(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0059717
(43) 공개일자 2018년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/38 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01) *C22C 38/26* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/38 (2013.01)
C22C 38/001 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0176117
(22) 출원일자 2016년12월21일
심사청구일자 2016년12월21일
(30) 우선권주장
1020160158742 2016년11월25일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
하헌영
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동) 창원대로 797 재료연구소
이태호
경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 호원로 359 213동 101호 (호계리,코오롱하늘채2차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 대아

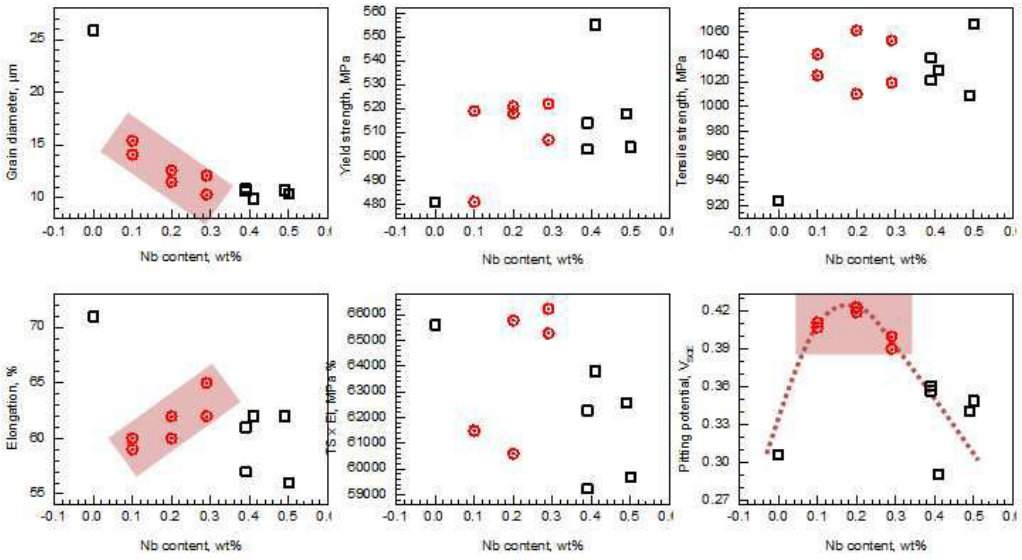
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **내공식성이 향상된 오스테나이트계 스테인리스강**

(57) 요 약

본 발명은, 탄소와 질소를 모두 다량 포함하는 고침입형 원소를 함유하는 오스테나이트 스테인리스강에서 우수한 공식저항성을 가지면서도, 강도 및 연성이 우수한 오스테나이트계 스테인리스강으로서, 중량%로, 크롬(Cr): 15~19%, 망간(Mn): 9~11%, 탄소(C): 0.18~0.3%, 질소(N): 0.25~0.3%, 니오븀(Nb): 0.1~0.3%, 실리콘(Si): 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
C22C 38/26 (2013.01)
C21D 2211/001 (2013.01)

(72) 발명자
장재훈
경상남도 창원시 성산구 대정로 84 207동 801호 (남양동,피오르빌아파트)
박준영
경남 창원시 성산구 동산로 61번길 30
문준오
경상남도 창원시 성산구 원이대로 449 노블파크아파트 133동 102호(반림동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PGM8960
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 전략적핵심소재기술개발사업
연구과제명 해양플랜트용 고내식 leanized (CPT/[Ni+Mo]≥6.5) 스테인리스강 개발(1/6)
기 여 율 40/100
주관기관 한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간 2016.07.01 ~ 2016.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK4680
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 에너지플랜트용 고온 내환경 금속소재 개발(2/3)
기 여 율 20/100
주관기관 한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK4790
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 해양,발전 플랜트용 철강소재 실용화 기반 기술 개발(2/3)
기 여 율 40/100
주관기관 한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, 크롬(Cr): 15~19%, 망간(Mn): 9~11%, 탄소(C): 0.18~0.3%, 질소(N): 0.25~0.3%, 니오븀(Nb): 0.1~0.3%, 실리콘(Si): 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 2

제1항에 있어서,

탄소(C)와 질소(N)의 합산 함량이 0.47중량% 이상인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 니오븀과 탄소의 원자개수 비율(Nb/C)이 4~20인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 탄소 중에서 니오븀과 결합되지 않는 자유 탄소(Free C)의 비율이 80% 이상인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강은 평균 결정립 지름이 10~16㎛이고, 인장강도와 연신율의 곱이 60,000 MPa·% 이상인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강은 58% 이상의 연신율 및 $0.36V_{SCE}$ 이상의 공식전위를 나타내는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강은 초정(primary) NbC의 부피분율이 3 vol%을 넘지 않는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것으로, 보다 상세하게는 내공식성이 향상된 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 스테인리스강은 미세조직에 따라서 크게 오스테나이트계 스테인리스강, 페라이트계 스테인리스강, 오스테나이트-페라이트 2상 스테인리스강으로 분류된다.

[0003] 이 중, 상용 오스테나이트계 스테인리스강은 주로 Fe-Cr-Ni 원소로 구성되며 합금으로 가공성과 내식성이 우수한 강종이다. 그러나 Ni 의존도가 높아 비경제적인 단점이 있으므로 이를 극복하기 위하여 Ni을 Mn, N, C 등의 경제적인 오스테나이트 형성 원소로 대체한 강종들이 개발되고 있다.

[0004] 그러나 C 및 N이 복합 첨가된 스테인리스강은 C 및 N의 높은 함량으로 인하여, Cr_2N, $Cr_{23}C_6$ 등 크롬계 탄화물 혹은 질화물의 석출 가능성이 높다. 이러한 크롬계 탄화물 혹은 질화물의 경우, 공식성을 저하시키는 요인이 된다.

[0005] 이러한 문제를 개선하기 위해 C 함량을 0.05중량% 정도로 낮추는 방법이 있으나, 이 경우 강도 저하의 문제점이 발생하고, 이를 보상하기 위해 Si, Cr, Ni 등의 과다 첨가가 요구된다. (특허문헌 1)

[0006] 특허문헌 1에서는 중량 퍼센트(wt%)로, C: 0.06% 이하, Si: 0.5~3.0%, Mn: 1.5% 이하, Cr: 21~23%, Ni: 9~11%, Nb: 0.1~0.5%, N: 0.1 ~ 0.25%, W: 0.1 ~ 1.0% 이고 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 내공식성이 우수한 오스테나이트계 스테인리스강이 개시되어 있다. 상기 문헌의 경우, 낮은 탄소 및 망간 함량과 더불어 높은 Si, Cr, Ni 함량을 나타내고 있다. 특히 높은 니켈 함량은 오스테나이트계 스테인리스 스틸의 가격을 크게 상승시키는 요인이 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 특허문헌 1 : 한국 공개특허공보 제10-2016-0082376호(2016.07.08. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 탄소와 질소를 모두 다량 포함하는 고침입형 원소를 함유하는 오스테나이트 스테인리스강에서 우수한 공식저항성을 가지면서도, 강도 및 연성이 우수한 스테인리스강을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 15~19%, 망간(Mn): 9~11%, 탄소(C): 0.18~0.3%, 질소(N): 0.25~0.3%, 니오븀(Nb): 0.1~0.3%, 실리콘(Si): 0.3% 이하를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0010] 이때, 탄소(C)와 질소(N)의 합산 함량이 0.47중량% 이상일 수 있다.

[0011] 또한, 상기 니오븀과 탄소의 원자개수 비율(Nb/C)이 4~20일 수 있다.

[0012] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강에는 인(P): 0.005중량% 이하, 황(S) : 0.005중량% 이하가 포함되어 있을 수 있다.

[0013] 또한, 상기 탄소 중에서 니오븀과 결합되지 않는 자유 탄소(Free C)의 비율이 80% 이상일 수 있다.

[0014] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 평균 결정립 지름이 10~16㎛이고, 인장강도와 연신율의 곱이 60,000

MPa·% 이상일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 58% 이상의 연신율 및 0.36V_{SCE} 이상의 공식전위를 나타낼 수 있다.

[0016] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 초정(primary) NbC의 부피분율이 3 vol%을 넘지 않을 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 탄소와 질소를 모두 포함하는 고침입형원소 함유 스테인리스강으로서, 내공식성이 우수할 뿐만 아니라 Nb를 활용함으로써 결정립을 미세화하고 강도 및 연성이 향상된 스테인리스강을 제공할 수 있다.

[0018] 한편, 실험 결과, 특정 Nb 범위에서 공식저항성 및 연신율이 최대가 되는 구간이 발견되었다. 이 결과는 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스 스틸의 고유한 특성으로 볼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 초정 NbC의 사진 및 EDS 맵핑 결과를 나타낸 것이다.

도 2는 니오븀 함량 증가에 따른 초정 NbC 부피분율 변화를 나타낸 것이다.

도 3은 각각 실시예 및 비교예의 Nb 함량에 따른 결정립크기, 항복강도, 인장강도, 연신율, 연신율 × 인장강도, 그리고 공식저항성의 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0021] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시 예들은 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.

[0022] 탄소 및 질소 복합첨가 스테인리스강은 탄소 및 질소의 함량이 높다. 이에 따라, Cr_2N, $Cr_{23}C_6$ 등 크롬계 탄화물 또는 크롬계 질화물의 석출 위험이 높다. 이들 크롬계 탄질화물은 모재 내 크롬의 국부적인 고갈을 초래하여 내식성, 기계적 특성 등 제반 물성의 저하를 일으킨다.

[0023] 따라서, 크롬계 탄질화물 형성 방지를 위하여 균질화 열처리 온도를 높일 필요가 있다. 그러나, 이러한 방법의 경우, 결정립 조대화를 가져오게 된다. 결정립 조대화는 기계적 특성의 저하 및 가공 후 표면품질 저하를 야기할 수 있으며, 또한 공식저항성의 저하를 일으키는 단점이 있다.

[0024] 이에 본 발명에서는, 탄소 및 질소 복합첨가 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 강의 결정립 미세화를 위하여 강력한 탄질화물 형성원소인 Nb를 소량 활용하였다.

[0025] Nb 함량 증가에 따라 결정립은 효과적으로 미세화된다. 그러나, 도 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 결정립 미세화 효과는 0.3 wt% 이상의 Nb 첨가에서는 두드러지지 않는다. 또한, Nb 함량 증가에 따라 NbC의 형성 및 분율이 증가하므로, 결과적으로 모재의 불균질성 증가로 인한 공식저항성 저하가 우려되며, 연신율의 선형 감소가 우려된다.

[0026] 그러나, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스 스틸의 경우, 도 3을 참조하면, 제조 합금 평가 결과 Nb 함량이 0.2 wt%까지 증가하면 공식저항성이 오히려 향상되는 효과를 얻고(부동태 피막 강화 효과), 연신율의 경우 Nb 함량이 0.3 wt%까지 증가하면 상승되는 역-V curve를 나타내었다.

[0027] 이에 결정립 미세화 및 물성 향상의 최대치를 가져올 수 있는 Nb 함량은 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에서 0.1~0.3중량%임을 알 수 있다.

[0028] 보다 구체적으로, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 15~19%, 망간(Mn): 9~11%, 탄소(C): 0.18~0.3%, 질소(N): 0.25~0.3%, 니오븀(Nb): 0.1~0.3%, 실리콘(Si): 0.3% 이하를 포함하고,

나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0029] 이하, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 포함되는 각 성분들의 역할 및 함량에 대하여 설명하기로 한다.

[0030] Cr(크롬)

[0031] Cr은 스테인리스강의 부동태 피막 형성을 촉진하는 원소로 특히 내식성 향상에 필수적인 원소이다. 또한 질소 고용도 향상에 효과적이므로, 강 내 안정적인 질소 용해도 향상을 도모하고 내식성 향상을 위해 15중량% 이상 함유가 효과적이나, 19중량%를 초과하여 과도하게 함유할 경우 δ-ferrite의 형성으로 오스테나이트 상안정도 저하 및 열간가공성의 저하를 야기할 수 있다.

[0032] Mn(망간)

[0033] Mn은 강도 증대 및 오스테나이트 안정화에 기여하는 경제적인 원소이다. 본 발명에서 망간은 9~11중량%로 포함된다. Mn이 9중량% 미만일 경우, 오스테나이트 상 형성능 부족으로 인해 오스테나이트 단상을 얻기 어려우며, 또한 N 고용도 저하를 초래할 수 있으므로 본 강종에서는 9중량% 이상을 포함한다. 그러나 Mn은 Mn 산화물 등을 형성할 수 있어서 내식성 저하를 가져오며, 또한 고용상태의 Mn 역시 부동태 특성을 열화시키고 공식저항성을 감소시키는 것으로 알려져 있으므로 그 함량은 11중량%로 제한한다.

[0034] C(탄소)

[0035] C는 오스테나이트계 스테인리스강의 강도 향상에 유효하며 경제적이면서도 강력한 오스테나이트 상안정화 원소이며 고용강화에 의해 강도를 현저히 증가시키는 장점이 있다. 또한 고용상태의 C는 공식저항성을 향상시킴이 보고된 바 있다. 이를 위해, 본 발명에서는 C의 함량을 0.18중량% 이상으로 하였다. 그러나, C의 함량이 0.3중량%를 초과할 경우, Cr-탄화물 형성이 용이해지므로 내식성에 유효한 고용 Cr 함량을 감소시킬 수 있고 또한 탄화물 형성 방지를 위한 균질화 열처리 온도가 높아져야 하며 열처리 중 탄화물 형성 가능성이 높아지므로 그 상한을 0.3중량%으로 제한한다.

[0036] N(질소)

[0037] N는 0.25중량% 이상 포함될 경우, 오스테나이트 상을 안정화시키는 원소로 Ni을 대체할 수 있고 강도와 내식성을 향상시키는데 기여할 수 있다. 또한 질소는 고용강화에 의해 강도를 증가시킴과 동시에 연성을 높은 수준으로 유지시킬 수 있는 장점이 있다. 다만, 질소 함량이 0.3중량%를 초과하는 경우, 질화물 형성 방지를 위한 균질화 열처리 온도가 높아져야 하며, Cr 질화물 형성으로 인성 저하 및 용접성 저하를 야기할 수 있다.

[0038] Nb(니오븀)

[0039] Nb는 강력한 탄화물 형성원소로, MX-type의 탄화물을 형성하여 상온 및 고온 강도 및 열피로 특성 개선에 기여할 수 있다. 또한 미세 형성된 MX type의 탄화물은 결정립의 이동을 방해하므로 결정립 미세화에 효과적이다. 이 효과를 위해, 본 발명에서는 Nb를 0.1중량% 이상 첨가하였다. 그러나 Nb 함량이 0.3중량%를 초과하는 경우, 초정 NbC의 형성이 촉진되고 또한 NbC의 크기가 조대해지는 단점이 있어, 가공성 저하 등의 문제가 발생할 수 있다.

[0040] Si(실리콘)

[0041] Si는 오스테나이트계 스테인리스강에서 탈산제로 주로 활용된다. 다만, Si 함량이 0.3중량%를 초과하는 경우, 강의 인성과 관련된 기계적 특성을 크게 감소시키고 또한 금속간 화합물을 형성하는 문제가 있으므로 강의 용접성 저하의 원인이 될 수 있다.

[0042] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강의 경우, 니켈을 실질적으로 포함하지 않을 수 있다. 이와 같이, 고가의 니켈을 포함하지 않음에 따라, 강 제조 비용이 크게 절감될 수 있다.

[0043] 본 발명에 따른 오스케나이트계 스테인리스강의 경우, 탄소 및 질소가 다량 복합 첨가되어 있다. 보다 구체적으로 탄소(C)와 질소(N)의 합산 함량이 0.47중량% 이상일 수 있다.

[0044] 또한, 상기 니오븀과 탄소의 원자개수 비율(Nb/C)이 4~20일 수 있다.

[0045] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강에는 인(P): 0.005중량% 이하, 황(S) : 0.005중량% 이하가 포함되어 있을 수 있다.

[0046] 또한, 상기 탄소 중에서 니오븀과 결합되지 않는 자유 탄소(Free C)의 비율이 80% 이상일 수 있다.

[0047] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 평균 결정립 지름이 10~16㎛이고, 인장강도와 연신율의 곱이 60,000 MPa·% 이상일 수 있다.

[0048] 또한, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 58% 이상의 연신율 및 0.36V 이상의 공식전위를 나타낼 수 있다.

[0049] 본 발명의 경우, 탄소와 질소를 모두 포함하는 고침입형원소 함유 스테인리스강에서 Nb를 활용, 보다 구체적으로는 도 1에 도시된 예와 같은 NbC 정출상을 활용하여 결정립을 미세화할 수 있으면서도 강도 및 연성이 향상된 스테인리스강을 제공할 수 있다. 이 때, 특정 Nb 범위, 즉 0.1~0.3중량%의 Nb 함량에서 공식저항성 및 연신율이 최대가 되는 구간이 발견되었으며, 이는 기존 관련 연구결과에서 보고되지 않은 현상이다.

[0050] 본 발명에 따른 오스테이나트계 스테인리스강은 예를 들어, 1200~1250℃에서 약 1시간 이상의 균질화 열처리, 1000℃ 이상의 마무리 압연온도 조건으로 열간압연 및 1차 냉각, 균질화 열처리 온도(1050℃ 이상)에서 0.5~1시간 정도의 고용화 열처리, 석출상 형성 방지를 위한 워터 퀀칭(water quenching)과 같은 2차 냉각으로 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 공지된 다양한 방법으로 제조될 수 있다.

[0051] **실시예**

[0052] 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.

[0053] 여기에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략하기로 한다.

[0054] 표 1은 실시예 및 비교예에 따른 강 시편의 합금 조성을 나타낸 것이다.

[0055] 표 1에서 자유 탄소(Free C)는 NbC를 형성하지 않는 C의 함량(wt%)을 의미한다.

[0056] [표 1] (단위 : 중량%)

[0057]

	Cr	Mn	C	N	Nb	P	S	Si	원자개수비율 (Nb/C, %)	Free C, wt%
실시예1	18.14	10.15	0.19	0.28	0.10	0.005	0.005	0.25	6.8	0.175
실시예2	17.98	10.21	0.19	0.29	0.20	0.005	0.005	0.25	13.6	0.161
실시예3	17.91	10.16	0.20	0.30	0.29	0.005	0.005	0.25	18.7	0.156
실시예4	18.29	10.38	0.30	0.29	0.10	0.005	0.005	0.25	4.3	0.258
실시예5	18.21	10.49	0.30	0.29	0.20	0.005	0.005	0.25	8.6	0.258
실시예6	18.19	10.41	0.30	0.29	0.29	0.005	0.005	0.25	12.5	0.258
비교예1	18.06	9.51	0.24	0.35	0.001	0.005	0.005	0.25	0.1	0.189
비교예2	18.01	10.17	0.20	0.32	0.39	0.005	0.005	0.25	25.2	0.153
비교예3	17.77	10.33	0.19	0.33	0.50	0.005	0.005	0.25	34.0	0.142
비교예4	18.43	9.80	0.03	0.51	0.41	0.005	0.005	0.25	176.3	-0.045
비교예5	18.18	10.46	0.30	0.30	0.39	0.005	0.005	0.25	16.8	0.256
비교예6	18.01	10.61	0.30	0.31	0.49	0.005	0.005	0.25	21.1	0.255

[0058] 표 1의 조성을 갖는 각 시편의 주조재를 1200℃에서 1시간 균질화 열처리하고, 이를 1000℃ 마무리 압연 온도 조건으로 40 % 이상의 압하율로 열간압연한 후 이를 상온까지 냉각하였다. 이후, 각 시편의 균질화 열처리 온도 구간인 1100℃ 이상의 온도에서 1시간 열처리하고, 이를 상온까지 워터 퀀칭하여 각 시편을 제조하였다.

[0059] 도 1은 초정 NbC의 사진 및 EDS 맵핑 결과를 나타낸 것이다.

[0060] 도 2는 니오븀 함량 증가에 따른 초정 NbC 부피분율 변화를 나타낸 것이다. 초정 NBC 부피분율은 EDS 맵핑 결과

를 토대로 얻었다.

[0061] 도 2를 참조하면, Nb 첨가량이 0.3중량% 이하일 때 초정 NbC 부피분율이 3vol% 이하인 것을 볼 수 있으며, Nb 첨가량이 0.3중량%를 초과할 경우 부피 분율이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 조대한 초정 NbC 부피분율의 급격한 증가는 공식저항성 및 연신율의 저하를 가져오므로, Nb의 첨가량은 본 합금계에서 0.3 중량%로 한정하였다.

[0062] 표 2는 실시예 및 비교예에 따른 각 시편의 물성 평가 결과를 나타낸 것이다. 또한, 도 3은 각각 실시예 및 비교예의 Nb 함량에 따른 결정립크기, 항복강도, 인장강도, 연신율, 연신율 × 인장강도의 곱, 그리고 공식저항성의 변화를 나타낸 것이다.

[0063] [표 2]

	평균결정립지름, mm	항복강도, MPa	인장강도, MPa	연신율, %	인장강도 x 연신율, MPa %	공식전위, V_{sce}
실시예1	14.1±3.02	481	1042	59	61478	0.411
실시예2	11.5±2.81	521	1061	62	65782	0.419
실시예3	10.3±3.11	522	1053	62	65286	0.400
실시예4	15.4±4.74	519	1025	60	61500	0.407
실시예5	12.6±4.91	518	1010	60	60600	0.423
실시예6	12.1±2.98	507	1019	65	66235	0.39
비교예1	25.9±7.74	481	924	71	65604	0.306
비교예2	10.6±2.77	503	1039	57	59223	0.357
비교예3	10.4±1.17	504	1066	56	59696	0.349
비교예4	9.9±3.36	555	1029	62	63798	0.291
비교예5	10.9±4.11	514	1021	61	62281	0.361
비교예6	10.7±5.91	518	1009	62	62558	0.341

[0064]

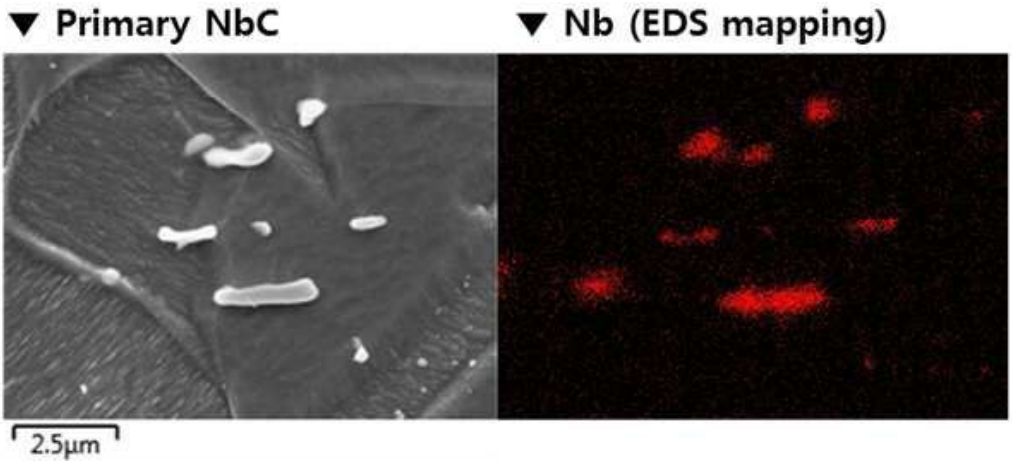
[0065] 표 2 및 도 3을 참조하면, Nb 함량이 증가함에 따라 결정립 크기가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 안정한 초정 NbC의 미세분산에 의한 결과로 볼 수 있다. 그러나 Nb를 0.3 중량% 넘게 첨가하더라도 더 이상 효과가 증대하지 않는데, 이는 과량 첨가된 Nb가 결정립을 미세화할 수 있는 미세 NbC의 형성 보다는 조대한 초정 NbC의 형성에 사용되기 때문인 것으로 볼 수 있다.

[0066] 또한, 실시예 3을 제외한 실시예 1~2, 실시예 4~6의 경우 Nb와 결합되지 않은 C, 즉 자유 탄소 비율이 80% 이상인 것을 볼 수 있다. 이러한 높은 자유 탄소 비율 역시 강도 및 내공식성 강화에 일부 기여하는 것으로 보인다.

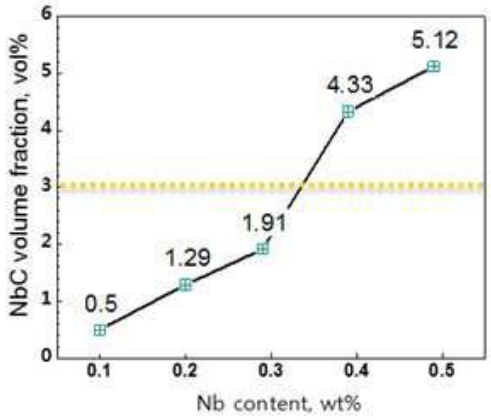
[0067] 이상에서는 본 발명의 실시예들을 중심으로 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 기술자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 이러한 변경과 변형은 본 발명이 제공하는 기술 사상의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명에 속한다고 할 수 있다. 따라서 본 발명의 권리범위는 이하에 기재되는 청구범위에 의해 판단되어야 할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3

