(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0088515
(43) 공개일자 2013년08월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*C22C 38/00* (2006.01) *C22C 38/44* (2006.01)
*C22C 38/58* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0009794
(22) 출원일자 2012년01월31일
심사청구일자 2012년01월31일

(71) 출원인
**한국기계연구원**
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
**하헌영**
경상남도 창원시 성산구 상남동 78-3 마이우스 522호
**이태호**
경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 호계리 코오롱 타운 아파트 213동 101호
**황병철**
경상남도 창원시 성산구 남양동 성원2차 아파트 207동 302호
(74) 대리인
**이원희**

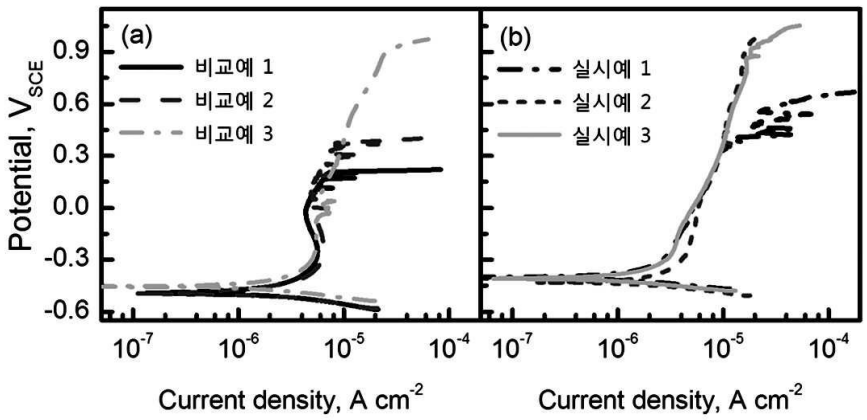
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **우수한 내공식성을 가지는 고기능성 저니켈-고질소 2상 스테인리스강**

## (57) 요 약

본 발명은 우수한 내공식성을 가지는 고기능성 저니켈-고질소 2상 스테인리스강에 관한 것으로, 상세하게는 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.5 중량%의 텅스텐(W)과, 5.5~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.35~0.45 중량%의 질소(N)와, 0.01~0.7 중량%의 니켈(Ni)과, 잔부인 철(Fe)을 포함하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강(duplex stainless steels)을 제공한다. 본 발명에 따른 우수한 내공식성을 가지는 저니켈-고질소 2상 스테인리스강은 강재의 가격 불안정 및 환경부담을 가중하는 니켈(Ni)을 망간(Mn)과 질소(N)로 대부분 대체함으로써 스테인리스강의 경제성, 가격 안정성, 및 환경친화성을 향상시킬 수 있다.

*대 표 도* - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 10041169 |
| 부처명 | 지식경제부 |
| 연구사업명 | 소재원천기술개발사업 |
| 연구과제명 | 상용 스테인리스강 대비 Ni 함량이 50% 이상 저감된 고기능성 스테인리스강의 Lean Alloy 화 기술 개발 |
| 주관기관 | 한국기계연구원 부설 재료연구소 |
| 연구기간 | 2011.12.01 ~ 2015.11.30 |

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.5 중량%의 텅스텐(W)과, 5.5~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.35~0.45 중량%의 질소(N)와, 0.01~0.7 중량%의 니켈(Ni)과, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C)와, 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강(duplex stainless steels).

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 2상 스테인리스강은 페라이트상의 부피분율이 40 내지 60 %인 것을 특징으로 하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 2상 스테인리스강은 850 MPa 이상의 인장강도, 580 MPa 이상의 항복강도 및 25 % 이상의 연신율 값을 나타내고, 인장강도 및 연신율의 곱(product)이 24,000 MPa·% 이상인 것을 특징으로 하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강.

## 명 세 서

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 우수한 내공식성을 가지는 고기능성 저니켈-고질소 2상 스테인리스강(duplex stainless steels)에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 니켈(Ni) 의존형 상용 오스테나이트 스테인리스강은 범내식환경에 적용되는 스테인리스강으로 전체 스테인리스강 사용량의 60%를 차지하는 가장 시장이 큰 강종이다. 그러나 오스테나이트 상안정 원소로 필수적인 니켈(Ni)은 가격이 불안정한 문제를 가지므로 고정 수요에 대한 안정적 공급에 어려움이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 상용 오스테나이트 스테인리스강을 니켈(Ni) 저함유(low Ni) 또는 니켈(Ni) 무함유(Ni-free) 스테인리스강으로 대체하여 경제성을 확보하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 2상 스테인리스강(duplex stainless steel)은 페라이트상과 오스테나이트상이 약 50:50의 부피비로 미세하게 결합된 스테인리스강으로, 상용 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 니켈(Ni) 함량이 낮아 가격경쟁력이 높으며, 합금 조성 및 미세조직의 제어에 따라 구현할 수 있는 성능범위가 매우 넓다는 장점이 있어서 기존의 니켈(Ni) 의존형 스테인리스강의 대체재로 활용하기 위한 연구가 진행 중이다.

[0004] 또한, 2상 스테인리스강에서도 니켈(Ni) 함량을 더욱 낮춘 저감형(lean) 2상 스테인리스강이 연구개발되어 상용화된 일부 제품이 기존의 오스테나이트계 스테인리스강을 대체하여 사용되고 있다. 저감형(lean) 2상 스테인리스강 종으로는 크롬(Cr) 23 중량% 및 니켈(Ni) 4 중량%를 포함하는 2304급 2상 스테인리스강(UNS S32304)과, 니켈(Ni) 함량을 1 중량%까지 낮추면서도 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.

[0005] 그러나, 2상 스테인리스강은 질소 고용도가 0.04 중량% 이하로 낮은 페라이트상이 부피비로 약 50 %를 차지하기 때문에 스테인리스강의 질소(N) 함유량을 높이는 것이 용이하지 않다. 따라서 2상 스테인리스강 모재에 고용시킨 질소는 오스테나이트상에 우선적으로 고용되고, 오스테나이트상에 과고용된 질소(N)에 의해 오스테나이트상과 페라이트상의 화학조성 차이가 나타나며, 또한 크롬-질소 결합 및 석출상 형성으로 인해 스테인리스강의 기계적-화학적 물성을 저하시키는 문제가 발생한다. 이와 같은 문제들로 인하여, 질소(N)를 적극적으로 활용한 고질소 2상 스테인리스강의 개발 및 상용화가 지연되고 있으며, 이에 대한 해결책이 시급히 마련되어야 하는 실정이다.

[0006] 이에 본 발명자들은, 페라이트상과 오스테나이트상의 2상 구조로 구성되어 물성 구현범위 확장이 가능한 2상 스테인리스강을 대상으로, 망간(Mn)과 질소(N)를 활용하여 오스테나이트상을 안정화시킴으로써 니켈(Ni) 사용량을 저감하고, 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)을 활용하여 상용 오스테나이트 스테인리스강 및 상용 2상 스테인리스강 수준 이상의 내식성을 나타내며, 각각의 합금원소들을 최적으로 조합함으로써 상용 오스테나이트 스테인리스강 및 2상 스테인리스강 대비 월등히 우수한 기계적 특성을 나타내는 저니켈-고질소 2상 스테인리스강의 조성을 개발하여 본 발명을 완성하였다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0007] 본 발명의 목적은 우수한 내공식성을 가지는 고기능성 저니켈-고질소 2상 스테인리스강을 제공하는 데 있다.

### *과제의 해결 수단*

[0008] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

[0009] 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.5 중량%의 텅스텐(W)과, 5.5~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.35~0.45 중량%의 질소(N)와, 0.01~0.7 중량%의 니켈(Ni)과, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C)와, 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강(duplex stainless steels)을 제공한다.

### *발명의 효과*

[0010] 본 발명에 따른 우수한 내공식성을 가지는 저니켈-고질소 2상 스테인리스강은 강재의 가격 불안정 및 환경부담을 가중하는 니켈(Ni)을 망간(Mn)과 질소(N)로 대부분 대체함으로써 스테인리스강의 경제성, 가격 안정성, 및 환경친화성을 향상시킬 수 있다.

[0011] 또한, 질소(N) 함량을 0.35~0.45 중량% 범위로 적절히 조절함으로서, 기존 고질소 스테인리스강에 비해 (1) 제조시 질소 가압의 부담이 적고, (2) 과질소 고용에 따른 석출물 형성을 억제하여 기계적 특성과 내식성 향상의 효과를 얻을 수 있으며, (3) 질소(N) 고용도를 높이기 위한 망간(Mn) 사용을 줄일 수 있으므로 내식성 향상에 효과적이고, (4) 페라이트-오스테나이트 상간 합금원소 분배의 차이가 감소되어 미세 갈바닉 부식(Galvanic Corrosion)에 의한 공식성장이 억제되므로 내공식성이 추가로 향상되는 효과를 얻을 수 있으며, (5) 우수한 강도와 연성의 조합을 나타내는 특성을 얻을 수 있다.

[0012] 나아가, 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 니켈(Ni)을 0.7 중량% 이하로 소량 포함함으로써 (1) 니켈(Ni) 의존도를 낮추어 강재의 가격안정성을 향상시키고, (2) 용해 후 잉곳의 응고 과정 중 델타 페라이트상 형성을 억제하여 상온에서도 질소(N)의 고용도를 높은 수준으로 유지시키는 데 용이하며, (3) 니켈(Ni)이 포함되어 모재의 부식전위를 상승시킴으로써 부식에 안정한 환경조건을 확장시키는 효과가 있고, (4) 오스테나이트 상에 니켈(Ni)이 우선 고용되어 오스테나이트상을 귀(noble)하게 하므로 페라이트-오스테나이트상의 미세 갈바닉 부식(micro-galvanic corrosion)이 억제되어 추가적으로 내공식성을 향상시키는 효과가 있다.

[0013] 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 범내식환경용 오스테나이트 스테인리스강 뿐만 아니라 니켈(Ni)을 5 중량% 포함한 상용 2상 스테인리스강에 비해서도 동등 또는 더욱 우수한 내공식성을 가지며, 이와 동시에 현저히 높은 기계적 특성을 나타낼 수 있다. 이에 따라, 범내식-초내식 환경 적용강재로 상용 오스테나이트용 스테인리스강 및 상용 2상 스테인리스강을 대체할 수 있으며, 저장용기, 수송기기의 프레임(frame) 부재, 제지산업, 해양, 화학공정, 정유, 발전 산업 등의 구조재, 강관재료, 생체 적용 분야 등의 고부가가치 재료로 이용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 튜브, 선재, 스트립, 봉재, 시트재, 또는 바(bar) 형태의 자재 또는 고강도와 고연신 특성이 요구되는 분야의 구조물로 제조될 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 미세조직 및 결정립별 결정방위를 관찰한 후방산란 전자회절(EBSD: electron backscattered diffraction)사진이고,

도 2는 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 기계적 특성(인장강도×연신율)을 상용 오스테나이트 스테인리스강 및 상용 2상 스테인리스강의 기계적 특성 수준과 비교하여 나타낸 그래프이며,

도 3은 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 공식저항성 수준을 상용 오스테나이트 스테인리스강 및 상용 2상 스테인리스강과 비교하여 나타낸 그래프이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명은

[0016] 16.5~19.5 중량%의 크롬(Cr)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 1.0~5.5 중량%의 텅스텐(W)과, 5.5~7.0 중량%의 망간(Mn)과, 0.35~0.45 중량%의 질소(N)와, 0.01~0.7 중량%의 니켈(Ni)과, 잔부인 철(Fe) 및 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C)와, 0.5 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하는 페라이트-오스테나이트 상으로 이루어지는 2상 스테인리스강(duplex stainless steels)을 제공한다.

[0017] 본 발명에 따른 상기 2상 스테인리스강은 재료의 가격불안정을 야기하고, 환경 및 인체에 유해한 니켈(Ni)을 대체하기 위하여 0.35~0.45 중량%의 함량으로 질소를 고용하고, 5.5 중량% 이상으로 망간(Mn)을 첨가하여 경제적으로 오스테나이트상을 안정화하였다. 또한, 니켈(Ni)은 0.7 중량% 이하를 유지하되 필수적으로 첨가함으로서 오스테나이트상을 귀(noble)하게 하고, 잉곳(ingot)의 냉각시 질소고용량을 높은 수준으로 유지할 수 있도록 하였다. 나아가, 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 억제하여 페라이트상을 안정화시킬 수 있다. 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.

[0018] 또한, 본 발명에 따른 상기 2상 스테인리스강에 있어서, 페라이트상의 부피분율은 40~60 % 로 구성되는 것이 바람직하다. 상기 페라이트상의 부피분율이 40 % 미만인 경우에는 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 저항성이 저하되는 문제가 있고, 페라이트상의 부피분율이 60 %를 초과하는 경우에는 오스테나이트상의 부피분율이 낮아져 연신율이 저하되는 문제가 있다.

[0019] 이하에는 본 발명에 따른 2상 스테인리스강 내의 주요 합금원소에 대하여 자세히 설명한다.

[0020] (1) 크롬(Cr)

[0021] 크롬(Cr)은 페라이트 안정화 원소이며 스테인리스강에 내식성을 부여하는 필수적인 원소이다. 또한, 크롬(Cr)은 질소(N)의 고용도를 증가시키는 역할을 수행하므로, 본 발명에 따른 2상 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, 2상 스테인리스강의 시그마(σ)상 석출을 촉진시키는 문제가 있다. 또한, 델타 페라이트상 및 시그마(σ)상의 석출로 인한 조직의 불균일성은 강재의 공식저항성을 감소시키기 때문에 크롬(Cr)의 함량을 16.5~19.5 중량%로 제한하였다.

[0022] (2) 몰리브덴(Mo)

[0023] 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 발명의 2상 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 3.5 중량%를 넘지 않도록 제한하였다.

[0024] (3) 텅스텐(W)

[0025] 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 2상 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 1.0~5.5 중량%로 제한하였다.

[0026] (4) 니켈(Ni)

[0027] 니켈(Ni)은 대표적인 오스테나이트상 안정화 원소이지만, 상기한 바와 같이 가격변동성이 크고 환경 및 인체에 유해한 원소이므로 함량을 극히 제한한다. 그러나 니켈은 제조합금의 열간 및 냉간가공성을 향상시키고 높은 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 저항성과 산성용액에서의 우수한 내식성을 부여하며, 모재의 응고과정 중에 델타 페라이트 형성을 억제하는 장점이 있으므로 본 발명의 2상 스테인리스강에서는 니켈(Ni)의 첨가량은 0.01~0.7 중량%로 규정한다.

[0028] (5) 망간(Mn)

[0029] 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 2상 스테인리스강은 강재의 경제성과 질소(N) 고용도 증가를 위하여 5.5 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 7.0 중량%이하로 제한하였다.

[0030] (6) 질소(N)

[0031] 질소(N)는 강력한 오스테나이트상 안정화 원소로써 망간(Mn)과 함께 니켈(Ni)을 효과적으로 대체할 수 있다. 또한, 스테인리스강의 강도를 증가시킴과 동시에 연성을 높은 수준으로 유지시킬 수 있고, 내공식성을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 질소(N)를 0.35 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

2상 스테인리스강은 질소(N)의 함량을 0.35~0.45 중량%로 제한하였다.

[0032] (7) 탄소(C) 및 실리콘(Si)

[0033] 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 결정립계부터 석출되고, 석출된 크롬-탄화물 주위의 크롬-고갈영역(Cr-depletion zone)이 공식부식의 발생처로 작용하는 문제가 있다. 따라서 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 탄소(C)의 함량이 0.03 중량%를 넘지 않도록 제한하였다.

[0034] 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 2상 스테인리스강은 실리콘의 함량을 0.5 중량% 이하로 제한하였다.

[0035] (8) 페라이트상

[0036] 우수한 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC)저항성을 확보하고 용접성을 개선하기 위하여, 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 페라이트상의 부피 분율을 40 % 이상으로 유지한다. 그러나 과도하게 높은 페라이트 함량은 저온 충격 인성 및 수소 취성에 대한 저항성을 악화시키므로 페라이트상의 부피분율은 60 %를 초과하지 않도록 제한한다.

[0037] 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 850~927 MPa의 인장강도(tensile strength, TS), 590~640 MPa의 항복강도(yield strength, YS) 및 26~49 %의 연신율(elongation, %) 값을 나타내고, 인장강도와 균일연신율의 곱(product)인 에코지수(Eco-index)가 24,000 MPa·% 이상인 우수한 특성을 나타낸다.

[0038] 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 정의된다.

[0039] 또한, 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 범내식환경용 상용 300 계열 오스테나이트 스테인리스강(UNS S30400, UNS S31603) 및 상용 2상 스테인리스강(UNS S31803) 비하여 동등 이상, 우수한 공식저항성을 나타낸다. 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 기계적 특성들은 기존의 상용 오스테나이트계 스테인리스강 및 2상 스테인리스강의 인장강도, 항복강도 및 연신율 값을 상회하며, 또한 내공식성도 우수하므로 이를 통해 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 우수성을 알 수 있다.

[0040] 이하, 본 발명을 실시예를 통해 보다 구체적으로 설명한다. 그러나, 하기 실시예는 본 발명을 설명하기 위한 것일 뿐, 하기 실시예에 의하여 본 발명의 권리범위가 한정되는 것은 아니다.

[0041] <실시예 1> 2상 스테인리스강의 제조

[0042] 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 용해시킨 후, 질소가스를 주입하여 10 kg의 잉곳을 제조하였다. 제조된 40 mm 두께의 잉곳을 1300 ℃에서 2 시간 동안 균질화 열처리한 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 수냉함으로써 본 발명에 따른 2상 스테인리스강을 제조하였다.

[0043] <실시예 2~3> 2상 스테인리스강의 제조

[0044] 전해철, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Mo 및 W 모합금을 표 1의 실시예 2~3에 나타낸 조성으로 구현되도록 조성비율을 맞추어 각각 진공유도용해로에 장입한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 2상 스테인리스강을 제조하였다.

[0045] <비교예 1~3>

[0046] 상용 오스테나이트 스테인리스강인 304 스테인리스강(UNS S30400), 316L 스테인리스강(UNS S31603) 및 상용 2상 스테인리스강인 2205 스테인리스강(UNS S31803)을 각각 비교예 1~3으로 사용하였다.

[0047] 상기 실시예 1 내지 3에서 제조된 2상 스테인리스강과 비교예 1 내지 3의 상용스테인리스강의 조성을 하기 표 1에 나타내었다.

*표 1*

[0048]

| 중량% | Cr | Ni | Mn | Mo | W | N | C | O | P | Si |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 실시예1 | 19.2 | 0.57 | 6.2 | 3.0 | 1.09 | 0.4 | 0.0137 | 0.0085 | 0.009 | 0.376 |
| 실시예2 | 17.9 | 0.57 | 6.6 | 2.9 | 3.09 | 0.42 | 0.0124 | 0.012 | 0.0083 | 0.370 |
| 실시예3 | 17.24 | 0.50 | 6.0 | 2.5 | 5.27 | 0.41 | 0.0161 | 0.0072 | 0.326 | 0.372 |
| 비교예1 | 17.5-19.5 | 8.0-12.0 | 2.0max. | - | - | 0.10max. | 0.08max. | 미량 | 미량 | <0.003 |
| 비교예2 | 16.0-18.0 | 10.0-14.0 | 2.0max. | 2.0-3.0 | - | 0.050max. | 0.03max. | 미량 | 미량 | <0.003 |
| 비교예3 | 21.0-23.0 | 4.5-6.5 | 2 | 2.5-3.5 | - | 0.08-0.20 | 0.03 | 미량 | 미량 | 0.003 |

[0049] <실험예 1> 미세조직 및 결정구조 분석

[0050] 본 발명에 따른 2상 스테인리스강의 미세조직 및 결정구조를 분석하기 위하여, 후방산란 전자회절(EBSD: electron backscattered diffraction) 분석을 수행하였고, 그 결과를 하기 표 2 및 도 1에 나타내었다.

*표 2*

[0051]

| | 미세조직<br>bcc:fcc |
|---|---|
| 실시예1 | 45:55 |
| 실시예2 | 44:56 |
| 실시예3 | 43:57 |
| 비교예1 | fcc |
| 비교예2 | fcc |
| 비교예3 | 50:50 |

[0052] 상기 표 2의 미세조직에 있어서, bcc는 페라이트상을 나타내고, fcc는 오스테나이트상을 나타낸다.

[0053] 표 2 및 도 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 실시예 1~3의 2상 스테인리스강은 페라이트와 오스테나이트 상분율이 40:60~60:40을 만족하는 것을 알 수 있다. 또한, 비교예 1~2의 상용 오스테나이트 스테인리스강은 오스테나이트 단상의 미세조직으로 구성되고, 상용 2상 스테인리스강인 비교예 3은 페라이트와 오스테나이트의 상분율이 약 50:50으로 구성된다.

[0054] 페라이트상은 우수한 강도 및 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC)저항성을 부여할 수 있으며, 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.

[0055] <실험예 2> 기계적 특성 분석

[0056] 본 발명의 실시예 1~3의 2상 스테인리스강 및 비교예 1~3의 상용화된 스테인리스강의 인장강도, 항복강도 및 연신율을 인장시험기(model: Instron 5882)를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 표 3 및 도 2에 나타내었다.

표 3

[0057]

| | 인장특성 | | | 에코지수 |
|---|---|---|---|---|
| | 항복강도, YS, MPa | 인장강도, TS, MPa | 연신율, El, % | TS × El, MPa·% |
| 실시예1 | 590 | 850 | 49 | 41650 |
| 실시예2 | 600 | 863 | 40 | 34520 |
| 실시예3 | 640 | 927 | 26 | 24102 |
| 비교예1 | 205 | 515 | 40 | 20600 |
| 비교예2 | 170 | 485 | 40 | 19400 |
| 비교예3 | 450 | 680 | 25 | 17000 |

[0058] 표 3 및 도 2에 나타난 바와 같이, 비교예 1~2의 상용 오스테나이트 스테인리스강은 170~205 MPa인 항복강도, 485~515 MPa인 인장강도 및 40 %인 연신율을 나타내었으며, 비교예 3의 상용 2상 스테인리스강은 450 MPa의 항복강도, 680 MPa의 인장강도, 그리고 25 %의 연신율을 나타내었다. 따라서, 비교예 1~3의 상용 스테인리스강재는 17000~20600 MPa·% 수준의 에코지수(Eco-index)를 나타낸다. 이에 비해 본 발명에 따른 실시예 1~3의 2상 스테인리스강은 850~927 MPa의 인장강도(tensile strength, TS), 590~640 MPa의 항복강도(yield strength, YS) 및 26~49 %의 연신율(elongation, %) 값을 나타낸다. 따라서, 인장강도와 연신율의 곱인 에코지수(Eco-index)는 24102~41650 MPa·% 수준으로, 이는 비교예로 사용된 상용 스테인리스강재보다 월등히 높은 수치이다. 이를 통하여, 본 발명에 따른 2상 스테인리스강은 상용 2상 스테인리스강 및 오스테나이트 스테인리스강과 비교하여 니켈(Ni)을 소량 사용함에도 불구하고 적절한 수준의 오스테나이트 기지를 확보할 수 있으며 충분히 높은 강도 및 연신율을 지니고 그 조합이 우수한 것을 알 수 있다.

[0059] <실험예 3> 내공식성 분석

[0060] 본 발명의 실시예 1~3에 의해 제조되는 2상 스테인리스강 및 비교예 1~3의 상용 스테인리스강의 내공식성을 측정하기 위하여 실시예와 비교예의 합금 시편을 상온의 1 M NaCl 용액에 침지하고 전위주사속도 (dV/dt) 3 mV/s로 전위를 증가시키면서 양극분극거동을 관찰하였고 분극시험 결과를 도 3에 나타내었다. 또한 분극시험 중 각 합금의 공식이 발생한 전위(pitting potential, $E_{pit}$)을 표 4에 나타내었다.

표 4

[0061]

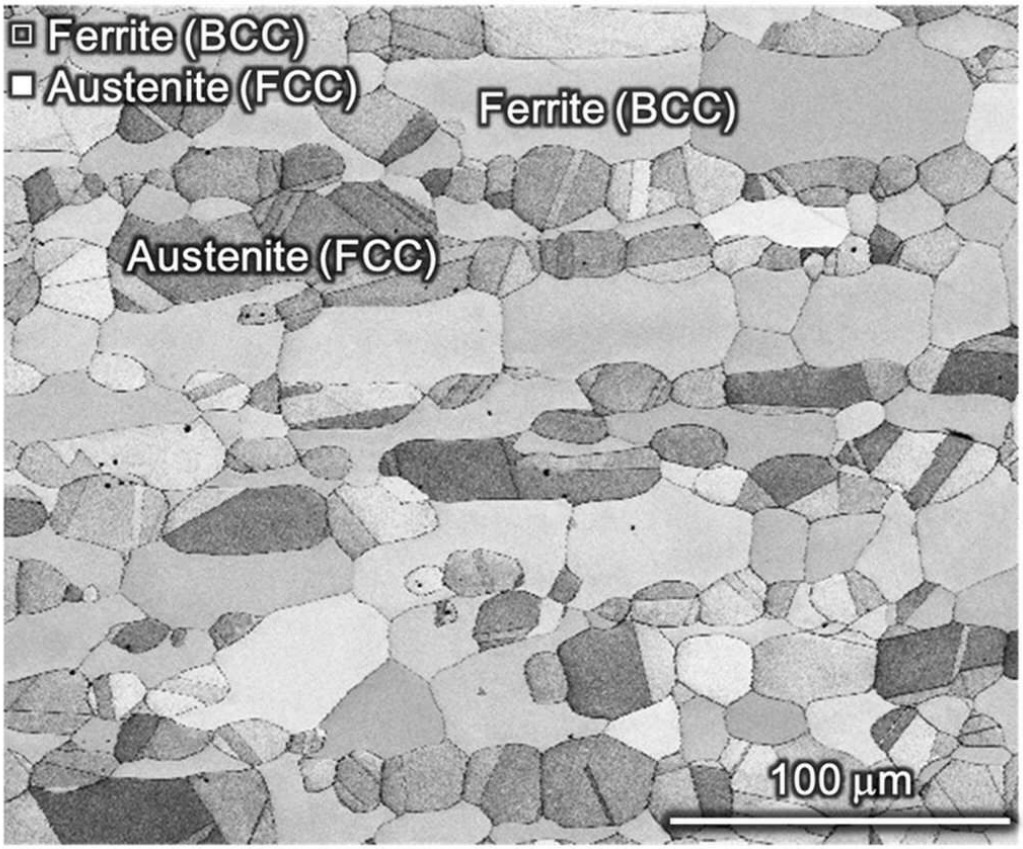
| | 공식전위, $E_{pit}$ $V_{SCE}$ |
|---|---|
| 실시예1 | 0.5668 |
| 실시예2 | no pitting |
| 실시예3 | no pitting |
| 비교예1 | 0.1967 |
| 비교예2 | 0.3733 |
| 비교예3 | no pitting |

[0062] 도 3 및 표 4에 나타낸 바와 같이, 상용 오스테나이트계 스테인리스강의 공식은 0.1967~0.3733 $V_{SCE}$에서 발생하는 것을 알 수 있으며, 상용 2상 스테인리스강은 본 실험예의 조건에서 공식이 발생하지 않았다. 한편, 본 발명의 실시예 1~3에 의해 제조된 2상 스테인리스강은 본 실험예의 조건에서 0.5668 $V_{SCE}$ 이상의 전위에서 공식이 발

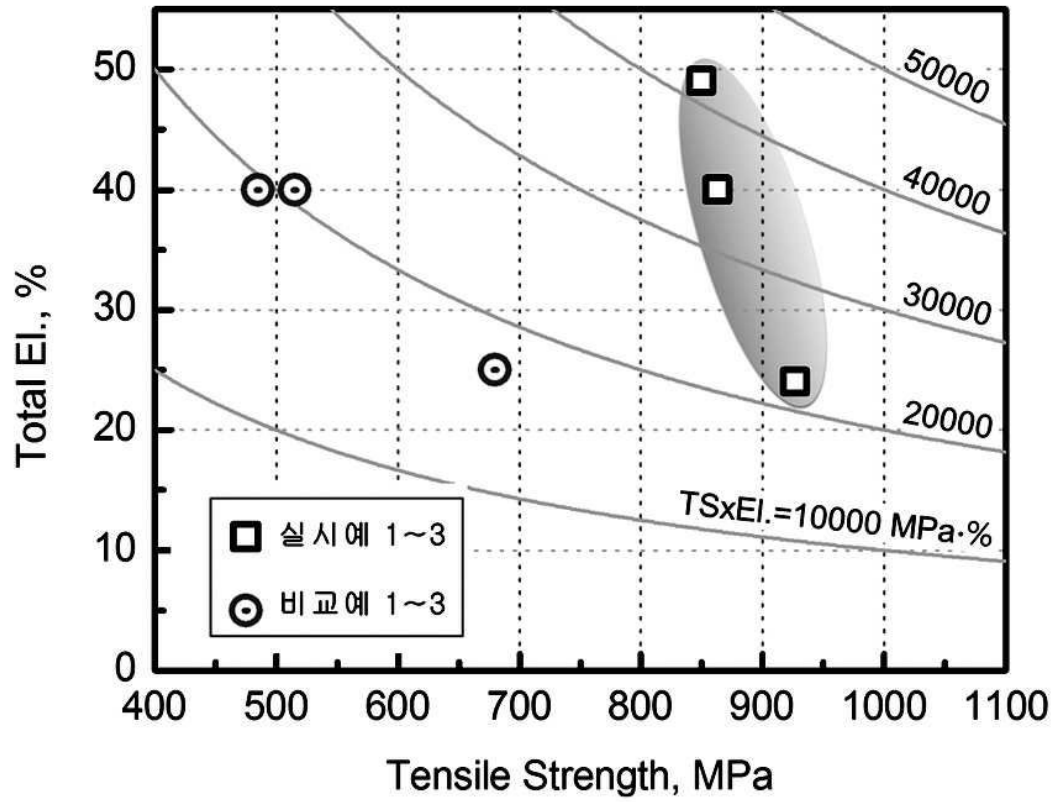
생하거나 또는 공식이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이를 통해, 염화물 분위기에서 본 발명에 따른 2상 스테인리스강이 범내식환경용 상용 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 우수한 공식저항성을 가지며, 상용 2상 스테인리스강의 공식저항성과 동등한 수준인 것을 확인하였다.

## 도면

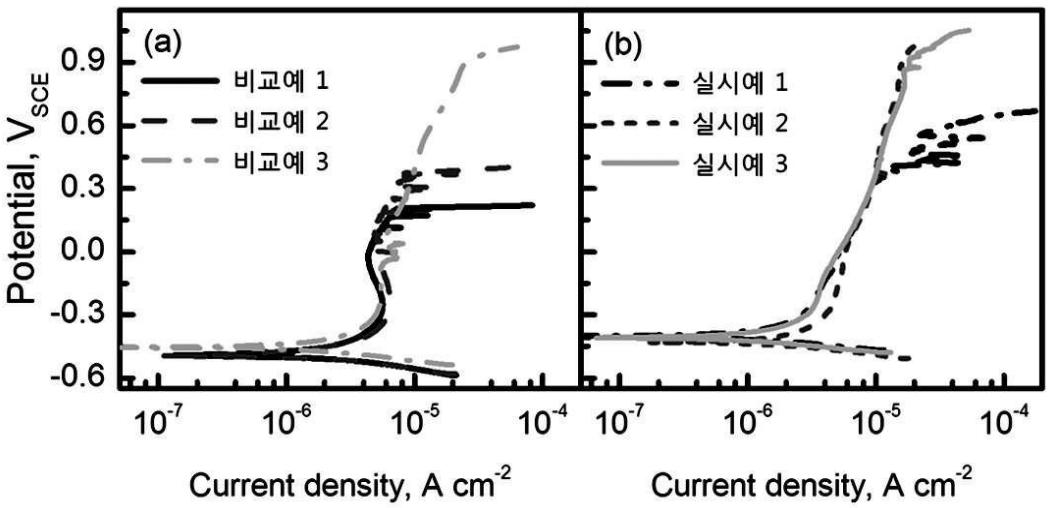
### 도면1



도면2


Total El., %
Tensile Strength, MPa
50000
40000
30000
20000
TSxEl.=10000 MPa·%
실시예 1~3
비교예 1~3

도면3


(a)
(b)
Potential, V_SCE
Current density, A cm-2
비교예 1
비교예 2
비교예 3
실시예 1
실시예 2
실시예 3