(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0059707
(43) 공개일자 2019년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/38 (2006.01) *C22C 38/26* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/38 (2013.01)
C22C 38/26 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0157581
(22) 출원일자 2017년11월23일
심사청구일자 2017년11월23일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
하헌영
경상남도 창원시 성산구 상남동 중앙대로 104 52 2호
이태호
경상남도 창원시 마산회원구 호원로 359 코오롱 하늘채 213동 101호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 13 항

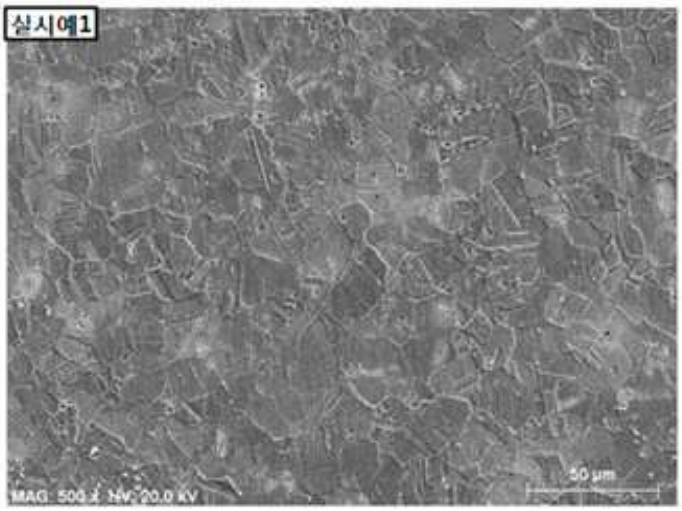
(54) 발명의 명칭 **기계적 특성 및 내식성이 우수한 탄질소 오스테나이트계 스테인리스강**

(57) 요 약

기계적 특성 및 내식성이 우수한 탄질소 오스테나이트 스테인리스강에 대하여 개시한다.

본 발명의 일 실시예에 따른 오스테나이트 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.25~0.35%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 오스테나이트 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.05~0.16%, 니오븀(Nb): 0.08~0.19%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C21D 2211/001 (2013.01)
(72) 발명자
장재훈
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9, 105동 1802호(가음동, 창원가음한화꿈에그린)
문준오
경상남도 창원시 성산구 원이대로 449, 133동 102호(반림동, 노블파크아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK5120
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 에너지플랜트용 고온 내환경 금속소재 개발(3/3)
기 여 율 30/100
주관기관 국가과학기술연구회
연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK5220
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 해양·발전 플랜트용 철강소재 실용화 기반 기술 개발(3/3)
기 여 율 70/100
주관기관 국가과학기술연구회
연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.25~0.35%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 2

중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.05~0.16%, 니오븀(Nb): 0.08~0.19%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

탄소(C) 및 질소(N)가, 하기 식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 1]

$0.4 \leq [N]+[C] \leq 0.6$

(식 1에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%)

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

탄소(C) 및 질소(N)가, 하기 식 2를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 2]

$1.3 \leq [N]/[C] \leq 1.7$

(식 2에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%)

청구항 5

제1항에 있어서,

탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이, 하기 식 3을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 3]

$1.8 \leq (4.52 \times [C]+3.87 \times [N])-(0.30 \times [Ta]) \leq 2.0$

(식 3에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%)

청구항 6

제2항에 있어서,

탄소(C), 질소(N), 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이, 하기 식 4를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 4]

$1.8 \leq (4.52 \times [C] + 3.87 \times [N]) - (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 2.0$

(식 4에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

청구항 7

제1항에 있어서,

탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이, 하기 식 5를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 5]

$1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.27 \times 0.30 \times [Ta]) / (4.52 \times [C] - 0.73 \times 0.30 \times [Ta]) \leq 1.4$

(식 5에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%)

청구항 8

제2항에 있어서,

탄소(C), 질소(N), 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이, 하기 식 6을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 6]

$1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.44 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) / (4.52 \times [C] - 0.56 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 1.4$

(식 6에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

청구항 9

제2항에 있어서,

상기 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이 하기 식 7을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 7]

$0.07 \leq 0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb] \leq 0.15$

(식 7에서, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

청구항 10

제1항에 있어서,

탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이, 하기 식 8을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 8]

$15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta]) \leq 30$

(식 8에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%)

청구항 11

제2항에 있어서,

탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이, 하기 식 9를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

[식 9]

$15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 30$

(식 9에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강은 결정립 사이즈이 10.5㎛ 이하인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 오스테나이트계 스테인리스강은 인장강도 1000MPa 이상, 항복강도 500MPa 이상, 연신율 54% 이상 및 공식전위 $0.3V_{SCE}$ 이상을 나타내는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것으로, 보다 상세하게는 기계적 특성 및 내식성이 우수한 탄질소 복합 첨가 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 스테인리스강은 미세조직에 따라서 크게 오스테나이트계 스테인리스강, 페라이트계 스테인리스강, 오스테나이트-페라이트 2상 스테인리스강으로 분류된다.

[0004] 이 중, 상용 오스테나이트계 스테인리스강은 주로 Fe-Cr-Ni 원소로 구성되며 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.

[0005] 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, 공식저항성을 저하시키는 요인이 된다.

[0006] 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)

[0007] 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 높

은 Si, Cr, Ni 함량을 나타내고 있다. 특히 높은 니켈 함량은 오스테나이트계 스테인리스 스틸의 가격을 크게 상승시키는 요인이 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 특허문헌 1 : 한국 공개특허공보 제10-2016-0082376호(2016.07.08. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 침입형 원소인 탄소와 질소를 모두 다량 포함하는 오스테나이트 스테인리스강에서 우수한 기계적 특성 및 내식성을 나타낼 수 있는 탄질소 오스테나이트계 스테인리스강을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 해결하기 위한 본 발명의 제1 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.25~0.35%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 목적을 해결하기 위한 본 발명의 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.05~0.16%, 니오븀(Nb): 0.08~0.19%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0015] 한편, 제1 실시예 및 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C) 및 질소(N)가 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0016] [식 1]

[0017] $0.4 \leq [N]+[C] \leq 0.6$

[0018] (식 1에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%이다. 이하, 식 2 내지 식 9에서 [N], [C], [Ta] 및 [Nb]는 각각 N, C, Ta 및 Nb의 중량%를 의미한다)

[0019] 또한, 제1 실시예 및 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C) 및 질소(N)가 하기 식 2를 만족할 수 있다.

[0020] [식 2]

[0021] $1.3 \leq [N]/[C] \leq 1.7$

[0022] 또한, 제1 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이 하기 식 3을 만족할 수 있다.

[0023] [식 3]

[0024] $1.8 \leq (4.52 \times [C]+3.87 \times [N])-(0.30 \times [Ta]) \leq 2.0$

[0025] 또한, 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N), 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이 하기 식 4를 만족할 수 있다.

[0026] [식 4]

[0027] $1.8 \leq (4.52 \times [C]+3.87 \times [N])-(0.30 \times [Ta]+0.59 \times [Nb]) \leq 2.0$

[0028] 또한, 제1 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이, 하기 식 5를 만족할 수 있다.

[0029] [식 5]

[0030] $1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.27 \times 0.30 \times [Ta]) / (4.52 \times [C] - 0.73 \times 0.30 \times [Ta]) \leq 1.4$

[0031] 또한, 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N), 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이, 하기 식 6을 만족할 수 있다.

[0032] [식 6]

[0033] $1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.44 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) / (4.52 \times [C] - 0.56 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 1.4$

[0034] 또한, 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 상기 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이 하기 식 7을 만족할 수 있다.

[0035] [식 7]

[0036] $0.07 \leq 0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb] \leq 0.15$

[0037] 또한, 제1 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N) 및 탄탈륨(Ta)이, 하기 식 8을 만족할 수 있다.

[0038] [식 8]

[0039] $15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta]) \leq 30$

[0040] 또한, 제2 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 바람직하게는 탄소(C), 질소(N), 탄탈륨(Ta) 및 니오븀(Nb)이, 하기 식 9를 만족할 수 있다.

[0041] [식 9]

[0042] $15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 30$

[0044] 한편, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 결정립 사이즈가 10.5㎛ 이하일 수 있다.

[0045] 또한, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 인장강도 1000MPa 이상, 항복강도 500MPa 이상, 연신율 54% 이상 및 공식전위 $0.3V_{SCE}$ 이상을 나타낼 수 있다.

발명의 효과

[0047] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 탄소와 질소를 모두 포함하는 침입형원소 고함유 스테인리스강으로서, Ta 단독 첨가 또는 Ta와 Nb의 복합 첨가를 통하여 미세한 탄질화물을 형성하여 결정립을 미세화할 수 있으며, 이를 통해 우수한 기계적 특성과 더불어 우수한 내식성을 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 실시예 1에 따른 시편의 미세조직 사진을 나타낸 것이다.

도 2는 비교예 2에 따른 시편의 미세조직 사진을 나타낸 것이다.

도 3은 식 3 및 식 4에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다.

도 4는 식 5 및 식 6에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다.

도 5는 식 7에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다.

도 6은 식 8 및 식 9에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0051] 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.

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] 이에 본 발명에서는, 탄소 및 질소 복합첨가 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 강의 결정립 미세화를 위하여 강력한 탄질화물 형성원소인 Ta를 단독으로 또는 Nb와 함께 활용하였다.

[0056] 본 발명의 일 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.25~0.35%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어진다.

[0057] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 중량%로, 크롬(Cr): 17.5~18.5%, 망간(Mn): 9.5~10.5%, 탄소(C): 0.18~0.22%, 질소(N): 0.26~0.32%, 탄탈륨(Ta): 0.05~0.16%, 니오븀(Nb): 0.08~0.19%를 포함하고, 나머지 Fe와 불가피한 불순물로 이루어진다.

[0058] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강의 경우, 니켈(Ni)을 실질적으로 포함하지 않을 수 있다. 이와 같이, 고가의 니켈을 포함하지 않음에 따라, 강 제조 비용이 크게 절감될 수 있다.

[0059] 이하, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 포함되는 각 성분의 역할 및 함량에 대하여 설명하기로 한다.

[0061] Cr(크롬)

[0062] 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 17.5중량% 이상 함유가 효과적이나, 18.5중량%를 초과하여 과도하게 함유할 경우 δ-ferrite의 형성으로 오스테나이트 상안정도 저하 및 열간가공성의 저하를 야기할 수 있다.

[0064] Mn(망간)

[0065] Mn은 강도 증대 및 오스테나이트 안정화에 기여하는 경제적인 원소이다. 본 발명에서 망간은 9.5~10.5중량%로 포함된다. Mn이 9중량% 미만일 경우, 오스테나이트 상 형성능 부족으로 인해 오스테나이트 단상을 얻기 어려우며, 또한 N 고용도 저하를 초래할 수 있으므로 본 강종에서는 9.5중량% 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 10.5중량%로 제한한다.

[0067] C(탄소)

[0068] C는 오스테나이트계 스테인리스강의 강도 향상에 유효하며 경제적이면서도 강력한 오스테나이트 상안정화 원소로, 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 0.22중량%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 0.22중량%으로 제한한다.

[0070] N(질소)

[0071] N는 0.26중량% 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 0.32중량%를 초과하는 경우, Cr 질화물 형성으로 내식성, 기계적 특성, 용접성 등이 저하될 수 있다. 또한, Cr 질화물 형성을 억제하기 위해서는 고온에서 고용화 열처리를 수행할 필요가 있는데 이는 비경제적이고 특히 결정립 조대화를 가져올 수 있다.

[0072]

[0073] Ta(탄탈륨) 및 Nb(니오븀)

[0074] 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.

[0075] Ta는 Nb보다 강력한 탄화물 형성원소이며, TaC는 NbC에 비하여 열역학적으로 안정하다. 아울러, Ta의 경우, 조대한 초정 탄화물의 형성이 Nb에 비하여 적으므로, 조대한 초정 탄화물로 인한 기계적 특성 및 공식저항성의 열화가 적으며, 나아가 Nb보다 결정립 미세화 정도가 더 크므로 물성개선 효과가 더 크다. 또한, Ta의 경우, Nb보다 N과의 결합력이 낮다. 이에 따라, Ta 첨가의 경우, Nb의 첨가의 경우보다 고용상 N의 소모를 효과적으로 방지할 수 있어, 공식저항성 향상에 보다 효과적이다.

[0076] Ta, Nb의 경우, 모재 내 C 및 N을 안정화하므로, 고온에서 Cr-C, Cr-N 형성을 지연시킴으로써 열간가공성을 개선하고 또한 내공식성을 향상시키는 역할을 한다. 아울러, Ta, Nb의 경우, 전술한 바와 같이 결정립 미세화에 효과적인데, 이들 성분없이 결정립 미세화 효과를 얻기 위해서는 냉간가공, 재결정 열처리 등 추가의 공정이 요구된다.

[0077] 그리고, Ta, Nb 첨가시에는 결정립 미세화와 더불어 석출상에 의한 추가 강도 향상 효과를 얻을 수 있다.

[0078] 이러한 효과를 충분히 얻기 위해, 본 발명에서는 Ta를 단독으로 첨가시 Ta 함량을 0.25중량% 이상으로 하였고, Ta와 Nb 복합 첨가시 Ta 함량을 0.05중량% 이상, Nb 함량을 0.08중량% 이상으로 하였다. 다만, Ta 및 Nb가 과도하게 첨가될 경우에는 더 이상의 기계적 특성 또는 내공식성 등의 효과 향상이 없다. 오히려, 초정 Ta(C,N)가 조대화되거나 초정 Nb(C,N)이 조대화되어 기계적 물성 및 내공식성을 저하할 가능성이 있으므로, 반복가능성 측면에서, Ta 단독 첨가시 Ta 함량의 상한을 0.35중량%로 제한하였고, Ta와 Nb 복합 첨가시 Ta 함량의 상한을 0.16중량%, Nb 함량의 상한을 0.19중량%로 제한하였다.

[0080] 기타

[0081] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에는 불가피한 불순물로서, Si: 0.4중량% 이하, P: 0.005중량% 이하, S: 0.008중량% 이하, O: 0.007중량% 이하가 포함될 수 있다.

[0083] 한편, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 탄소(C) 및 질소(N)가 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0084] [식 1]

[0085] $0.4 \leq [N]+[C] \leq 0.6$

[0086] (식 1에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%)

[0087] N과 C의 합산 함량이 0.4중량% 미만일 경우, Ni가 첨가되지 않는 강종에서 오스테나이트 형성 효과가 불충분할 수 있고, 충분한 강도 및 내공식성의 확보가 어려워질 수도 있다. 반대로, N과 C의 합산 함량이 0.6중량%를 초과하는 경우, 열처리 중 Cr(C,N)을 다량 형성할 수 있고 Ta(N,C) 또는 Nb(N,C)의 조대화가 일어나므로, 내공식성을 저하할 수 있다.

[0089] 또한, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 탄소(C) 및 질소(N)는 각각 C: 0.18~0.22중량%, N: 0.26~0.32중량%로 포함되므로, N의 함량이 C의 함량보다 더 높다. 이는 고용상의 N의 함량을 C에 비하여 높은 수준으로 유지함으로서 공식저항성을 확보하기 위함이다. 바람직하게는, 탄소(C) 및 질소(N)가 하기 식 2를 만족할 수 있다.

[0090] [식 2]

[0091] $1.3 \leq [N]/[C] \leq 1.7$

[0092] (식 2에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%)

[0093] 고용상 C에 비하여 고용상 N이 많이 남아 있을 경우 내공식성에 보다 효과적이며, 그 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 N 함량은 C 함량의 1.3배 이상인 것이 바람직하다. 다만, N 함량이 C 함량의 1.7배를 초과할 경우, 과도한 N 첨가로 인하여 열처리 중 다량의 크롬 질화물을 형성하는 문제점이 발생할 수 있다.

[0095] 또한, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, MX 형성에 기여하지 않고 모재에 남아 있는 고용상 C와 N의 함량이 매우 중요하며, $1.8 \leq [N_{sol}]+[C_{sol}] \leq 2.0$ (여기서, $[N_{sol}]$은 고용상 N의 함량(원자%)+$[C_{sol}]$는 고용상 C의 함량(원자%))인 것이 바람직하다. 고용상 N과 고용상 C의 합산 함량이 1.8원자% 미만일 경우, 모재에 남아 있는 고용상 N과 C가 부족하게 될 수 있어, 강도 및 내공식성 향상 효과가 불충분할 수 있다. 반대로, 고용상 N과 고용상 C의 합산 함량이 2.0원자%를 초과하는 경우, 이는 상대적으로 미세한 Ta(C,N) 또는 Nb(C,N) 형성이 불충분한 것을 의미하므로 결정립 미세화 효과 및 기계적 물성 향상이 저하될 수 있으며, 또한 $Cr_{23}C_6$ 및 Cr_2N 등의 석출 가능성을 높이므로 물성의 추가적인 저하를 가져올 가능성이 있다.

[0096] 이는 Ta 단독 첨가의 경우, 다음 식 3으로 표현될 수 있다. 또한, Ta 및 Nb 복합 첨가의 경우, 다음 식 4로 표현될 수 있다.

[0097] [식 3]

[0098] $1.8 \leq (4.52 \times [C]+3.87 \times [N])-(0.30 \times [Ta]) \leq 2.0$

[0099] [식 4]

[0100] $1.8 \leq (4.52 \times [C]+3.87 \times [N])-(0.30 \times [Ta]+0.59 \times [Nb]) \leq 2.0$

[0101] (식 3 및 식 4에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

[0102] 여기서, C, N, Ta 및 Nb 함량에 각각 곱해지는 상수 4.52, 3.87, 0.30 및 0.59는 각각의 원소의 중량%를 원자%로 환산하기 위한 수치이다.

[0104] 또한, 제1 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 고용상 C에 비하여 고용상 N이 많이 남아 있을 경우 내공식성에 보다 효과적이며, 그 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 $1.2 \leq [N_{sol}]/[C_{sol}] \leq 1.4$인 것이 바람직하다. 고용상 C에 비해 고용상 N의 함량(원자%)이 1.2배 이상일 때 그 효과가 충분하며, 다만 고용상 C에 비해 고용상 N의 함량이 1.4배를 초과할 경우 잔류 고용상의 N에 의해 Cr_2N 형성 또한 촉진될 수 있으므로 물성 저하를 가져올 수 있다.

[0105] 이는 Ta 단독 첨가의 경우, 다음 식 5로 표현될 수 있다. 또한, Ta 및 Nb 복합 첨가의 경우, 다음 식 6으로 표현될 수 있다.

[0106] [식 5]

[0107] $1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.27 \times 0.30 \times [Ta]) / (4.52 \times [C] - 0.73 \times 0.30 \times [Ta]) \leq 1.4$

[0108] [식 6]

[0109] $1.2 \leq (3.87 \times [N] - 0.44 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) / (4.52 \times [C] - 0.56 \times (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 1.4$

[0110] (식 5 및 식 6에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

[0111] 식 5 및 식 6에서 C, N, Ta 및 Nb 함량에 각각 곱해지는 상수 4.52, 3.87, 0.30 및 0.59는 각각의 원소의 중량%를 원자%로 환산하기 위한 수치이다.

[0112] 식 5에서 N과 관련하여 Ta 함량에 추가로 곱해지는 0.27 및 C와 관련하여 Ta 함량에 추가로 곱해지는 0.73은 각각 Ta가 N과 결합되는 양과 C과 결합되는 양의 비율을 나타낸 것이다. 또한, 식 6에서 N과 관련한 0.44 및 C와 관련한 0.56은 각각 Ta 및 Nb가 N과 결합되는 양과 Ta 및 Nb가 C와 결합되는 양의 비율을 나타낸 것이다.

[0114] 한편, Ta 및 Nb 복합 첨가강에서, Ta 및 Nb는 하기 식 7을 만족할 수 있다.

[0115] [식 7]

[0116] $0.07 \leq 0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb] \leq 0.15$

[0117] (식 7에서 [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

[0118] 상기 식 7은 C 및 N 안정화 능력을 나타내는 지표로 사용될 수 있으며, $0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]$ = Ta 원자% + Nb원자%이다. $0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]$가 0.07 이상일 때 C 및 N 안정화 효과가 우수하다. 다만, $0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]$가 0.15를 초과하면 Ta 및 Nb 첨가량 대비 C 및 N 안정화로 인한 유리한 효과보다는 Ta(N,C) 및 Nb(N,C)의 조대화 및 고용상의 N+C 함량을 낮추게 되므로 물성향상에 불리하다.

[0119] 아울러, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에 있어서, 탄화물 형성원소(Ta, Nb)에 대한 침입형 원소(C, N)의 원자개수 비는 15~30인 것이 바람직하다.

[0120] 이는, Ta 단독 첨가의 경우 하기 식 8로 나타낼 수 있고, Ta 및 Nb 복합 첨가의 경우 하기 식 9로 나타낼 수 있다.

[0121] [식 8]

[0122] $15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta]) \leq 30$

[0123] [식 9]

[0124] $15 \leq (4.52 \times [C] + 0.87 \times [N]) / (0.30 \times [Ta] + 0.59 \times [Nb]) \leq 30$

[0125] (식 8 및 식 9에서, [N]은 N의 중량%이고, [C]는 C의 중량%, [Ta]는 Ta의 중량%, [Nb]는 Nb의 중량%)

[0126] 침입형 원소(C, N)의 원자개수가 탄화물 형성원소(Ta, Nb)의 원자개수보다 15배 이상일 때 고용상 탄소(C_{sol}) 및 고용상 질소(N_{sol})를 충분히 확보할 수 있어 기계적 특성 및 내공식성이 보다 양호해질 수 있다. 반면, 침입형 원소(C, N)의 원자개수가 탄화물 형성원소(Ta, Nb)의 원자개수보다 30배 이상 지나치게 많으면, Cr과 침입형 원소간의 결합으로 인하여 내공식성이 저하될 수 있다.

[0127] 한편, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 결정립 사이즈가 10.5㎛ 이하일 수 있다.

[0128] 아울러, 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강은 기계적 물성 측면에서, 인장강도(TS) 1000MPa 이상, 항복강도(YS) 500MPa 이상, 연신율(EL) 54% 이상 및 공식전위(1M NaCl 용액) $0.3V_{SCE}$ 이상을 나타낼 수 있다.

[0130] 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.

[0132] **실시예**

[0133] 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.

[0134] 여기에 기재되지 않은 내용은 이 기술 분야에서 숙련된 자이면 충분히 기술적으로 유추할 수 있는 것이므로 그 설명을 생략하기로 한다.

[0136] 표 1은 실시예 및 비교예에 따른 강 시편의 합금 조성을 나타낸 것이다.

[0137] [표 1] (단위 : 중량%)

	시편 번호	Cr	Mn	C	N	Ta	Nb
실시예 1	E1	18.04	9.94	0.195	0.301	0.265	-
실시예 2	E2	18.87	9.95	0.204	0.288	0.302	-
실시예 3	E3	18.10	9.75	0.197	0.289	0.327	-
실시예 4	E4	17.99	10.08	0.200	0.299	0.083	0.097
실시예 5	E5	17.98	10.05	0.193	0.302	0.082	0.188
실시예 6	E6	18.03	9.98	0.201	0.297	0.151	0.102
비교예 1	C1	18.01	10.07	0.197	0.342	-	-
비교예 2	C2	18.05	9.88	0.299	0.320	-	-
비교예 3	C3	18.14	10.15	0.190	0.280	-	0.100
비교예 4	C4	17.95	10.65	0.201	0.285	0.049	-
비교예 5	C5	18.12	10.11	0.198	0.295	0.157	-
비교예 6	C6	18.01	9.98	0.190	0.305	0.412	-
비교예 7	C7	16.60	10.03	0.200	0.289	0.227	-

[0138]

[0139] 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.

[0141] 표 2는 각 시편들에 대한 식 1 ~ 식 9의 값을 나타낸 것이다.

[0142] [표 2]

	시편 번호	식 1	식 2	식 3, 4	식 5, 6	식 7	식 8, 9
실시예 1	E1	0.496	1.544	1.967	1.389	0.080	25.739
실시예 2	E2	0.492	1.412	1.946	1.274	0.091	22.479
실시예 3	E3	0.486	1.467	1.911	1.334	0.098	20.478
실시예 4	E4	0.499	1.495	1.979	1.299	0.082	25.096
실시예 5	E5	0.495	1.565	1.906	1.360	0.136	15.061
실시예 6	E6	0.498	1.478	1.952	1.299	0.105	19.510
비교예 1	C1	0.539	1.736	2.214	1.486	0.000	-
비교예 2	C2	0.619	1.070	2.590	0.916	0.000	-
비교예 3	C3	0.470	1.474	1.883	1.262	0.059	32.922
비교예 4	C4	0.486	1.418	1.997	1.224	0.015	136.835
비교예 5	C5	0.493	1.490	1.990	1.312	0.047	43.240
비교예 6	C6	0.495	1.605	1.916	1.492	0.124	17.887
비교예 7	C7	0.489	1.445	1.954	1.288	0.068	29.698

※ [식 1] : [N]+[C] (중량%)
※ [식 2] : [N]/[C] (중량% 기준)
※ [식 3], [식 4] : $[N_{ss}]+[C_{ss}]$ (원자%)
※ [식 5], [식 6] : $[N_{ss}]/[C_{ss}]$ (원자% 기준)
※ [식 7] : [Ta]+[Nb] (원자%)
※ [식 8], [식 9] : ([N]+[C])/([Ta]+[Nb]) (원자% 기준)

[0143]

[0144] 표 3은 실시예 시편들 및 비교예 시편들에 대한 결정립 사이즈 측정 결과, 기계적 물성(항복강도, 인장강도 및 연신율) 및 내공식석을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

[0145] [표 3]

	시편 번호	결정립 사이즈 (㎛)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	내공식성 (1 M NaCl)
실시예 1	E1	10.4	507.2	1035.1	60.8	0.315
실시예 2	E2	10.0	514.1	1063.7	56.7	0.344
실시예 3	E3	9.6	513.4	1055.2	54.3	0.365
실시예 4	E4	9.9	501.1	1037.5	67.8	0.363
실시예 5	E5	10.2	515.0	1023.1	65.1	0.407
실시예 6	E6	9.8	502.1	1017.7	64.1	0.401
비교예 1	C1	68.1	460.0	875.8	73.4	0.288
비교예 2	C2	72.5	488.2	948.3	67.0	0.295
비교예 3	C3	14.1	481.1	1041.6	59.1	0.369
비교예 4	C4	18.7	433.5	948.5	53.8	0.241
비교예 5	C5	12.4	479.0	997.0	58.7	0.265
비교예 6	C6	9.8	480.1	998.6	55.7	0.253
비교예 7	C7	10.2	475.9	975.2	62.0	0.249

[0146]

[0147] 표 3을 참조하면, 본 발명에서 제시된 조성을 만족하는 실시예 1~6에 따른 시편들의 경우, 결정립 사이즈가

10.5㎛ 이하로서, 미세한 결정립을 갖는 것을 볼 수 있다. 아울러, 실시예 1~6에 따른 시편들의 경우, 항복강도 500MPa 이상, 인장강도 1000MPa 이상, 연신율 54% 이상 및 공식전위 0.3V_{SCE} 이상을 나타내어, 기계적 특성 및 내공식성이 모두 우수한 것을 볼 수 있다.

[0148] 반면, Ta 및 Nb 모두 첨가되지 않은 비교예 1 및 비교예 2에 따른 시편의 경우, 결정립 사이즈가 약 70㎛로 매우 크며, 항복강도, 인장강도 및 내공식성 모두 실시예에 따른 시편들에 비하여 상대적으로 좋지 않은 결과를 나타내었다.

[0149] 또한, Ta 첨가없이 Nb만 소량 첨가된 비교예 3에 따른 시편의 경우, 결정립 사이즈가 약 14㎛ 정도였다. 이는 비교예 1,2에 비하면 매우 작은 값에 해당하지만, 실시예 시편들에 비하면 약 1.5배 정도 큰 값에 해당한다. 또한, 비교예 3에 따른 시편의 경우, 항복강도가 500MPa에 미치지 못한 결과를 나타내었다.

[0150] 또한, Ta가 단독으로 첨가되었지만, 0.25중량% 미만으로 과소 첨가된 비교예 4 및 비교예 5에 따른 시편의 경우, 실시예 시편들에 비하여 결정립 미세화, 기계적 특성 및 내공식성이 상대적으로 좋지 못한 결과를 나타내었다.

[0151] 또한, Ta가 과다 첨가된 비교예 6에 따른 시편의 경우, 결정립 미세화의 효과는 우수하였으나, 기계적 특성 및 내공식성이 좋지 못하였는데, 이는 조대한 초정 Ta(C,N)이 생성되었기 때문으로 보인다.

[0152] 또한, Cr 함량 및 Ta 함량이 본 발명에서 제시된 범위보다 낮은 비교예 7에 따른 시편의 경우, 항복강도, 인장강도 및 내공식성이 실시예 시편들에 비해 상대적으로 좋지 못하였다.

[0154] 도 1은 실시예 1에 따른 시편의 미세조직 사진을 나타낸 것이고, 도 2는 비교예 2에 따른 시편의 미세조직 사진을 나타낸 것이다.

[0155] 도 1 및 도 2를 비교하면, Ta가 첨가된 실시예 1에 따른 시편의 경우, 결정립이 매우 미세한 것을 볼 수 있으나, Ta 및 Nb가 첨가되지 않은 비교예 2에 따른 시편의 경우, 결정립이 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다.

[0156] 이는, Ta가 첨가됨으로써 결정립 미세화 효과를 얻을 수 있다는 것을 보여준다.

[0158] 도 3은 식 3 및 식 4에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다. 도 3을 참조하면, 실시예 시편들의 경우, 고용상 탄소 및 고용상 질소의 합산 함량(원자%)이 1.8~2.0원자% 범위에 있으며, 항복강도 500MPa 이상, 인장강도 1000MPa 이상 및 공식전위 0.30V_{SCE} 이상을 나타내었다.

[0159] 비교예 시편들의 경우, 고용상 탄소 및 고용상 질소의 합산 함량(원자%)이 대체로 1.8~2.0원자% 범위를 대체로 벗어났으며, 강도 혹은 내공식성이 상대적으로 좋지 못한 결과를 나타내었다.

[0160] 도 4는 식 5 및 식 6에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다. 도 4를 참조하면, 실시예 시편들의 경우, 고용상 탄소 함량(원자%) 대비 고용상 질소 함량(원자%)의 비가 1.2~1.4 범위에 있으며, 항복강도 500MPa 이상, 인장강도 1000MPa 이상 및 공식전위 0.30V_{SCE} 이상을 나타내었다. 비교예 시편들의 경우, 고용상 탄소 함량(원자%) 대비 고용상 질소 함량(원자%)의 비가 1.2~1.4 범위를 대체로 벗어났으며, 강도 혹은 내공식성이 상대적으로 좋지 못한 결과를 나타내었다.

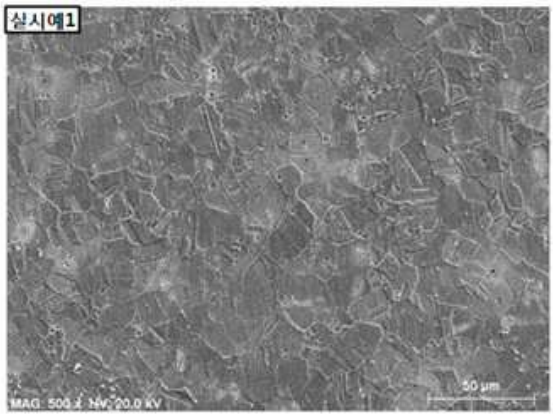
[0161] 도 5는 식 7에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다. 도 5를 참조하면, 실시예 시편들의 경우, Ta과 Nb의 합산 함량 (원자%)이 0.07~0.15 범위에 있으며, 항복강도 500MPa 이상, 인장강도 1000MPa 이상 및 공식전위 0.30V_{SCE} 이상을 나타내었다. 비교예 시편들의 경우, Ta과 Nb의 합산 함량 (원자%)이 0.07~0.15 범위를 대체로 벗어났으며, 강도 혹은 내공식성이 상대적으로 좋지 못한 결과를 나타내었다.

[0162] 도 6는 식 8 및 식 9에 따른 실시예 시편들과 비교예 시편들의 강도 및 내공식성을 나타낸 것이다. 도 6을 참조하면, 실시예 시편들의 경우, 탄화물 형성원소들인 Ta과 Nb의 합산 함량(원자%) 대비 침입형 원소들인 C와 N의 합산 함량(원자%)의 비가 15~30 범위에 있으며, 항복강도 500MPa 이상, 인장강도 1000MPa 이상 및 공식전위 0.30V_{SCE} 이상을 나타내었다. 비교예 시편들의 경우, Ta과 Nb의 합산 함량(원자%) 대비 C와 N의 합산 함량(원자%)의 비가 15~30 범위를 대체로 벗어났으며, 강도 혹은 내공식성이 상대적으로 좋지 못한 결과를 나타내었다.

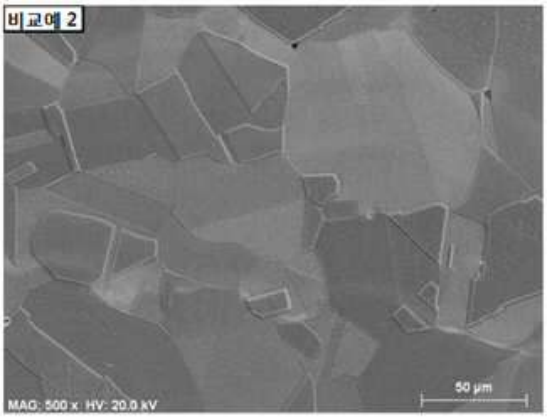
[0164] 이상에서는 본 발명의 실시예들을 중심으로 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 기술자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 이러한 변경과 변형은 본 발명이 제공하는 기술 사상의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명에 속한다고 할 수 있다. 따라서 본 발명의 권리범위는 이하에 기재되는 청구범위에 의해 판단되어야 할 것이다.

도면

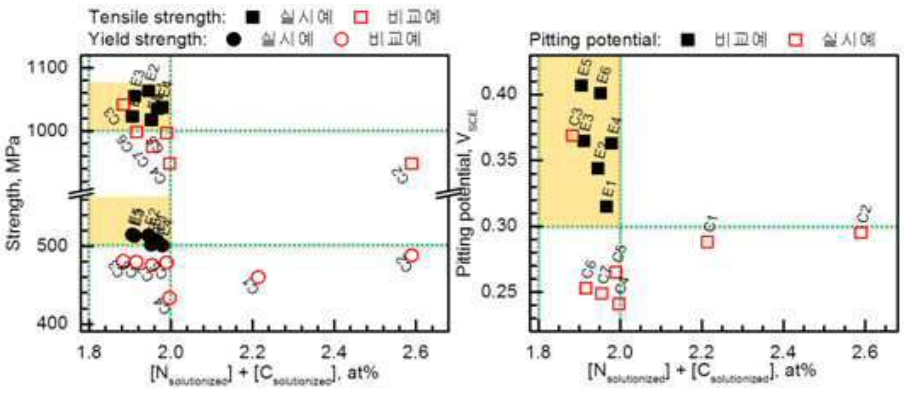
도면1



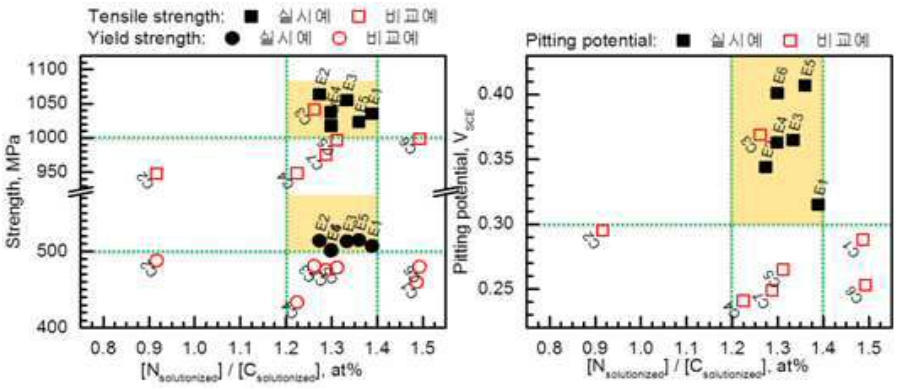
도면2



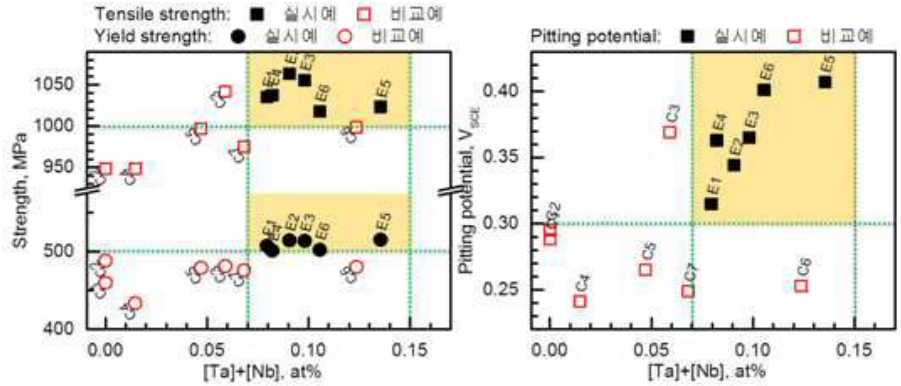
도면3



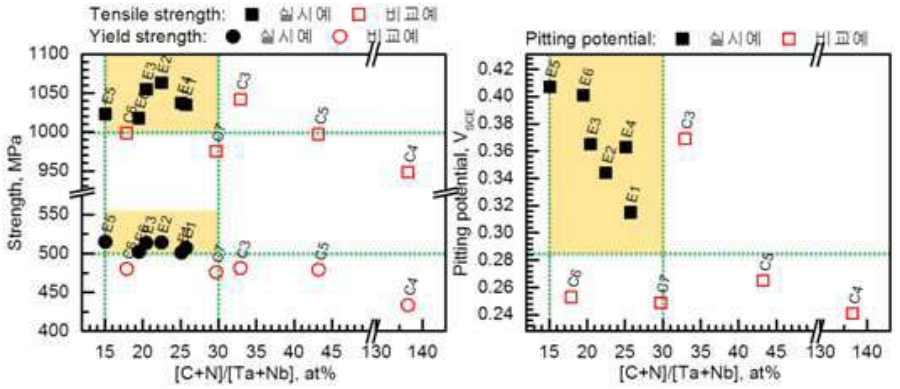
도면4


Tensile strength: 실시예 비교예
Yield strength: 실시예 비교예
Strength, MPa
[N_solutionized] / [C_solutionized], at%
Pitting potential: 실시예 비교예
Pitting potential, V_SCE
[N_solutionized] / [C_solutionized], at%

도면5


Tensile strength: 실시예 비교예
Yield strength: 실시예 비교예
Strength, MPa
[Ta]+[Nb], at%
Pitting potential: 실시예 비교예
Pitting potential, V_SCE
[Ta]+[Nb], at%

도면6


Tensile strength: 실시예 비교예
Yield strength: 실시예 비교예
Strength, MPa
[C+N]/[Ta+Nb], at%
Pitting potential: 실시예 비교예
Pitting potential, V_SCE
[C+N]/[Ta+Nb], at%