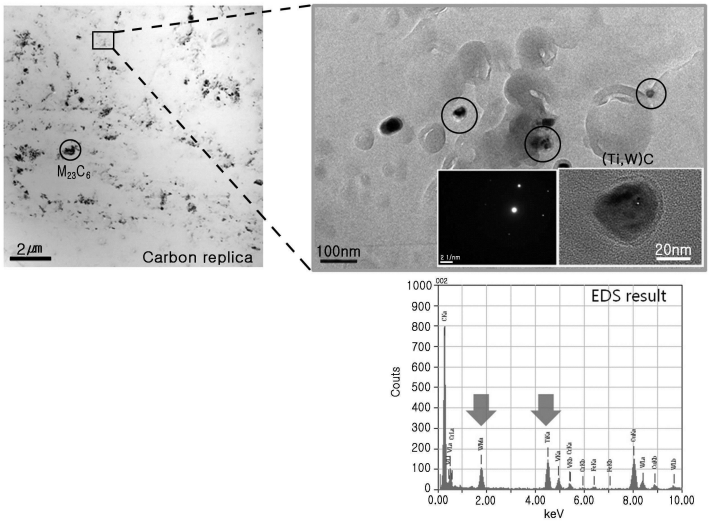
(54) 발명의 명칭 **기계적 물성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재 및 그 제조방법**

(57) 요 약

기계적 물성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재 및 그 제조방법이 제공된다.

본 발명의 저방사 강재는, 중량%로, C:0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 그 기지 조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 되어 있으며, 그리고 상기 마르텐사이트 조직 내에는 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출되어 있는 것을 특징으로 한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
C21D 8/0263 (2013.01)
C22C 38/18 (2013.01)
C22C 38/22 (2013.01)
C22C 38/24 (2013.01)
C22C 38/60 (2013.01)
C21D 2211/004 (2013.01)
C21D 2211/008 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013043811
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 핵융합연구개발사업
연구과제명 다상미세조직기반고인성-고강도저방사강기초연구(3/3)
기 여 율 1/1
주관기관 한국기계연구원부설재료연구소
연구기간 2015.06.01 ~ 2016.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, C;0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고,

그 기지 조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 되어 있으며, 그리고 상기 마르텐사이트 조직 내에는 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출되어 있는 것을 특징으로 하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 강재는 Ta: 0.1% 이하를 추가로 포함함을 특징으로 하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재.

청구항 3

중량%로, C;0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 용해한 후, 주조하는 공정;

상기 주조된 강재를 소정의 두께로 열간압연하는 공정;

상기 열간압연된 강재를 900~1100℃의 온도범위에서 20분~2시간 동안 노말라이징한 후, 상온으로 급냉함으로써 그 미세조직을 마르텐사이트 조직으로 하는 공정; 및

상기 조직을 갖는 강재를 500~750℃의 온도범위로 가열한 후, 1~3시간 동안 템퍼링함으로써 마르텐사이트 조직 내에 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출시키는 공정;을 포함하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재의 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 강재는 Ta: 0.1% 이하를 추가로 포함함을 특징으로 하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 기계적 물성이 우수한 Ti 함유 핵융합로 저방사 강재의 제조에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 기지 조직 내에 미세한 (Ti,W)C 나노 탄화물을 석출시킴으로써 고온에서 열적 안정성이 우수할 뿐만 아니라 인장강도 및 인성이 우수한 Ti 함유 핵융합로 저방사 강재 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 고속증식로의 연료피복관과 랩퍼(Wrapper)관 및 핵융합로의 제1로벽 재료로 써 종래에는 오스테나이트계 316 스테인레스 합금이 많이 사용되어 왔다. 하지만 오스테나이트계 합금은 스웰링(Swelling) 저항성, 응력부식균열(SCC) 저항성이 낮고, 나트륨 및 헬륨에 대한 취화감수성이 크기 때문에, 이러한 문제점을 개선하기 위해 상기 현상에 대한 저항성이 우수한 8~13%의 크롬을 함유한 페라이트계 합금이 후보재료로 사용될 수 있다.

[0003] 그러나 8~13%의 크롬을 함유한 페라이트계 강은 오스테나이트계 강에 비해 여러 가지 우수한 특성을 가짐에도 불구하고 충격인성이 낮고, 고온에서 장시간 사용할 때 취화(Embrittlement) 현상이 나타나며, 또한 용접성이 좋지 않기 때문에 상기 316 스테인레스 합금을 대체하기 위해서는 이러한 단점이 개선될 필요가 있다.

[0004] 한편 고 크롬 페라이트/마르텐사이트 저방사 강은 원소재를 진공유도방식으로 용해한 후, 열간압연, 노말라이징, 템퍼링 및 냉간압연 및 최종 열처리 공정들을 순차적으로 진행함으로써 제조된다. 여기서 통상 노말라이징과 템퍼링은 각각 1050℃ 및 750℃의 온도 환경에서 1시간 동안 이루어지며, 그 후의 냉간압연 시 압하율은 대략 75%이다. 그리고 상기 최종 열처리는 700℃의 온도에서 30분 동안 이루어진다. 그리고 이렇게 제조된 고 크롬 페라이트/마르텐사이트 강은 730~800℃의 온도에서 템퍼링 열처리한 것과 비슷한 기계적 성질을 가진다. 그로 인해, 일반적인 고 크롬 페라이트/마르텐사이트 강의 제조 시의 템퍼링 온도, 냉간압연 및 최종 열처리 등의 제조변수를 변화시켜 강도를 향상시킴에 한계가 있다. 특히, 600℃ 이상의 고온 환경에서 항복강도 및 인장강도가 미흡하다는 문제점이 야기된다.

[0005] 따라서 저방사화 재료에서는 종래의 8~13% 크롬 페라이트계 합금의 중요한 강화원소인 몰리브덴, 니오븀을 각각 텅스텐, 탄탈륨 등으로 대체하고, 니켈의 일부를 망간, 코발트 등으로 대체한 상태에서 상온강도, 충격인성 및 크립 강도를 동시에 만족시킬 수 있도록 하는 합금계가 보고되고 있으나, 여전히 고온에서의 열적안정성을 담보할 수 있을 뿐만 아니라 인장 강도와 충격 인성이 우수한 저방사 강재의 개발에 대한 요구가 계속되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 기지 조직 내 미세한 (Ti,W)C 나노 탄화물을 석출시킴으로써 고온에서 열적 안정성이 우수할 뿐만 아니라 인장강도 및 인성이 우수한 Ti 함유 핵융합로 저방사 강재를 제공함을 그 목적으로 한다.

[0007] 또한 본 발명은 상기 저방사 강재를 제조하는 방법을 제공함을 목적으로 한다.

[0008] 또한 본 발명의 해결하려는 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

[0010] 중량%로, C;0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고,

[0011] 그 기지 조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 되어 있으며, 그리고 상기 마르텐사이트 조직 내에는 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출되어 있는 것을 특징으로 하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재에 관한 것이다.

[0012] 본 발명에서 상기 강재는 Ta: 0.1% 이하를 추가로 포함함이 바람직하다.

[0013] 또한 본 발명은,

[0014] 중량%로, C;0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 용해한 후, 주조하는 공정;

[0015] 상기 주조된 강재를 소정의 두께로 열간압연하는 공정;

[0016] 상기 열간압연된 강재를 900~1100℃의 온도범위에서 20분~2시간 동안 노말라이징한 후, 상온으로 급냉함으로써 그 미세조직을 마르텐사이트 조직으로 하는 공정; 및

[0017] 상기 조직을 갖는 강재를 500~750℃의 온도범위로 가열한 후, 1~3시간 동안 템퍼링함으로써 마르텐사이트 조직 내에 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출시키는 공정;을 포함하는 강도와 인성이 우수한 Ti 함유 저방사 강재의 제조방법에 관한 것이다.

발명의 효과

[0018] 상술한 바와 같은 구성의 본 발명은, 저방사화 특성을 가지면서 인장 강도 및 충격 인성이 우수하여 원자력 발전소, 고속증식로, 핵융합로의 고온 및 고압부위에 효과적으로 사용될 수 있다.

[0019] 또한 고온 크립 강도가 우수한 강재로서 연료관, 압력관, 내압 플레이트 재료로 용접 및 성형작업이 가능한 장점이 있으며, 설비의 성능, 수명 및 경제성을 향상시키는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 실시예에 있어서 발명강(Ti-RAFM)의 미세조직을 비교강 (Eurofer97)과 대비하여 보여주고 있는 SEM 조직사진이다.

도 2는 도 1의 발명강의 TEM 미세조직 사진이다.

도 3은 본 실시예에서의 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 인장특성을 보여주는 그림이다.

도 4는 본 실시예에서의 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 샤르피 충격특성을 보여주는 그림이다.

도 5는 본 실시예에서의 발명강과 비교강의 고온 인장 강도(TS)와 항복강도(YS) 특성을 보여주는 그림이다.

도 6은 본 실시예에서의 발명강이 비교강에 비하여 인성을 해침이 없이 강도 특성이 개선됨을 보이고 있는 그림이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 본 발명을 설명한다.

[0022] 본 발명의 Ti 함유 저방사 강재는, 중량%로, C:0.05~0.2%, Cr:7~10%, W:1~3%, V:0.05~0.3%, Ti:0.01~0.15%, Mn:0.1~1%, Si:0.5% 이하, Al:0.1% 이하, P:0.02%이하, S:0.01% 이하, 잔여 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 그 기지 조직이 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 되어 있으며, 그리고 상기 마르텐사이트 조직 내에는 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출되어 있다.

[0023] 먼저, 본 발명의 저방사 강재의 강 조성 성분 및 그 제한사유를 설명한다.

[0024] · C:0.05~0.2%

[0025] 탄소는 오스테나이트 안정화 원소이면서, 강 중에 과포화되어 quenching, 템퍼링(tempering) 혹은 사용 도중 크롬, 바나듐, 텅스텐 등의 원소와 결합하여 석출물을 생성하여 강재의 강도를 향상시킨다. 또한 탄소는 상온 및 고온 강도, 용접성, 성형성 등에 큰 영향을 미치게 된다.

[0026] 만일 탄소함량이 0.05% 미만이면 상온 기계적 강도에 미달할 수도 있고, 탄소함량이 0.2%를 초과하면 용접성 및 성형성이 나빠지고, 강재의 인성을 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서 본 발명에서 탄소는 0.05~0.2% 범위로 첨가함이 바람직하다.

[0027] · Cr:7~10%

[0028] 크롬은 페라이트 안정화 원소로서, 내산화성, 내부식성 및 크립 강도를 동시에 필요로 하는 고온, 고압부위에 사용되는 재료에서 필수적인 원소이다.

[0029] 만일 크롬 함량이 7% 미만이면, 강재의 내산화성과 내식성이 나빠질 수 있으며, 10%를 초과하면 델타 페라이트 형성으로 인하여 강재의 강도 및 인성이 나빠질 수 있다. 따라서 본 발명에서는 크롬은 7~10% 범위로 첨가함이 바람직하다.

[0030] · W:1~3%

[0031] 텅스텐은 철기지 속에 고용되어 철 원자의 확산을 방해하기 때문에 전위조직의 회복 및 재결정 속도를 지연시키는 효과가 있으며, 동시에 M23C6형 탄화물에 일부 고용되어 탄화물의 성장속도를 낮추는 역할을 하기 때문에 크립강도 향상에 효과적이다. 그러나, 텅스텐은 강력한 페라이트 안정화 원소이기 때문에 첨가량이 많아지면 크롬 당량을 크게 높여 델타페라이트 생성을 억제하기 어려우며, 또한 성장속도가 빠른 라베스 상(Fe2W)과 M6C 상을 생성하여 장시간 쪽의 크립 강도를 낮추고 크립 취성을 유발시킨다. 본 발명에서는 텅스텐 첨가효과를 얻기 위하여 최소 1% 이상 첨가하며, 또한 인성 및 장시간의 크립 강도를 위하여 3% 이하로 제한한다.

[0032] · V:0.05~0.3%

[0033] 바나듐은 페라이트 안정화 원소이며, 탄화물 생성 경향이 아주 강하여 강 중의 고용 탄소 및 질소와 결합하여 V(C,N) 혹은 V4(C,N)3형 탄-질화물을 형성하여 크립강도를 크게 높이는 역할은 한다. 그러나, 첨가량이 많으면 생성되는 조대한 탄질화물이 기지조직과의 정합성을 상실하게 되어 강재의 인성을 떨어뜨리며, 그 첨가량이 적으면 소망하는 강재의 강도를 얻을 수 없다.

[0034] 이를 고려하여, 본 발명에서는 바나듐은 0.05~0.3% 범위로 첨가함이 바람직하다.

[0035] · Ti:0.01~0.15%

[0036] 티타늄은 본 발명에서 가장 핵심적인 원소로서, (Ti,W)C와 같은 나노사이즈의 미세한 Ti계 탄화물을 형성함으로써 하여 강재의 인장 강도와 인성을 향상시키는 역할을 한다. 그러나 그 첨가량이 과다하면 조대 탄질화물의 형성으로 강재의 인성이 나빠질 수 있으며, 과소하면 소망하는 강재의 강도를 확보할 수 없다.

[0037] 따라서 본 발명에서 티타늄은 0.01~0.15% 범위로 첨가함이 바람직하다.

[0038] · Mn:0.1~1%

[0039] 망간은 오스테나이트 안정화 원소이며, 고용강화 효과가 있다.

[0040] 본 발명에서는 망간의 첨가량을 0.1~1% 범위로 제한함이 바람직한데, 만일 0.1% 미만이면 소망하는 강재의 강도를 얻을 수 없으며, 1%를 초과하면 강재의 용접성이 나빠질 수 있기 때문이다.

[0041]

[0042] · Si:0.5% 이하

[0043] 실리콘은 강력한 페라이트 안정화 원소이며, 알루미늄과 함께 탈산제로 사용될 수 있다. 실리콘은 델타페라이트 생성 경향을 높일 뿐만 아니라, 또한 라베스 상(Fe2W)과 탄화물 석출량을 높이고 응집 조대화를 조장하기 때문에 크립취성을 유발시킨다. 본 발명에서는 탈산 및 인성의 관점에서 실리콘 잔류 함량을 최대 0.5% 이하로 제한한다.

[0044] · Al:0.1% 이하

[0045] 알루미늄은 페라이트 안정화 원소이며, 본 발명에서는 탈산제로 사용된다. 알루미늄은 연성에는 큰 영향을 미치지 않지만, 적정 함량 이상 잔류하면 강 중의 고용질소를 알루미늄나이트라이드(AIN) 생성으로 모두 소모하여

V(C,N) 등의 탄질화물 생성을 어렵게 하므로 장시간 크립 강도를 낮춘다. 따라서, 본 발명에서는 알루미늄 잔류 함량은 최대 0.1% 이하로 제한한다.

[0046] ·

[0047] P:0.02%이하, S:0.01% 이하

[0048] 인과 유황은 철 속에 불가피하게 존재하는 불순물로서 함량이 많으면 입계취하를 유발하여 인성, 크립강도 등에 유해하므로 각각 0.02%, 0.01% 이하로 제한한다.

[0049] 한편 본 발명의 저방사 강재는 선택적으로 Ta: 0.1% 이하를 추가로 포함할 수 있다.

[0050] Ta는 탄화물형성을 통한 석출 강화를 꾀할 수 있게 하는 원소이다. 그러나 본 발명에서 Ta는 첨가하지 않아도 Ti 첨가로 석출 강화를 도모할 수 있으며, 다만 Ta를 첨가하면 추가 석출 강화 효과를 얻을 수 있다. 그러나 너무 많이 넣으면 복합 석출로 인한 탄질화물의 조대화로 인성이 하락할 수 있으므로, 본 발명에서는 Ta의 첨가량을 0.1% 이하로 제한함이 바람직하다.

[0051] 다음으로, 본 발명의 저방사 강재의 제조방법을 설명한다.

[0052] 본 발명은 상기와 같이 조성된 강재를 용해한 후, 주조하는 공정; 상기 주조된 강재를 소정의 두께로 열간압연하는 공정; 상기 열간압연된 강재를 900~1100℃의 온도범위에서 20분~2시간 동안 노말라이징한 후, 상온으로 급냉함으로써 그 미세조직을 마르텐사이트 조직으로 하는 공정; 및 상기 조직을 갖는 강재를 500~750℃의 온도범위에서 1~3시간 동안 템퍼링하는 공정;을 포함한다.

[0053] 먼저, 본 발명에서는 상기와 같이 조성된 강재를 용해한 후, 주조한다. 본 발명에서는 상기 용해 및 주조방법 등에 제한되지 않으며,다양한 방법들을 이용할 수 있다. 예컨대 상기 용해공정의 일예로 진공유도용해(Vacuum Induction Melting) 방식을 이용할 수도 있다.

[0054] 이어, 본 발명에서는 상기 주조된 강재를 소정의 두께로 열간압연한다. 본 발명은 또한 이러한 구체적인 열간압연 방법에 제한되지 않으며, 잘 알려진 통상의 열간압연 방법을 이용할 수 있다. 그리고 상기 열갑압연된 강재 제품을 소망하는 최종 두께로 할 수 있다.

[0055] 그리고 본 발명에서는 상기 열간압연된 강재를 900~1100℃의 온도범위에서 20분~2시간 동안 노말라이징 처리한다. 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 템퍼링공정에서 미세석출을 꾀할 수 있게 하여 준다.

[0056] 본 발명에서는 상기 노말라이징 처리온도를 900~1100℃ 범위로 함이 바람직한데, 만일 900℃ 미만이면 구조물이 full 오스테나이트화가 안 될 수 있을 뿐만 아니라 탄질화물의 재용해가 미흡할 수 있으며, 1100℃를 초과하면 오스테나이트 결정립이 조대해져 인성이 악화될 수 있으며, 델타 페라이트가 생성되어 강도와 인성이 악화될 수 있기 때문이다.

[0057] 또한 노말라이징 시간을 20분~2시간으로 제한함이 바람직한데, 20분 미만에서는 구조물의 오스테나이트화가 부족할 수 있을 뿐만 아니라 탄질화물의 용해가 미흡할 수 있고, 2시간을 초과하면 결정립이 조대화될 수 있기 때문이다.

[0058] 이어 ,본 발명에서는 상기 노말라이징 처리된 열연강재를 상온으로 급냉함으로써 그 미세조직으로 마르텐사이트 조직을 갖는 강재를 제조한다.

[0059] 마지막으로, 본 발명에서는 상기 마르텐사이트 조직을 갖는 강재를 500~750℃의 온도범위로 가열한 후, 1~3시

간 동안 템퍼링함으로써 마르텐사이트 조직 내에 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출시킨다.

[0060] 이러한 템퍼링공정은 상기 노말라이징으로 형성된 마르텐사이트 조직을 템퍼링를 통하여 템퍼드 마르텐사이트 조직을 만들어 강재의 인성을 확보할 수 있게 한다. 또한 기지조직 내에 M23C6 탄화물을 형성하여 강재의 크립 특성을 향상시키며, 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물을 석출시킴으로써 강재의 강도를 확보할 수 있게 하여 준다.

[0061] 본 발명에서는 상기 템퍼링 처리온도를 500~750℃ 범위로 제한함이 바람직한데, 만일 상기 온도가 500℃ 미만이면 (Ti,W)C 석출이 안 되어 강도가 저하될 수 있을 뿐만 아니라 템퍼링 효과가 미미해서 인성확보에 문제가 생길 수 있으며, 750℃를 초과하면 M23C6 석출물이 조대화될 수 있을 뿐만 아니라 오스테나이트화로 역변태가 될 수도 있기 때문이다.

[0062] 또한 상기 템퍼링 시간은 1~3시간으로 제한함이 바람직한데, 1시간 미만에서는 석출물의 석출이 부족할 수 있으며, 템퍼링 효과가 부족해서 인성에 문제가 생길 수 있다. 한편 3시간을 초과하면 석출물이 조대해 질 수 있고, 템퍼링이 과함(over-tempering)으로 인해 강도 하락이 발생할 수 있기 때문이다.

[0063] 상기와 같은 제조공정을 통하여 제조된 본 발명의 저방사 강재는 기지조직인 템퍼드 마르텐사이트 조직 내에 나노사이즈의 미세한 (Ti,W)C 탄화물과 미세한 M23C6 탄화물이 석출시킴으로써 우수한 강도와 인성을 갖는 강재를 효과적으로 얻을 수 있다.

[0064] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 상세히 설명한다.

[0065] (실시예)

표 1

[0066]

	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ta	Ti
비교강(Eurofer97)	0.10	0.11	0.40	9.3	0.93	0.22	0.094	-
발명강(Ti-RAFM)	0.10	0.13	0.41	9.3	0.95	0.23	-	0.064

[0067] *표 1에는 단위는 중량%임.

[0068] 상기 표 1과 같은 강 조성성분을 갖는 강재를 각각 마련하였다. 상기와 같이 마련된 강재를 각각 진공유도 용해로에서 용해 후, 통상의 방법으로 주조하여 강재를 제조하였다. 이어, 상기 제조된 강재를 열간압연 함으로써 두께 7t의 열간압연재를 제조하였다.

[0069] 상기와 같이 제조된 열간압연재는 각각 1000℃에서 1시간 동안 노말라이징 처리되었으며, 이후 상온으로 급냉하여 강재의 미세조직을 마르텐사이트 조직으로 하였다. 그리고 상기 강재들 중 발명강은 650℃에서 2시간 동안 템퍼링을 실시하였으며, 비교강은 750℃에서 2시간 동안 템퍼링을 실시한 후 상온으로 냉각하여 최종 제품을 제조하였다.

[0070] 도 1은 상기와 같이 제조된 발명강(Ti-RAFM)의 미세조직을 비교강 (Eurofer97)과 대비하여 보여주고 있는 SEM 조직사진이다. 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명강의 경우 비교강과 유사한 내부 조직을 가짐을 알 수 있다.

[0071] 한편 도 2는 상기 본 발명강(Ti-RAFM)의 TEM 미세조직을 사진으로서, 기지조직 내 마이크로(㎛) 단위의 미세한 M23C6 석출물이 석출되어 있으며, 또한 나노 사이즈(nm)를 갖는 미세한 (Ti, W)C 탄화물이 석출 분포되어 있음을 알 수 있다.

[0072] 도 3은 본 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 인장특성을 보여주는 그림이며, 도 4는 본 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 샤르피 충격특성을 대비하여 보여주는 그림이다. 도 3-4에 나타난 바와 같이, 본

발명강은 비교강 보다 우수한 인장 특성을 가짐을 알 수 있으며, 또한 비교강에 필적하는 충격 인성을 가짐도 알 수 있다. 하기 표 2는 본 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 인장특성 및 샤르피 충격특성을 수치적으로 비교하여 나타낸 것이다.

표 2

[0073]

	인장 특성(MPa, %)			샤르피 특성(℃, J/cm^2)	
	YS	TS	EL	DBTT	USE
비교강(Eurofer97)	538	657	17	-68	266
발명강(Ti-RAFM)	573	698	18	-69	253

[0074] *표 2에서 YS는 항복강도 TS는 인장강도, EL은 연신율, DBTT는 연성-취성 천이온도, 그리고 USE는 최대흡수에너지를 나타낸다.

[0075] 한편 5는 전기 본 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)의 고온 인장 강도(TS)와 항복강도(YS) 특성을 보여주는 그림으로서, 본 발명강이 비교강에 비하여 전반적으로 고온 인장특성이 우수함을 알 수 있다.

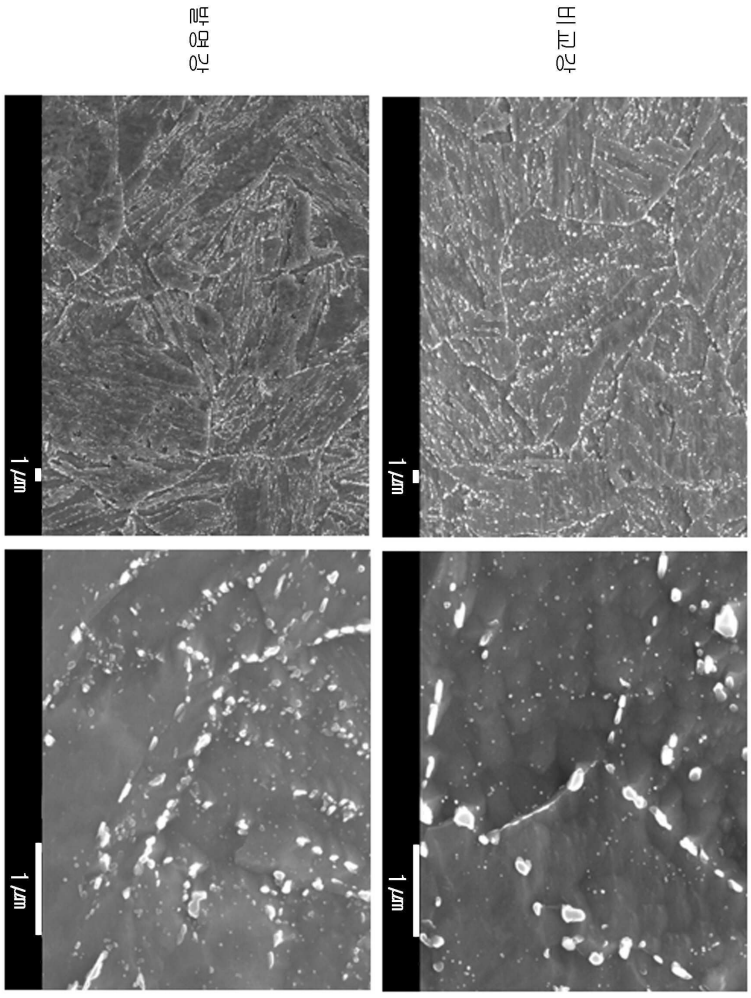
[0076] 그리고 도 6은 본 발명강(Ti-RAFM)과 비교강(Eurofer97)에 비하여 인성을 해침이 없이 강도 특성이 개선됨을 보이고 있는 그림이다.

[0077]

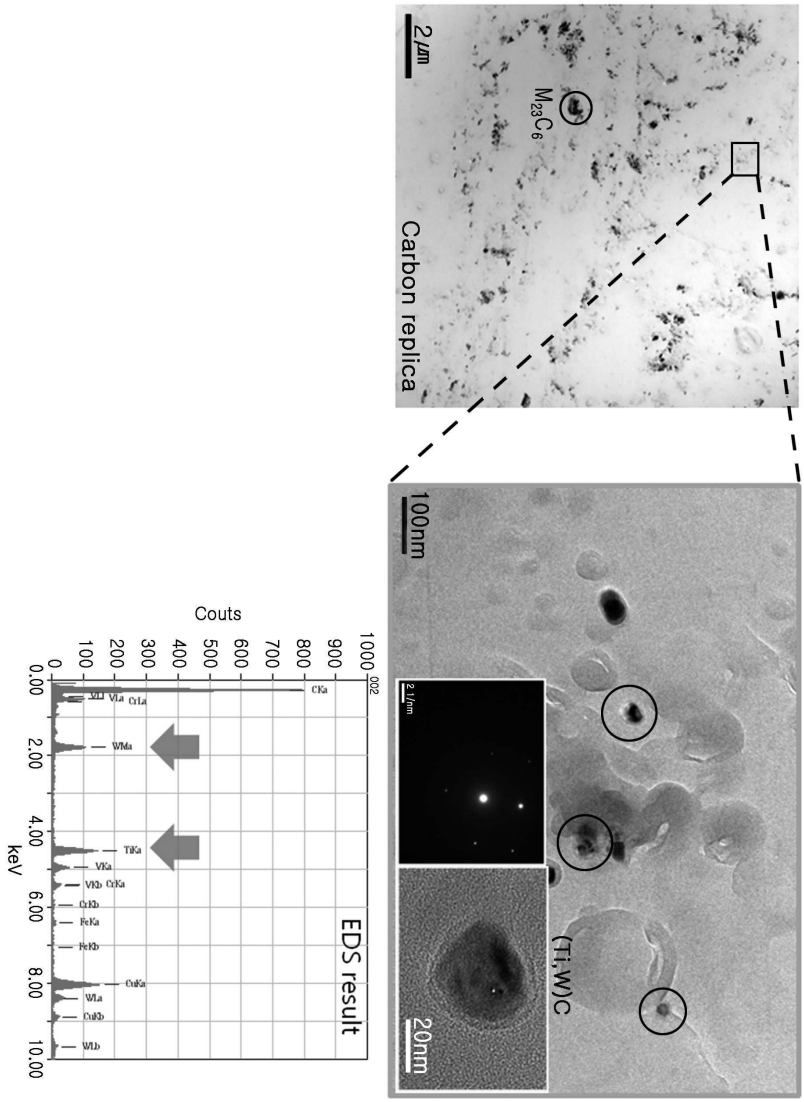
[0078] 이상, 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

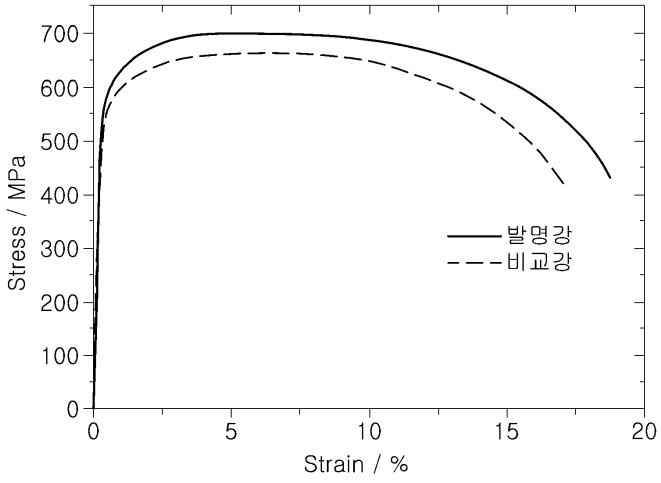
도면1



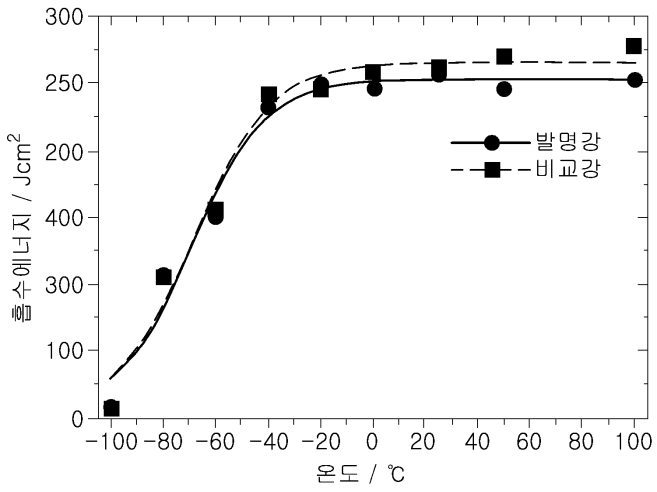
도면2


2㎛
$M_{23}C_6$
Carbon replica
100nm
(Ti,W)C
20nm
Couts
EDS result
keV

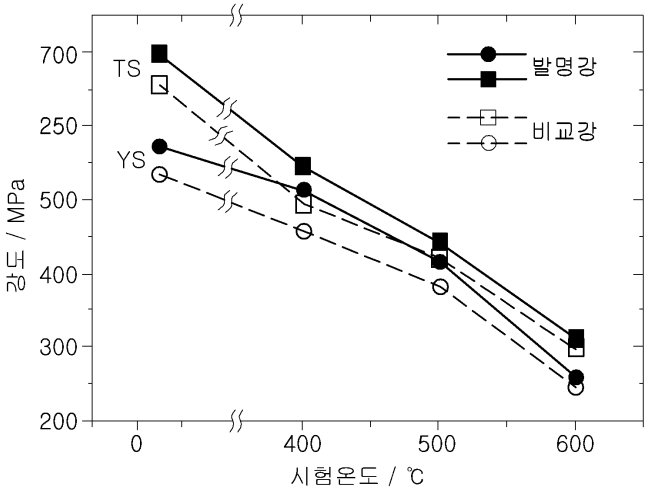
도면3


Stress / MPa
Strain / %
발명강
비교강

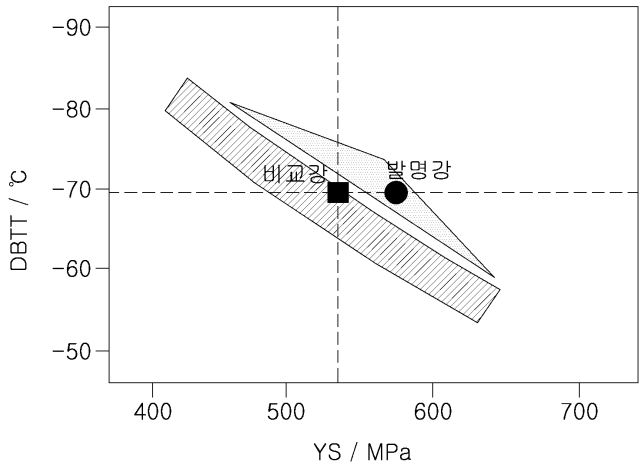
도면4


흡수에너지 / Jcm²
온도 / ℃
발명강
비교강

도면5


강도 / MPa
시험온도 / ℃
TS
YS
발명강
비교강

도면6


DBTT / ℃
YS / MPa
비교강
발명강