(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0139085
(43) 공개일자 2012년12월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/38* (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0058651
(22) 출원일자 2011년06월16일
심사청구일자 2011년06월16일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
하헌영
경상남도 창원시 성산구 중앙대로 104, 마이우스 522호 (상남동)
황병철
경상남도 창원시 성산구 대정로 99, 성원 2차 아파트 207동 302호 (남양동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이원희

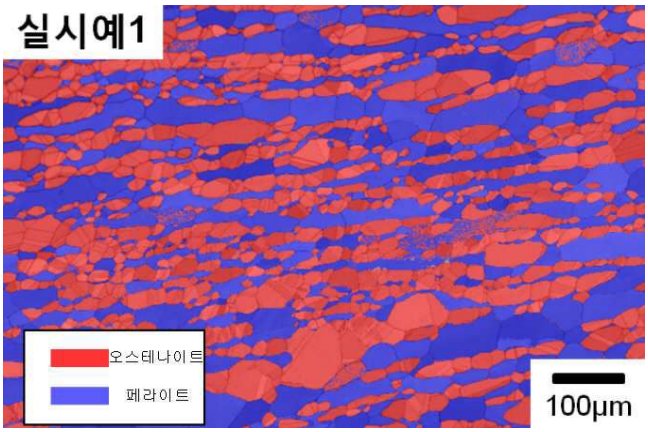
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강**

(57) 요 약

본 발명은 강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강에 관한 것으로, 상세하게는 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다. 본 발명에 따른 강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강은 재료의 가격 불안정 및 환경부담을 가중하는 니켈(Ni)을 망간(Mn)과 질소(N)로 대체함으로써 스테인리스강의 경제성, 가격 안정성, 및 환경친화성을 향상시킬 수 있다. 본 발명에 따른 스테인리스강은 상용의 이상 스테인리스강에 비하여 가격경쟁력이 우수하고, 강도, 연신율 및 내공식성을 종래의 이상 스테인리스강보다 더욱 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

이태호

경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 호원로 359, 코오롱 타운 아파트 213동 101호

김성준

경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79, 유니온 빌리지 아파트 113동 604호 (성주동)

특허청구의 범위

청구항 1

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강(duplex stainless steels).

청구항 2

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 1을 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강.

<수학식 1>

$7 \leq Cr + 1.5 \times Mo + 0.75 \times W - 0.5 \times Mn - 25 \times N \leq 10$

(상기 식에서, Cr, Mo, W, Mn, N은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

청구항 3

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 2를 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강.

<수학식 2>

$32 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 1.65 \times W + 16 \times N - Mn \leq 37$

(상기 식에서, Cr, Mo, W, N, Mn은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

청구항 4

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 3을 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강.

<수학식 3>

$3.0 \leq Mo + 0.5 \times W \leq 5.5$

(상기 식에서, Mo, W은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

청구항 5

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 1 내지 3을 모두 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이

루어지는 이상 스테인리스강.

<수학식 1>

$7 \leq Cr + 1.5 \times Mo + 0.75 \times W - 0.5 \times Mn - 25 \times N \leq 10$

<수학식 2>

$32 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 1.65 \times W + 16 \times N - Mn \leq 37$

<수학식 3>

$3.0 \leq Mo + 0.5 \times W \leq 5.5$

(상기 식에서, Cr, Mo, W, Mn, N은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 이상 스테인리스강은 페라이트상의 부피분율이 45 내지 55 %인 것을 특징으로 하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 이상 스테인리스강은 900 MPa 이상의 인장강도, 600 MPa 이상의 항복강도 및 35 %이상의 연신율 값을 나타내고, 인장강도 및 연신율의 곱(product)이 30,000 MPa% 이상인 것을 특징으로 하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 이상 스테인리스강(duplex stainless steels)은 화학조성 및 물리적 특징이 서로 다른 페라이트상 및 오스테나이트상이 약 50:50의 부피비로 미세하게 결합된 스테인리스강으로 상용 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 니켈(Ni) 함량이 낮아 가격경쟁력이 높다. 이에 따라 오스테나이트계 스테인리스강 및 니켈 계 합금의 대체재료로 연구?개발이 수행되고 있다. 이상 스테인리스강은 페라이트상의 우수한 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 저항성과 오스테나이트상의 높은 내식성 및 연성의 특징을 모두 나타내며, 여러 응용분야에서 요구되는 다양한 특성을 구현할 수 있어서 활용도가 높다. 따라서 고강도, 내부식성이 요구되는 탈염소?탈황설비, 담수화 플랜트, 액체 및 원료 저장용기, 원유수송 파이프 등 육상 및 해상 환경의 오일 및 가스 산업에 광범위하게 사용되고 있다.

[0003] 대표적인 상용 이상 스테인리스강으로는 22 중량%의 크롬(Cr), 5 중량%의 니켈(Ni), 2 중량% 이하의 망간(Mn), 및 0.03 중량% 이하의 탄소(C)를 포함하는 2205급 이상 스테인리스강(UNS 31803)과, 크롬(Cr)과 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo) 함량을 2205 이상 스테인리스강보다 더욱 높여 우수한 내식성 및 강도를 갖도록 설계된 2507급 수퍼 이상 스테인리스강(크롬(Cr) 25 중량%, 니켈(Ni) 7 중량%, 몰리브덴(Mo) 3 중량%, UNS S32750)이 있다.

[0004] 스테인리스강의 합금원소 중 니켈(Ni)은 오스테나이트상 안정화 원소로써, 이상 스테인리스강의 내식성과 연신율을 확보하기 위해 필수적으로 포함되는 원소이다. 그러나 니켈(Ni)은 고가의 원소로 재료의 가격불안정을 야기하고, 환경 및 인체에 유해한 문제가 있어 사용에 제약이 따른다. 즉, 재료의 경제성 및 친환경성과 같은 경쟁력을 확보하기 위해서는 니켈(Ni)을 대체할 수 있는 오스테나이트상 안정화원소를 적용하는 것이 바람직하다. 질소(N)와 망간(Mn)은 효과적인 오스테나이트상 안정화 원소로 니켈(Ni)을 대체하기 적합하고, 이에 따라 오스

테나이트 스테인리스강 종의 경우 질소(N)와 망간(Mn)을 활용하여 니켈(Ni) 사용을 배제한 고질소 스테인리스강(high nitrogen stainless steel)이 개발되어 현재 일부가 상용화된 상태이다.

[0005] 또한, 이상 스테인리스강에서도 니켈(Ni) 함량을 더욱 낮춘 저감형(lean) 이상 스테인리스강이 연구?개발되어 상용화된 일부 제품이 기존의 오스테나이트계 스테인리스강을 대체하여 사용되고 있다. 저감형(lean) 이상 스테인리스강종으로는 크롬(Cr) 23 중량% 및 니켈(Ni) 4 중량%를 포함하는 2304급 이상 스테인리스강(UNS S32304)과, 니켈(Ni) 함량을 1 중량%까지 낮추었음에도 불구하고 AISI 316L 스테인리스강과 동등한 내식수준과 AISI 316L 보다 뛰어난 강도 및 연신율을 구현한 LDX2101(크롬(Cr) 21 중량%, 니켈(Ni) 1 중량%, UNS S32101)이 개발된 바 있다. 또한 크롬(Cr) 23 중량% 및 니켈(Ni) 3.5 중량%을 포함하는 AL2003 합금(UNS S32003)은 AISI 316 또는 AISI 317 스테인리스강보다 뛰어난 응력부식균열 저항성을 나타내고, 상용 오스테나이트 스테인리스강의 약 2 배에 해당하는 항복강도를 나타내는 강종이다.

[0006] 그러나, 이상 스테인리스강은 질소 고용도가 0.04 중량% 이하로 낮은 페라이트상이 부피비로 약 50 %를 차지하기 때문에 스테인리스강의 질소(N) 함유량을 높이는 것이 용이하지 않은 문제가 있다. 또한, 오스테나이트상에 과고용된 질소(N)에 의해 오스테나이트상과 페라이트상의 화학조성 차이가 나타나고, 이는 스테인리스강의 기계적-화학적 물성을 저하시키는 문제가 있다. 이와 같은 문제들로 인하여, 질소(N)를 적극적으로 활용한 고질소 이상 스테인리스강의 개발 및 상용화가 지연되고 있으며, 이에 대한 해결책이 시급히 마련되어야 하는 실정이다.

[0007] 이에 본 발명자들은 경제성 및 친환경성을 구비한 고질소 이상 스테인리스강을 연구하던 중, 니켈(Ni)을 배제하고, 망간(Mn)과 질소(N)를 사용하여 오스테나이트상을 안정화시키며, 상용 저감형(lean) 이상 스테인리스강보다 크롬(Cr)의 함량을 더욱 낮추되 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)의 함량을 최적화함으로써, 기존 이상 스테인리스강보다 강도-연성의 조합이 월등한 이상 스테인리스강을 개발하고, 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명에 따른 강도와 연성의 조합이 우수한 무니켈-고질소 이상 스테인리스강은 재료의 가격 불안정 및 환경부담을 가중하는 니켈(Ni)을 망간(Mn)과 질소(N)로 대체함으로써 스테인리스강의 경제성, 가격 안정성, 및 환경친화성을 향상시킬 수 있다. 특히, 0.45 중량% 이상의 높은 함량으로 고용된 질소(N)와 6.0 중량% 이상의 함량으로 첨가되는 망간(Mn)은 니켈(Ni)을 대신하여 경제적으로 오스테나이트상을 안정화시킨다. 본 발명에 따른 스테인리스강은 상용의 이상 스테인리스강에 비하여 가격경쟁력이 우수하고, 강도 및 연신율을 종래의 이상 스테인리스강보다 더욱 향상시킬 수 있다.

[0011] 본 발명에 따른 스테인리스강은 튜브, 선재, 스트립, 봉재, 시트재, 또는 바 형태의 자재 또는 고강도와 고연신 특성이 요구되는 기타 자재로 제조될 수 있고,우수한 기계적 특성에 기초하여 저장용기, 수송기기의 프레임(frame) 부재, 제지산업, 해양, 화학공정, 정유, 발전 산업 등의 구조재, 강관재료, 생체 적용 분야 등의 고부가가치 재료로 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명에 따른 이상 스테인리스강의 미세조직 및 결정립별 결정방위를 관찰한 후방산란 전자회절(EBSD; electron backscattered diffraction) 사진이고,

도 2는 본 발명에 따른 이상 스테인리스강 및 상용 스테인리스강의 기계적특성(인장강도×연신율)을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명은 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다.

[0014] 또한, 본 발명은 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 1을 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다.

[0015] <수학식 1>

[0016] $7 \leq Cr + 1.5 \times Mo + 0.75 \times W - 0.5 \times Mn - 25 \times N \leq 10$

[0017] (상기 식에서, Cr, Mo, W, Mn, N은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

[0018] 나아가, 본 발명은 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 2를 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다.

[0019] <수학식 2>

[0020] $32 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 1.65 \times W + 16 \times N - Mn \leq 37$

[0021] (상기 식에서, Cr, Mo, W, N, Mn은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

[0022] 더욱 나아가, 본 발명은 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 하기 수학식 3을 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공하며,

[0023] 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.0 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.0 중량%의 텅스텐(W)과, 6.0~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.45~0.60 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하고, 수학식 1 내지 3을 모두 만족하는 페라이트-오스테나이트상으로 이루어지는 이상 스테인리스강을 제공한다.

[0024] <수학식 3>

[0025] $3.0 \leq Mo + 0.5 \times W \leq 5.5$

[0026] (상기 식에서, Mo, W은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

[0027] 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 재료의 가격불안정을 야기하고, 환경 및 인체에 유해한 니켈(Ni)을 대체하기 위하여 0.45 중량% 이상인 높은 함량으로 질소를 고용하고, 6.0 중량% 이상으로 망간(Mn)을 첨가하여 경제적으로 오스테나이트상을 안정화하였다. 또한, 크롬(Cr) 함량을 19.5 중량% 이하로 낮추어 재료의 단가를 보다 저감(lean)시킬 수 있고, 크롬(Cr) 함량이 높은 경우 석출되는 시그마(σ)상의 형성을 억제하며, 페라이트상을 안정화시킬 수 있다. 또한, 몰리브덴(Mo) 및 텅스텐(W)은 페라이트상을 안정화시킴과 동시에 우수한 내공식성을 부여할 수 있다. 특히, 텅스텐(W)은 몰리브덴(Mo)과 유사하게 페라이트 안정화 및 내공식성 향상 특성을 나타냄과 동시에, 기계적 특성 및 내식성에 유해한 시그마(σ)상의 석출 활성이 몰리브덴(Mo)에 비하여 낮으므로 몰리브덴(Mo)의 대체원소로 사용될 수 있다.

[0028] 합금 조성이 수학식 1을 만족하는 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 오스테나이트상과 페라이트상이 공존하는 복합조직으로 형성되고, 적절한 후속 열처리 공정을 통해 두 상의 부피비율을 용이하게 제어할 수 있다. 또한, 수학식 1을 만족하는 이상 스테인리스강은 오스테나이트상의 확보가 페라이트상에 비하여 상대적으로 용이하여 종래의 이상 스테인리스강의 단점인 낮은 연신율을 극복할 수 있다.

[0029] 합금 조성이 수학식 2를 만족하는 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 상용 300 계열 오스테나이트 스테인리스강과 비교하여 동등 또는 더욱 우수한 내공식성을 나타내며, 종래의 AISI 300 계열 스테인리스강이 적용되었던 부식환경에 적용할 수 있다.

[0030] 합금 조성이 수학식 3을 만족하는 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 고가 합금원소인 몰리브덴(Mo) 및 텅스텐(W)의 사용량을 효율적으로 제한함으로써, 경제성을 향상시킬 수 있다.

[0031] 본 발명에 따른 이상 스테인리스강에 있어서, 페라이트상의 부피분율은 45 ~ 55%로 구성되는 것이 바람직하다. 상기 페라이트상의 부피분율이 45% 미만인 경우에는 페라이트상의 존재로 인하여 나타나는 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 저항성이 저하되는 문제가 있고, 페라이트상의 부피분율이 55%를 초과하는 경우에는 오스테나이트상의 부피분율이 낮아져 연신율이 저하되는 문제가 있다.

[0032] 한편, 철강재료의 에코지수(또는 에코성능지수, Eco-index; ecological index of performance)란 미래형 철강소재에 요구되는 여러 환경친화적(eco-friendly) 특성 중 우수한 내구성(sustainability)을 정량화한 지수로서, 철강재료의 인장강도(MPa)와 연신율(%)을 곱한 값으로 정의되며, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 높은 연신율로 인하여 우수한 에코지수를 나타낸다.

[0033] 이하에는 본 발명에 따른 이상 스테인리스강 내의 주요 합금원소에 대하여 자세히 설명한다.

[0034] (1)크롬(Cr)

[0035] 크롬(Cr)은 페라이트 안정화 원소이며 스테인리스강에 내식성을 부여하는 필수적인 원소이다. 또한, 크롬(Cr)은 질소(N)의 고용도를 증가시키는 역할을 수행하며, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 강재의 내식성 확보 및 강재 내 질소(N)의 용해도 향상을 도모하기 위하여 크롬(Cr)을 16.5 중량% 이상으로 첨가하였다. 그러나, 크롬(Cr)이 과도하게 첨가되는 경우, 용탕의 응고 후에 델타 페라이트상을 과량으로 잔존시키고, 이상 스테인리스강의 시그마(σ)상 석출을 촉진시키는 문제가 있다. 또한, 델타 페라이트상 및 시그마상의 석출로 인한 조직의 불균일성은 강재의 공식저항성을 감소시키기 때문에 크롬(Cr)의 함량을 16.5~19.5 중량%로 제한하였다.

[0036] (2)몰리브덴(Mo)

[0037] 몰리브덴(Mo)은 페라이트상을 안정화하며, 환원성 산 용액과 염화물(Cl^-) 용액에 대한 모재의 일반부식저항성 및 국부부식저항성을 현저히 향상시킨다. 특히 합금에 질소(N)와 함께 첨가되는 경우, 공식저항성 향상을 더욱 강화하는 상승효과(synergy)를 나타낸다. 따라서, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 몰리브덴(Mo)을 2.5 중량% 이상으로 첨가하여 합금의 내공식성을 향상시켰다. 그러나, 몰리브덴이 과도하게 첨가되는 경우, 응고 후 잔존하는 델타 페라이트상의 분율을 증가시키고, 크롬(Cr)과 마찬가지로 유해한 시그마(σ)상 등을 형성하여 강재의 물성이 저하되는 문제가 있다. 또한 몰리브덴(Mo)은 매우 고가의 합금원소이므로 강재의 경제성 확보를 위해 그 함량이 3.0 중량%를 넘지 않도록 제한하였다.

[0038] (3) 텅스텐(W)

[0039] 텅스텐(W)은 스테인리스강의 합금원소로써 역할(페라이트상 안정화, 내식성 향상 등)이 몰리브덴(Mo)과 유사하고, 몰리브덴(Mo)보다 가격경쟁력이 우수하여 몰리브덴(Mo)의 대체 원소로 사용된다. 또한, 몰리브덴(Mo)에 비하여 시그마(σ)상을 형성시키는 활성도가 낮기 때문에 이차상 석출에 의한 기계적 특성 및 내식성 저하를 방지할 수 있다. 나아가, 몰리브덴(Mo)을 텅스텐(W)으로 대체하여 합금의 저온충격강도를 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)을 모두 이용하고, 몰리브덴(Mo)의 함량 중 일부를 텅스텐(W)으로 대체하여 사용할 수 있으며, 이때, 텅스텐의 함량을 1.0~5.0 중량%로 제한하였다.

[0040] (4)니켈(Ni)

[0041] 니켈(Ni)은 대표적인 오스테나이트상 안정화 원소이지만, 상기한 바와 같이 가격변동성이 크고 환경 및 인체에 유해한 원소이므로 가능한 첨가하지 않는 것이 바람직하다. 이에 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 니켈(Ni)을 망간 및 질소로 대체하여 니켈을 완전히 배제하였다.

[0042] (5)망간(Mn)

[0043] 망간(Mn)은 경제적인 오스테나이트상 안정화 원소로 고가의 오스테나이트상 안정화 원소인 니켈(Ni)을 대체하기 위한 목적으로 첨가된다. 또한, 망간은 강재 내 질소(N)의 고용도를 증가시키기 때문에 결과적으로 스테인리스강의 강도를 향상시킬 수 있다. 이에 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 강재의 경제성과 질소(N) 고용도 증가를 위하여 6.0 중량% 이상의 망간(Mn)을 포함한다. 그러나, 망간(Mn)이 과도하게 첨가되는 경우, 불순물 원소인 황(S) 또는 산소(O)와 결합하여 망간황화물(MnS) 또는 망간산화물(MnO)과 같은 비금속개재물(nonmetallic inclusion)을 형성할 수 있다. 상기, 비금속 개재물은 공식발생부위로 작용하여 스테인리스강의 공식저항성을 저하시키는 문제가 있어, 망간의 함량을 6.0 ~ 7.0 중량%로 제한하였다.

[0044] (6)질소(N)

[0045] 질소(N)는 강력한 오스테나이트상 안정화 원소로써 망간(Mn)과 함께 니켈(Ni)을 효과적으로 대체할 수 있다. 또한, 스테인리스강의 강도를 증가시킴과동시에 연성을 높은 수준으로 유지시킬 수 있고, 내공식성을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 질소(N)를 0.45 중량% 이상 고용시켜서 강재에 우수한 강도-연성 조합(Eco index) 및 내공식성을 부여한다. 그러나, 과도하게 첨가되는 경우 질소(N)가 질화물을 형성할 수 있고, 강재의 취화 및 주조재에 공극이 형성되는 문제가 있다. 이를 방지하기 위하여, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 질소(N)의 함량을 0.45 ~ 0.60 중량%로 제한하였다.

[0046] (7) 탄소(C) 및 실리콘(Si)

[0047] 탄소(C)는 질소(N)와 원자 크기가 비슷한 침입형 원소로 오스테나이트상의 안정화 기능을 하며, 철강재의 강도를 향상시키는 장점이 있다. 그러나 탄소(C)는 고온에서 스테인리스강의 주요 합금원소인 크롬(Cr)과 쉽게 결합하여 안정한 크롬-탄화물($Cr_{23}C_6$ 등)을 형성한다. 상기 크롬-탄화물은 인접부 기지의 크롬(Cr)을 소모하면서 결

정립계부터 석출되고, 석출된 크롬-탄화물 주위의 크롬-고갈영역(Cr-depletion zone)이 공식부식의 발생처로 작용하는 문제가 있다. 따라서, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 탄소(C)의 함량이 0.03 중량%를 넘지 않도록 제한하였다.

[0048] 한편, 실리콘(Si)은 페라이트상 형성원소로써, 모재 중의 산소(O)와 쉽게 결합하는 특성을 가지므로 제강공정 중 탈산제로 주로 사용된다. 그러나 과잉 첨가되는 경우, 인성과 관련된 기계적 특성을 크게 감소시키고, 금속간 화합물을 형성하는 문제가 있어 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 실리콘의 함량을 0.5 중량% 이하로 제한하였다.

[0049] (8) 페라이트상

[0050] 우수한 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC)저항성을 확보하고 용접성을 개선하기 위하여, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 페라이트상의 부피분율을 45 % 이상으로 유지한다. 그러나, 과도하게 높은 페라이트 함량은 저온 충격 인성 및 수소 취성에 대한 저항성을 악화시키므로 페라이트상의 부피분율은 55 %를 초과하지 않도록 제한한다.

[0051] 상기한 바와 같이, 본 발명재의 주요 합금원소 중 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W)은 페라이트상 안정화 원소이고, 망간(Mn), 질소(N)는 오스테나이트상 안정화 원소로 작용한다. 각 합금원소의 페라이트상 또는 오스테나이트상 형성 능력은 대표적인 페라이트상, 오스테나이트상 형성원소인 크롬(Cr)과 니켈(Ni)의 형성능과 비교하여 정량화될 수 있고, 본 발명에서는 크롬-당량(Cr-equivalent, 이하 Cr_{eq}로 표기) 및 니켈-당량(Ni-equivalent, 이하 Ni_{eq}로 표기) 각각을 사용된 주요 합금원소에 기초하여 $Cr_{eq}=Cr+1.5\times Mo+0.75\times W$ 와 $Ni_{eq}=0.5\times Mn+25\times N$ 로 규정하였다. 본 발명에 따른 이상 스테인리스강에서는 오스테나이트상과 페라이트상이 공존하며 우수한 연성을 나타내기 위하여 $Cr_{eq}-Ni_{eq}=Cr+1.5\times Mo+0.75\times W-0.5\times Mn-25\times N$ 값이 7 ~ 10 범위 내에 존재하도록 합금원소의 조합을 결정하였다. (상기 식에서, Cr, Mo, W, Mn, N은 각 성분의 중량%를 의미한다.)

[0052] 또한, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강이 높은 내공식성을 나타내도록 스테인리스강의 공식저항성에 영향을 미치는 주요 합금원소의 함량으로부터 각 합금의 공식저항성을 정량화한 PREN (pitting resistance equivalent number=$Cr+3.3\times Mo+1.65\times W+16\times N-Mn$) (상기 식에서, Cr, Mo, W, Mn, N은 각 성분의 중량%를 의미한다.) 값을 32 이상, 37 이하로 제한하였다. 이는 상용 오스테나이트 스테인리스강 및 상용 저감형(lean) 이상 스테인리스강보다 우수한 수준으로, 이를 통하여 상용 스테인리스강에 비하여 본 발명에 따른 이상 스테인리스강의 공식저항성이 우수할 것으로 예측할 수 있다.

[0053] 한편, 텅스텐(W)은 몰리브덴(Mo)의 1/2 당량에 해당하는 물성개선능력을 나타내며, 시그마상(σ) 억제, 저온충격강도 향상과 같은 특성이 있다. 이에 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)을 복합사용할 수 있고, 몰리브덴(Mo) 0.5 당량을 텅스텐(W)으로 대체하여 사용할 수 있다. 이때, 내식성을 포함한 기타 물성 수준을 유지함과 동시에 스테인리스강의 경제성 확보를 위하여 $Mo+0.5\times W$ 값을 3.0 ~ 5.5로 제한하는 것이 바람직하다.

[0054] 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 900 MPa 이상의 인장강도(tensile strength, TS), 600 MPa 이상의 항복강도(yield strength, YS) 및 35 %이상의 연신율(elongation, %) 값을 나타내고, 인장강도와 균일연신율의 곱(product)인 에코지수(Eco-index)가 30,000 MPa% 이상인 우수한 특성을 나타낸다. 또한, PREN 값이 32 이상이어서 상용 300 계열 오스테나이트 스테인리스강에 비하여 우수한 공식저항성을 나타낸다.

[0055] 본 발명에 따른 이상 스테인리스강의 기계적 특성들은 기존의 상용 이상 스테인리스강 및 상용 오스테나이트계 스테인리스강의 인장강도, 항복강도 및 연신율 값을 뛰어넘는 수치로써, 이를 통해 본 발명에 따른 이상 스테인리스강의 우수성을 알 수 있다.

[0056] 이하, 본 발명을 실시예를 통해 보다 구체적으로 설명한다. 그러나, 하기 실시예는 본 발명을 설명하기 위한 것

일 뿐, 하기 실시예에 의하여 본 발명의 권리범위가 한정되는 것은 아니다.

[0057] <실시예 1> 이상 스테인리스강의 제조 1

[0058] 전해철, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Mo 및 W 모합금을 표 1의 실시예 1에 나타낸 조성으로 구현되도록 조성비율을 맞추어 각각 진공유도용해로(VIM 4III-P, 독일 ALD사)에 장입하여 완전 용해한 후 질소가스를 주입하여 10 kg의 잉곳을 제조하였다. 제조된 40 mm 두께의 잉곳을 1300 ℃에서 2 시간 동안 균질화 열처리 한 후 40 % 이상의 압하율로 1회 이상의 패스를 통해 최종 두께 4 mm 까지 열간압연하였다. 또한, 석출물 형성을 방지하기 위하여 1050 ℃ 이상의 온도에서 압연을 마무리한 후 수냉하여 본 발명에 따른 이상 스테인리스강을 제조하였다.

[0059] <실시예 2 ~ 4> 이상 스테인리스강의 제조 2 ~ 4

[0060] 전해철, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Mo 및 W 모합금을 표 1의 실시예 2 ~ 4에 나타낸 조성으로 구현되도록 조성비율을 맞추어 각각 진공유도용해로(VIM 4III-P, 독일 ALD사)에 장입한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 이상 스테인리스강을 제조하였다.

[0061] <비교예 1~7>

[0062] 상용 이상 스테인리스강인 2205 스테인리스강(UNS S31803), 상용 수퍼 이상 스테인리스강인 2507 스테인리스강(UNS S32750), 상용 저감형(lean) 이상 스테인리스강인 2304 스테인리스강(UNS S32304), LDX2101 스테인리스강(UNS 32101), AL2003 스테인리스강(UNS S32003), 상용 오스테나이트 스테인리스강인 316L 스테인리스강(UNS S31603) 및 304 스테인리스강(UNS S30400)을 각각 비교예 1 ~ 7로 사용하였다.

[0063] 상기 실시예 1 내지 4에서 제조된 이상 스테인리스강과 비교예 1 내지 7의 상용스테인리스강의 조성을 하기 표 1에 나타내었다.

[0064] 표 1

	Cr	Ni	Mn	Mo	W	N	C	미세조직 (bcc:fcc)	수학식1	수학식2	수학식3
실시예 1	19.04	불검출	6.64	2.89	2.09	0.49	0.016	54:46	9.3	33.2	3.9
실시예 2	19.14	불검출	6.25	2.82	1.13	0.51	0.014	49:51	8.3	32.2	3.4
실시예 3	17.98	불검출	6.74	2.92	3.08	0.52	0.013	47:53	8.2	34.2	4.5
실시예 4	16.89	불검출	6.1	2.5	4.98	0.56	0.011	49:51	7.2	36.2	5.0
비교예 1	21.0-23.0	4.5-6.5	2	2.5-3.5	-	0.08-0.20	0.03	이상 (duplex)	16.2	34.1	3.1
비교예 2	24.0-26.0	6.0-8.0	1.2	3.0-5.0	-	0.24-0.32	0.03	이상 (duplex)	16.5	43.0	4.0
비교예 3	21.5-24.5	3.0-5.5	2.5	0.05-0.6	-	0.05-0.20	0.003	이상 (duplex)	15.8	23.2	0.0
비교예 4	21.0-22.0	1.35-1.7	4.0-6.0	0.1-0.8	-	0.20-0.25	0.04	이상 (duplex)	12.5	21.0	0.3
비교예 5	19.5-22.5	3.0-4.0	2	1.5-2.0	-	0.14-0.20	0.03	이상 (duplex)	14.8	28.3	1.7
비교예 6	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0max.	2.0-3.0	-	0.050max.	0.03max.	fcc	6.7	23.0	2.1
비교예 7	17.5-19.5	8.0-12.0	2.0max.	-	-	0.10max.	0.08max.	fcc	7.5	17.4	0

[0065] 수학식 1 : 7≤ Cr + 1.5×Mo + 0.75×W - 0.5×Mn - 25×N ≤10

[0066] 수학식 2 : 32≤ Cr + 3.3×Mo + 1.65×W + 16×N - Mn ≤37

[0067] 수학식 3 : 3.0≤ Mo + 0.5×W ≤5.5

[0068] 상기 표 1의 미세조직에 있어서, bcc는 페라이트상을 나타내고, fcc는 오스테나이트상을 나타낸다.

[0069] 상기 표 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 실시예 1 ~ 4인 이상 스테인리스강은 페라이트와 오스테나이트 상분율이 45 : 55 ~ 55 : 45를 만족하고, 수학식 1의 값을 7 ~ 10의 범위 내로 만족하고, 수학식 2의 값은 32 ~ 37 범위 내에서 만족하며, 수학식 3의 값은 3.0 ~ 5.5 범위 내로 만족한다.

[0070] 상용 이상 스테인리스강인 비교예 1 ~ 5는 페라이트와 오스테나이트의 상분율이 약 50:50이고, 비교예 6 ~ 7은 상용 오스테나이트 스테인리스강으로서 오스테나이트 단상의 미세조직으로 구성된다.

[0071] <실험예 1> 미세조직 및 결정구조 분석

[0072] 본 발명에 따른 이상 스테인리스강의 미세조직 및 결정립별 결정구조를 관찰하기 위하여 실시예 1의 이상 스테인리스강을 후방산란 전자회절(EBSD; electron backscattered diffraction)장비를 이용하여 분석하였고, 그 결과를 도 1에 나타내었다.

[0073] 도 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 실시예 1의 이상 스테인리스강은 페라이트상 및 오스테나이트상이 혼재된 상태로 구성된 것을 알 수 있으며, 페라이트와 오스테나이트의 상분율이 45 : 55 ~ 55 : 45의 부피비로 구성되는 것을 알 수 있다. 페라이트상은 우수한 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC)저항성을 부여할 수 있으며, 이에 따라 본 발명에 따른 이상 스테인리스강이 우수한 강도 및 응력부식균열 저항성을 나타낼 수 있음을 알 수 있고, 상기 범위로 페라이트상이 구성됨에 따라 과도하게 높은 페라이트상이 구성되는 경우 발생하는 저온 충격 인성 및 수소 취성에 대한 저항성 악화문제가 방지되는 것을 알 수 있다.

[0074] <실험예 2> 기계적 특성 분석

[0075] 본 발명의 실시예 1 내지 실시예 4의 이상 스테인리스강 및 비교예 1 내지 비교예 7의 상용화된 스테인리스강의 인장강도, 항복강도 및 연신율을 인장시험기 (model: Instron 5882)를 이용하여 측정하였고, 그 결과는 하기 표 2 및 도 2에 나타내었다.

표 2

[0076]

	인장특성			에코지수
	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	인장강도×연신율 (Mpa %)
실시예1	688	954	45	42930
실시예2	660	903	35	31605
실시예3	704	996	41	40836
실시예4	645	944	45	42480
비교예1	450	680	25	17000
비교예2	550	800	20	16000
비교예3	400	630	25	15750
비교예4	450	650	30	19500
비교예5	485	690	25	17250
비교예6	170	485	40	19400
비교예7	205	515	40	20600

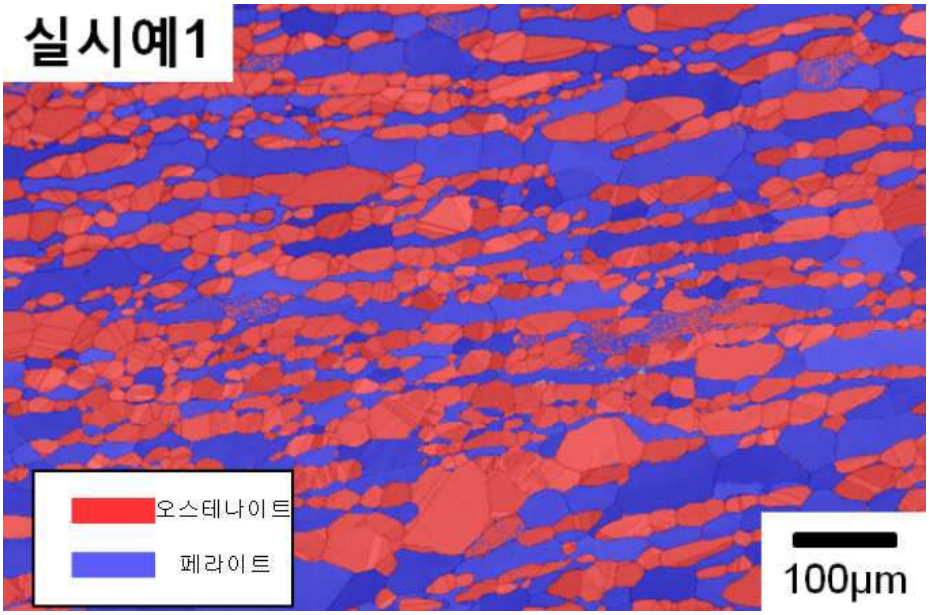
[0077] 상기 표 2에 나타난 바와 같이, 비교예 1의 상용 이상 스테인리스강은 450 MPa인 항복강도, 680 MPa인 인장강도 및 25 %인 연신율을 나타내었고, 비교예 2의 상용 수퍼 이상 스테인리스강은 550 MPa인 항복강도, 800 MPa인 인

장강도 및 20 %인 연신율을 나타내었다. 또한, 저감형(lean) 이상 스테인리스강 계열인 비교예 3 ~ 5의 이상 스테인리스강은 400 ~ 485 MPa인 항복강도, 630 ~ 690 MPa인 인장강도 및 25 ~ 30 %인 연신율을 나타내었다. 나아가, 상용 오스테나이트계 스테인리스강인 비교예 6 및 비교예 7은 170 ~ 205 MPa인 항복강도, 485 ~ 515 MPa인 인장강도 및 40 %인 연신율을 나타내었다. 즉, 비교예 1 ~ 7의 스테인리스강의 인장강도와 연신율을 곱한 에코지수(Eco-index)는 15750 ~ 20600 MPa?% 범위의 값을 나타내었다.

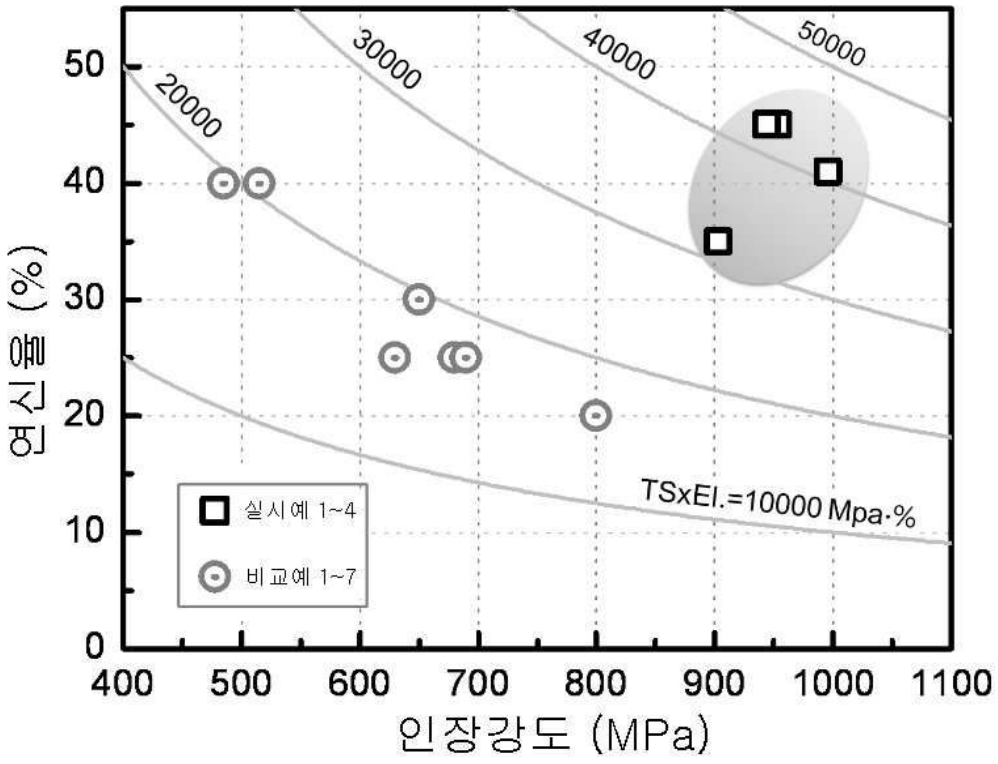
[0078] 반면, 본 발명에 따른 실시예 1 ~ 4의 이상 스테인리스강은 645 ~ 704 MPa인 항복강도, 903 ~ 996 MPa인 인장강도 및 35 ~ 45 %인 연신율을 나타내었다. 이는 상용 수퍼 이상 스테인리스강보다도 우수한 강도 및 상용 오스테나이트보다 높은 연신율 수치이다. 또한, 도 2에 나타낸 바와 같이 본 발명에 따른 이상 스테이리스강은 에코지수(Eco-index)가 최소 31605 MPa?%에서 최대 42930 MPa?%의 범위를 나타내어 상용 이상 스테인리스강 및 상용 오스테나이트 스테인리스강과 비교하여 월등한 기계적 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 이를 통하여, 본 발명에 따른 이상 스테인리스강은 상용 이상 스테인리스강 및 오스테나이트 스테인리스강과 비교하여 니켈(Ni) 배제하였음에도 불구하고, 강도 및 연신율이 높고 강도와 연신율의 조합이 우수한 것을 알 수 있다.

도면

도면1



도면2


50000
40000
30000
20000
TSxEl.=10000 Mpa·%
실시예 1~4
비교예 1~7
연신율 (%)
인장강도 (MPa)
0
10
20
30
40
50
400
500
600
700
800
900
1000
1100