(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0050086
(43) 공개일자 2012년05월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) *C22C 38/44* (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0111423
(22) 출원일자 2010년11월10일
심사청구일자 2010년11월10일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
김성준
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79, 유니온 빌리지 아파트 113동 604호 (성주동)
이태호
경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 호원로 359, 코오롱 타운 아파트 213동 101호
하헌영
경상남도 창원시 성산구 중앙대로 104, 522호 (상남동, 마이우스오피스텔)
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **강도와 연성의 조합과 내공식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

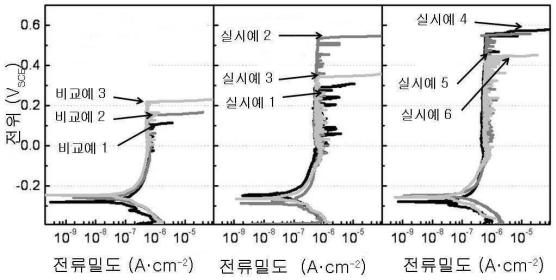
본 발명은 강도와 연성의 조합 및 내공식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강 및 이의 제조방법에 관한 것으로 상세하게는 17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강 및 이의 제조방법을 제공한다.

<수학식 1>

$$5.0 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14.0$$

본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 망간(Mn)과 질소(N)를 첨가함으로써 스테인리스강의 가격 상승과 가격 불안정을 가져오는 니켈(Ni) 함량을 낮추었고 이를 통해 생산재의 경제성 및 가격 안정을 도모할 수 있는 효과가 있다. 또한 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 높은 질소(N)함량으로 인하여 안정한 오스테나이트 단상을 얻을 수 있고, 높은 강도와 연신율, 그리고 내공식성의 향상을 동시에 나타내며, 특히 상용 AISI 316L 스테인리스강 이상의 내공식성을 가지는 효과가 있다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

<수학식 1>

$5.0 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14.0$

청구항 2

17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 2를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

<수학식 2>

$30.0 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 30 \times N - Mn \leq 45.0$

청구항 3

17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 (중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 1 및 2를 모두 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

<수학식 1>

$5 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14$

<수학식 2>

$30 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 30 \times N - Mn \leq 45$

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 오스테나이트계 스테인리스강은 900 MPa 이상의 인장강도, 500 MPa 이상의 항복강도 및 50 %이상의 균일연신율 값을 갖고, 인장강도와 균일연신율의 곱(product)이 50,000 MPa?% 이상 인 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 5

모합금을 진공용해로에 장입하는 모합금장입단계(단계 1);

상기 단계 1에서 모합금이 장입된 진공용해로를 진공 상태로 유지하는 진공유지단계(단계 2);

상기 단계 2의 진공용해로를 가열하여 모합금을 용융하는 모합금용융단계(단계 3);

상기 단계 3의 진공용해로 내부에 질소가스를 주입하는 질소함량조정단계(단계 4);

상기 단계 3에서 용융된 모합금을 교반하는 용융합금교반단계(단계 5);

상기 단계 5에서 진공용해로 내부에서 교반된 용융합금을 출탕하여 주괴를 형성하는 주괴형성단계(단계 6);

상기 단계 6에서 형성된 주괴를 열간 압연하는 단계(단계 7); 및

상기 단계 7에서 열간 압연된 스테인리스강을 균질화 열처리 후 수냉하는 단계(단계 8)를 포함하는 것을 특징으로 하는 제1항 내지 제3항 중 어느 한 항의 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 단계 2의 진공유지단계는 진공용해로 내부가 10^{-3} torr 이하의 진공도를 갖도록 하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 단계 4의 질소함량조정은

상기 진공용해로 내부로 질소 가스를 주입하는 질소주입과정과, 상기 진공용해로 내부의 질소분압을 2~5 기압으로 조정하는 압력조정과정으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 강도와 연성의 조합 및 내공식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 강도, 연성 및 내공식성 등 스테인리스강의 주요 기계적 특성은 주로 첨가된 합금원소의 종류와 그 함량에 의해 결정된다. 따라서 새로운 스테인리스강을 개발할 때, 사용 환경에 요구되는 물성을 구현하기 위해서는 첨가되는 원소의 종류와 조성을 적절히 설계하는 것이 중요하다. 이때, 합금원소의 경제성을 고려하여 고가의 합금원소를 기능이 유사하면서도 경제적인 원소로 대체하여 기존 강종의 물성을 개선하도록 합금을 설계하는 것이 스테인리스강 개발에 있어서 핵심적인 기술적 과제이다.

[0003] 기존의 연구와 발명으로 규정된 오스테나이트계 스테인리스강은 일반적으로 (중량%로) 철(Fe) 기지에 16~22 % 크롬(Cr), 6~14 % 니켈(Ni), 0~3 % 몰리브덴(Mo), 그리고 0.03~0.15 % 탄소(C)를 포함하며, 인장강도 500~600 MPa, 연신율 40~55 % 수준의 기계적 특성을 나타낸다.

[0004] 상기 합금원소 중 니켈(Ni)은 효과적인 오스테나이트 안정화 원소이며 강재의 가공성 향상에 기여하는 장점이 있다. 그러나 상용 오스테나이트 스테인리스강 무게의 10 %에 불과한 니켈(Ni)은 스테인리스강 가격의 60 %를 차지할 정도로 매우 고가의 합금원소이다. 더욱이 니켈(Ni) 원소재의 수급이 전략화 됨에 따라 최근 10년간 니켈(Ni) 가격이 급변하였고, 니켈(Ni) 가격의 불안정은 스테인리스강 원가의 불안정을 가져오는 요인으로 작용하게 되었다. 상기의 경제적인 측면 외에도 니켈(Ni)은 인체에 과민반응(allergy)를 유발하거나 합금의 재활용을 어렵게 하는 등 인체 및 환경친화성이 낮은 문제점을 가지고 있다. 이에 따라 니켈(Ni)을 6~14 중량% 포함하는 기존의 상용 오스테나이트계 스테인리스강에서 니켈(Ni) 함량을 낮출 필요성이 제기되었고, 이러한 요구에 부응하는 강종으로는 철(Fe)-크롬(Cr)-망간(Mn)으로 이루어진 200 계 스테인리스강과, 질소(N)와 망간(Mn)으로 니켈(Ni)을 대체한 고질소 스테인리스강(철(Fe)-크롬(Cr)-망간(Mn)-질소(N) 계)이 대표적이다. 그러나 상기 200 계 스테인리스강은 니켈(Ni)을 10 중량% 정도 포함한 기존 오스테나이트계 스테인리스강에 비하여 내식성 및 내공

식성이 떨어지는 단점이 있어서 강재의 적용이 제한적이다.

[0005] 현재, 상용 오스테나이트계 스테인리스강을 대체할 수 있는 가장 유력한 스테인리스 강종은 질소(N)를 용해한도 이상 포함한 고질소 스테인리스강(철(Fe)-크롬(Cr)-망간(Mn)-질소(N) 계)이다. 질소(N)는 경제적이고 강력한 오스테나이트 안정화 원소이므로 니켈(Ni)을 효과적으로 대체할 수 있으며, 고용강화를 통해 스테인리스강의 강도를 증가시키면서도 연성을 높은 수준으로 유지시키고, 공식저항성을 포함한 국부부식저항성을 현저히 향상시키는 장점을 가진다. 따라서 질소(N)를 과량 포함한 고질소 스테인리스강의 개발이 활발하며, 고용한이 낮은 질소(N)를 철강재료 내에 안정적으로 확보하기 위한 방법이 다수 개발되었다. 최근에는 가압유도용해, PESR (pressurized electroslag remelting), 분말야금법, 고상질화법 등 다양한 제조기술을 통해 고질소 오스테나이트계 스테인리스강을 제조하고 있다.

[0006] 이에 본 발명자들은 합금에 망간(Mn)을 첨가하고 가압용해법을 사용함으로써 강재 내에 높은 질소(N) 함량을 확보하였으며, 주요 합금원소인 니켈(Ni), 질소(N), 망간(Mn), 크롬(Cr), 몰리브덴(Mo)의 함량제어를 최적화하여 강도-연성의 조합이 우수하고 염화물(Cl^-) 분위기에서 내공식성이 뛰어난 본 발명의 고질소 오스테나이트계 스테인리스강을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 강도와 연성의 조합 및 내공식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강 및 이의 제조방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에서는 17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강 및 모합금을 진공용해로에 장입하는 모합금장입단계(단계 1); 상기 단계 1에서 모합금이 장입된 진공용해로를 진공 상태로 유지하는 진공유지단계(단계 2); 상기 단계 2의 진공용해로를 가열하여 모합금을 용융하는 모합금용융단계(단계 3); 상기 단계 3의 진공용해로 내부에 질소가스를 주입하는 질소함량조정단계(단계 4); 상기 단계 3에서 용융된 모합금을 교반하는 용융합금교반단계(단계 5); 상기 단계 5에서 진공용해로 내부에서 교반된 용융합금을 출탕하여 주괴를 형성하는 주괴형성단계(단계 6); 상기 단계 6에서 형성된 주괴를 열간 압연하는 단계(단계 7); 및 상기 단계 7에서 열간 압연된 스테인리스강을 균질화 열처리 후 수냉하는 단계(단계 8)를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법을 제공한다.

[0009] <수학식 1>

[0010] $5.0 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14.0$

발명의 효과

[0011] 본 발명의 강도와 연성의 조합 및 내공식성이 우수한 고질소 오스테나이트계 스테인리스강은 망간(Mn)과 질소(N)를 첨가함으로써 스테인리스강의 가격 상승과 가격 불안정을 가져오는 니켈(Ni) 함량을 5.0 중량% 이하로 낮추었고 이를 통해 생산재의 경제성 및 가격 안정을 도모할 수 있는 효과가 있다. 또한 0.5 중량% 이상의 높은 질소(N) 함량으로 인하여 안정한 오스테나이트 단상을 얻을 수 있고, 높은 강도와 연신율, 그리고 내공식성의

향상을 동시에 나타내는 특징이 있다. 나아가 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 오스테나이트 단상 기지조직 확보가 용이하며 강도×연성 값이 우수하고, 상용 AISI 316L 스테인리스강 이상의 내공식성을 가지는 효과가 있다.

[0012] 또한 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 기계적 특성 및 뛰어난 내공식성에 기초하여 기존의 오스테나이트계 스테인리스강 대체용 소재로 사용이 가능하며, 상용 오스테나이트계 스테인리스강의 적용분야에 더하여 고강도/고내공식성이 요구되는 해양구조물, 담수화설비, 운송기관용 소재 등에 적용할 수 있고 다양한 기능성 부품의 제조에 유용하게 사용될 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 오스테나이트 스테인리스강을 제조하는 공정을 나타낸 개략도이고;

도 2는 본 발명의 제조방법 중 질소함량조정단계를 더욱 세분화하여 나타낸 공정도이고;

도 3은 본 발명의 오스테나이트 스테인리스강의 내공식성을 측정한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0015] 본 발명은 17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강을 제공한다.

[0016] <수학식 1>

[0017] $5.0 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14.0$

[0018] 또한 본 발명은 17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 하기 수학식 2를 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강을 제공한다.

[0019] <수학식 2>

[0020] $30.0 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 30 \times N - Mn \leq 45.0$

[0021] 나아가 본 발명은 17.0~19.0 중량%의 크롬(Cr)과, 11.0~21.0 중량%의 망간(Mn)과, 5.0 (중량%이하의 니켈(Ni)과, 2.5~3.5 중량%의 몰리브덴(Mo)과, 0.5~1.2 중량%의 질소(N)와, 잔부인 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물로서 0.03 중량% 이하의 탄소(C), 0.25 중량% 이하의 실리콘(Si)을 포함하되, 상기 수학식 1 및 2를 모두 만족하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강을 제공한다.

[0022] 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 상기 수학식 1을 만족함으로써 안정한 오스테나이트 상 확보가 용이하므로, 재료의 연성을 현저히 증가시키며 따라서 재료에 우수한 에코 성능지수 값을 나타내는 효과가 있다. 철강재료의 에코지수(Eco-index; 또는 에코성능지수, ecological index of performance)란 미래형 철강소재에 요구되는 여러 환경친화적(eco-friendly)인 특성 중 우수한 내구성(sustainability)을 정량화한 지수로서, 철강재료의 인장강도(MPa)와 연신율(가공성, %)을 곱한 값으로 정의된다. 또한 상기 수학식 1을 만족하는 본 발명의

오스테나이트계 스테인리스강은 안정한 오스테나이트 상이 형성되므로 높은 함량의 질소가 강재에 용이하게 고용되는 장점이 있다. 또한 상기 수학식 1을 만족하는 경우 오스테나이트 단상이 안정한 온도 영역이 확장되기 때문에 후속 열처리 및 가공 공정의 조업 가능 온도 구간을 확대하여 조업이 용이해질 수 있는 효과가 있다.

[0023] 한편 상기 수학식 2를 만족하는 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 상용 AISI 316L 오스테나이트계 스테인리스강 수준 이상의 내공식성을 나타낸다. 따라서 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 AISI 304, AISI 316 및 AISI 316L 스테인리스강 등 상용 오스테나이트 스테인리스강이 적용되는 부식환경에 범용 스테인리스강을 대체하여 적용할 수 있는 효과가 있다.

[0024] 이하에는 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강 내의 합금원소에 대하여 자세히 설명한다.

[0025] (1)크롬(Cr)

[0026] 크롬(Cr)은 페라이트 안정화 원소로써 스테인리스강에 내식성을 부여하는 필수적인 원소이다. 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강에서는 강재의 내식성을 확보하고 강재 내 질소(N)의 용해도를 상승시키기 위해 크롬(Cr)을 17.0 중량% 이상 첨가하였다. 그러나 크롬(Cr)이 과잉 첨가될 경우, 용탕의 응고 후에 과다한 델타 페라이트가 잔존하게 되고 열처리 과정에서 제 2 석출상의 생성을 촉진시키게 된다. 이러한 조직의 불균일성은 강재의 공식저항성을 감소시키므로 크롬(Cr)의 함량을 17.0~19.0 중량%로 제한하였다.

[0027] (2)망간(Mn)

[0028] 망간(Mn)은 경제적인 오스테나이트 안정화 원소이며 고가의 오스테나이트 안정화 원소인 니켈(Ni)을 대체하기 위한 목적으로 첨가된다. 또한 강재 내 질소(N)의 고용도를 증가시키기 때문에 결과적으로 재료의 강도를 증가시키는 효과를 가져 온다. 따라서 재료의 경제성과 질소(N) 고용도의 증가를 위하여 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강에서는 11.0 중량% 이상의 망간(Mn)을 첨가한다. 그러나 망간(Mn)이 과잉 첨가될 경우, 불순물 원소인 황(S)이나 산소(O)와 결합하여 망간황화물(MnS) 또는 망간산화물(MnO)의 비금속 개재물을 형성하는데, 이러한 비금속 개재물은 공식발생처로 작용하여 스테인리스강 모재의 공식저항성을 저하시키기 때문에 그 함량을 11.0~21.0 중량%로 제한하였다.

[0029] (3)니켈(Ni)

[0030] 니켈(Ni)은 대표적인 오스테나이트 안정화 원소이나 상기한 바와 같이 가격변동성이 크고 환경 및 인체에 유해한 원소이므로 가능한 한 첨가량을 제한하는 것이 바람직하다. 그러나 니켈(Ni)은 제조 합금의 열간 및 냉간가공성을 향상시키고, 높은 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 저항성과 산성용액에서의 우수한 내식성을 부여하며, 모재의 응고 과정 중에 델타 페라이트 형성을 억제하는 장점이 있으므로 니켈(Ni)의 첨가량은 5.0 중량% 이하로 제한하였다.

[0031] (4)질소(N)

[0032] 질소(N)는 강력한 오스테나이트 안정화 원소로써 망간(Mn)과 함께 니켈(Ni)을 효과적으로 대체한다. 또한 합금의 강도를 증가시키면서도 연성을 높은 수준으로 유지시키며, 내공식성을 크게 향상시킨다. 따라서 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강에서는 질소(N)을 0.5 중량% 이상 고용시켜서 강재에 우수한 강도-연성의 조합과 높은 수준의 내공식성을 부여한다. 그러나 과잉 첨가된 질소(N)가 질화물을 형성하는 것을 방지하고 발명재의 취화를 피하기 위해 질소(N)의 함량은 0.5~1.2 중량%로 제한하였다.

[0033] (5)몰리브덴(Mo)

[0034] 몰리브덴(Mo)은 페라이트상을 안정화하며 염화물(Cl^-) 용액 분위기에서 모재의 국부부식저항성을 현저히 향상시키는 장점을 가진다. 특히 합금에 질소(N)와 함께 첨가될 경우, 공식저항성 향상 효과를 더욱 강화하는 상승효과(synergy)를 나타내는 특징이 있다. 따라서 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강에서는 몰리브덴(Mo)을 2.5 중량% 이상 첨가하여 합금의 내공식성을 향상시킨다. 그러나 과잉 첨가될 경우 응고 후 잔존하는 델타 페라이트 분율을 증가시키며, 크롬(Cr)과 마찬가지로 유해한 제 2 상을 형성하여 물성 저하를 가져올 위험이 있다. 또한 몰리브덴(Mo)은 매우 고가의 합금원소이므로 발명재의 경제성 확보를 위해 그 함량을 3.5 중량%를 넘지 않도록 제한하였다.

[0035] (6) 탄소(C) 및 실리콘(Si)

[0036] 탄소(C)는 질소(N)와 원자 크기가 비슷한 침입형 원소로 오스테나이트 안정화 기능을 하며, 철강재의 강도를 향상시키는 장점이 있다. 그러나 탄소(C)는 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 결정립계에서 주로 석출하며, 형성된 탄화물 주위의 크롬-고갈영역 (Cr-depletion zone)은 공식부식의 발생처로 작용하는 문제점이 있다. 따라서 탄소(C)의 함량은 0.03 중량% 를 넘지 않도록 제한하였다.

[0037] 한편, 실리콘(Si)은 페라이트 형성원소이며 모재 중의 산소(O)와 쉽게 결합하는 특성을 가지므로 탈산제로 주로 사용된다. 그러나 과잉 첨가되면 인성과 관련된 기계적 특성을 크게 감소시키고, 금속간 화합물을 형성할 위험이 있다. 따라서 그 함량을 0.25 중량% 이하로 제한하였다.

[0038] 상기한 바와 같이, 본 발명의 주요 합금원소 중 크롬(Cr)과 몰리브덴(Mo)은 페라이트 안정화 원소이며 니켈(Ni)과 망간(Mn), 질소(N)는 오스테나이트 형성 원소로 작용한다. 각 합금원소의 페라이트 또는 오스테나이트 형성 능력은 대표적인 페라이트와 오스테나이트 형성원소인 크롬(Cr)과 니켈(Ni)의 형성능에 비교하여 정량화 할 수 있고, 각각 크롬-당량(Cr-equivalent, $Cr+1.5\times Mo$, 이하 Cr_{eq}로 표기.), 니켈-당량 (Ni-equivalent, $Ni+25\times N+0.5\times Mn$, 이하 $Ni_{eq.}$로 표기)로 규정한다. 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강에서는 안정한 오스테나이트 단상을 확보하고 우수한 연성을 부여하기 위하여, $Ni_{eq.}-Cr_{eq.}=Ni+25\times N+0.5\times Mn-Cr-1.5\times Mo$ 값이 5.0~14.0 범위 내에 존재하도록 합금 원소의 조합을 결정하였다.

[0039] 또한 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강이 높은 내공식성을 갖도록 스테인리스강의 공식저항성에 영향을 미치는 주요 합금원소의 함량으로부터 공식저항성을 정량화한 PREN (pitting resistance equivalent number=$Cr+3.3\times Mo+30\times N-Mn$) 값을 30.0 이상, 45.0 이하로 규정하였다.

[0040] 또한, 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 900 MPa 이상의 인장강도, 500 MPa 이상의 항복강도 및 50 % 이상의 균일연신율 값을 갖고, 인장강도와 균일연신율의 곱(product)이 50,000 MPa?% 이상인 우수한 에코 지수를 나타낸다. 또한 염화물(Cl^-) 용액에서 상용 AISI 300계 스테인리스에 비해 우수한 공식저항성을 나타내는 특징이 있다.

[0041] 상기 기계적 특징들은 기존의 상용 AISI 300 계 오스테나이트계 스테인리스강의 인장강도, 항복강도 및 연신율 값을 뛰어넘는 수치이며, 내공식성 또한 상용 스테인리스강보다 월등하므로 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강의 우수성을 입증한다.

[0042] 한편, 본 발명은 모합금을 진공용해로에 장입하는 모합금장입단계(단계 1);

[0043] 상기 단계 1에서 모합금이 장입된 진공용해로를 진공 상태로 유지하는 진공유지단계(단계 2);

[0044] 상기 단계 2의 진공용해로를 가열하여 모합금을 용융하는 모합금용융단계(단계 3);

[0045] 상기 단계 3의 진공용해로 내부에 질소가스를 주입하는 질소함량조정단계(단계 4);

[0046] 상기 단계 3에서 용융된 모합금을 교반하는 용융합금교반단계(단계 5);

[0047] 상기 단계 5에서 진공용해로 내부에서 교반된 용융합금을 출탕하여 주괴를 형성하는 주괴형성단계(단계 6);

[0048] 상기 단계 6에서 형성된 주괴를 열간 압연하는 단계(단계 7); 및

[0049] 상기 단계 7에서 열간 압연된 스테인리스강을 균질화 열처리 후 수냉하는 단계(단계 8)를 포함하는 것을 특징으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법을 제공한다.

[0050] 본 발명에 따른 상기 오스테나이트계 스테인리스강의 제조방법은, 전해철(Fe), Fe-50%Mn, Fe-60%Cr, Fe-58.8%Cr-6.6%N, 그리고 몰리브덴(Mo)의 모합금을 진공용해로에 장입하는 모합금장입단계(단계 1)와, 상기 모합금이 장입된 진공용해로를 진공 상태로 유지하는 진공유지단계(단계 2)와, 상기 진공용해로를 가열하여 모합금을 용융하는 모합금용융단계(단계 3)와, 상기 진공용해로 내부에 질소가스를 주입하는 질소함량조정단계(단계 4)와, 용융된 모합금을 교반하는 용융합금교반단계(단계 5)와, 상기 진공용해로 내부에서 교반된 용융합금을 출탕하여 주괴를 형성하는 주괴형성단계(단계 6)와, 형성된 주괴를 열간 압연하는 단계(단계 7)와, 열간 압연된 합금을 기계적 특성 및 내식성에 유해한 질화물의 석출을 억제하기 위하여 균질화열처리 후 수냉처리 하는 단계(단계 8)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0051] 이때, 상기 단계 2의 진공유지단계는, 진공용해로 내부가 10^{-3} torr 이하의 진공도를 갖도록 하는 과정임을 특징으로 한다.

[0052] 또한 상기 단계 4의 질소함량조정단계는, 상기 진공용해로 내부로 질소 가스를 주입하는 질소주입과정과, 상기 진공용해로 내부의 질소분압을 2~5 기압으로 조정하는 압력조정과정으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0053] 본 발명의 상기 제조방법에 따라 인장강도 900 MPa 이상, 항복강도 500 MPa 이상, 연신율 50 % 이상을 나타내는 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강을 제조할 수 있으며, 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 인장강도와 연성의 조합인 에코 지수 (인장강도×연신율)값이 50,000 MPa?%이상, 나아가 AISI 316L 스테인리스강 이상의 공식저항성을 나타내는 특징이 있다.

[0054] 이하, 실시예 및 실험예를 통해 본 발명을 상세히 설명한다.

[0055] 단, 하기의 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0056] <실시예 1>

[0057] 본 발명에 따른 오스테나이트계 스테인리스강의 제조에 있어서, 융점이 높아 용해가 어려운 크롬(Cr)은 Fe-60%Cr 모합금을 이용하고, 증기압이 낮아 용해 시 연무(fume) 생성 및 편석의 우려가 있는 망간(Mn)은 Fe-50%Mn 모합금을 사용하였다.

[0058] 단계 1: 하기 표 1에서 실시예 1에 해당하는 성분비에 따라 상기 Fe-50%Mn, Fe-60%Cr, 전해철(Fe), 질소(N) 함량 제어를 위한 Fe-58.8%Cr-6.6%N 모합금 및 몰리브덴(Mo) 모합금을 진공용해로 내부에 장입하였다.

[0059] 단계 2: 상기 단계 1의 진공용해로 내부가 10^{-3} torr 이하의 진공도에 도달할 때까지 탈기한 후, 진공을 유지시켰다.

[0060] 단계 3: 상기 단계 2의 진공용해로를 1600 ℃ 이상의 온도로 가열하여 진공용해로에 장입된 모합금 및 전해철을 용융시켰다.

[0061] 단계 4: 상기 단계 3에서 모합금 및 전해철이 용융된 진공용해로 내부에 질소가스를 주입하였다. 그리고 진공용해로 내부 질소분압이 2 기압이 되도록 압력을 조정하여 목표 질소함량을 달성하였다.

[0062] 단계 5: 상기 단계 4의 질소함량 조절 후, 전자기 유도 교반을 통해 합금원소 편석을 제거하기 위하여 상기 단계 5에서 질소함량이 조정된 용융합금을 교반하였다.

[0063] 단계 6 : 상기 단계 5의 교반을 통해 형성된 용탕의 온도가 1,450 ℃가 되면 진공용해로 내부에서 출탕하여 주괴를 형성하였다.

[0064] 단계 7 : 상기 단계 6에서 형성된 주괴를 열간 압연을 통하여 판재나 관, 봉, 세선 등으로 제조하였다.

[0065] 단계 8 : 기계적 특성, 내공식성에 유해한 질화물의 석출을 억제하기 위하여 상기 단계 7에서 제조된 판재나 관, 봉, 세선 등을 균질화 열처리 후 수냉하여 오스테나이트계 스테인리스강을 제조하였다.

[0066] <실시예 2~6>

[0067] 상기 실시예 1의 단계 1에 있어 하기 표 1에서 실시예 2 내지 실시예 6에 해당하는 성분비에 따라 상기 모합금의 조성을 설정한 것과 실시예 1의 단계 4에 있어 질소분압을 표 1에 나타낸 압력으로 설정한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 제조 과정을 거쳐 실시예 2 내지 실시예 6의 오스테나이트 스테인리스강을 제조하였다.

[0068] <비교예 1~3>

[0069] 상용 오스테나이트계 스테인리스강인 AISI 304 (UNS S30400), AISI 316 (UNS S31600) 및 AISI 316L (UNS S31603)을 각각 비교예 1, 비교예 2 및 비교예 3으로 사용하였다.

표 1

[0070]

	크롬 (Cr) (중량 %)	니켈 (Ni) (중량 %)	망간 (Mn) (중량 %)	몰리브덴 (Mo) (중량 %)	탄소 (C) (중량 %)	질소 (N) (중량 %)	실리콘 (Si) (중량 %)	질소 분압 (기압)	수학식1	수학식 2
실시예 1	17.74	0.15	19.04	3.32	0.03	0.87	0.2	2	8.7	35.8
실시예 2	17.76	0.14	19.06	3.31	0.03	1.07	0.23	5	13.7	41.7
실시예 3	17.73	1.42	17.26	3.18	0.02	0.73	0.2	2	5.8	32.9
실시예 4	17.81	1.15	17.31	3.3	0.03	1	0.2	5	12.0	41.4
실시예 5	17.51	4.89	13.38	3.09	0.03	0.63	0.23	2	5.2	33.2
실시예 6	17.9	4.89	13.21	3.09	0.03	0.93	0.24	5	12.2	42.8
비교예 1	18.0-20.0	8-12	2.00 max.	-	0.08 max.	0.10 max.	0.75 max.	-	-7.5	19.4
비교예 2	16.5-18.5	10-13	2.00 max.	2.0-2.5	0.08 max.	0.050 max.	1.00 max.	-	-5.6	26.0
비교예 3	16.0-18.0	10-14	2.00 max.	2.0-2.5	0.030 max.	0.050 max.	1.00 max.	-	-5.5	26.0

[0071] 수학식 1 : $5.0 \leq Ni + 25 \times N + 0.5 \times Mn - Cr - 1.5 \times Mo \leq 14.0$

[0072] 수학식 2 : $30.0 \leq Cr + 3.3 \times Mo + 30 \times N - Mn \leq 45.0$

[0073] <실험예 1> 기계적 특성 측정

[0074] 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인리스강 및 비교예 1 내지 3의 상용화된 제품의 인장강도, 항복강도 및 연신율을 인장시험기(model: Instron 5882)를 이용하여 측정하였고, 그 결과는 하기 표 2에 나타내었다.

[0075] 하기 표 2에 나타낸 바와 같이, 비교예 1 내지 3의 상용 오스테나이트계 스테인리스강은 항복강도 170~205 MPa, 그리고 인장강도 485~515 MPa를 나타내는 반면, 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인리스강은 항복강도 531.6~723.9 MPa, 인장강도 930.6~1154.2 MPa를 나타내어 비교예보다 월등히 우수한 강도를 가지는 것으로 확인되었다. 또한 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인리스강의 연신율은 50 % 이상으로 상용 오스테나이트 강재에 비하여 우수한 것을 알 수 있었다. 나아가 합금의 내구성을 나타내는 지표인 에코 지수(인장강도와 연신율의 곱)는 상용 스테인리스강인 비교예 3종의 경우 약 20,000 MPa?%인 것에 비해 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인리스강의 에코 지수는 50,000 MPa?% 이상을 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강은 상용 오스테나이트계 스테인리스강보다 니켈(Ni)의 함량을 저감하였음에도 불구하고 강도와 연신율이 높고, 강도와 연신율의 조합이 우수한 것을 알 수 있다.

표 2

[0076]

	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)	에코 지수 (MPa?%)
실시예 1	1082.1	678.3	53.4	57784.1
실시예 2	1144.9	723.9	53.2	60908.7
실시예 3	1005.0	588.2	57.7	57988.5
실시예 4	1154.2	722.4	50.6	58402.5
실시예 5	930.6	531.6	56.8	52858.1
실시예 6	1063.4	651.7	51.1	54339.7
비교예 1	515	205	40	20600
비교예 2	515	205	40	20600
비교예 3	485	170	40	19400

[0077] <실험예 2>내공식성 측정

[0078] 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조되는 오스테나이트계 스테인리스강 및 비교예 1 내지 3의 상용화된 합금의 내공식성을 측정하기 위하여 실시예와 비교예의 합금 시편을 50 °C 의 2 M NaCl 용액에 침지하고 전위주사속도 (dV/dt) 1 mV/s로 전위를 증가시키면서 양극분극거동을 관찰하였고 분극시험 결과를 도 3에 나타내었다. 그리고 분극시험 중 각 합금의 공식이 발생한 전위(pitting potential, E_{pit})을 표 3 에 나타내었다.

[0079] 하기 도 3 및 표 3에 나타낸 바와 같이, 비교예 1 내지 3의 합금은 0.106~0.218 V_{SCE}에서 공식이 발생한 반면 본 발명의 실시예 1 내지 6에 의해 제조된 오스테나이트계 스테인리스강의 경우 0.291 V_{SCE}이상에서 0.571 V_{SCE}까지, 비교예보다 높은 전위 범위에서 공식이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 본 발명의 오스테나이트계 스테인리스강이 우수한 내공식성을 가지는 것을 확인하였다.

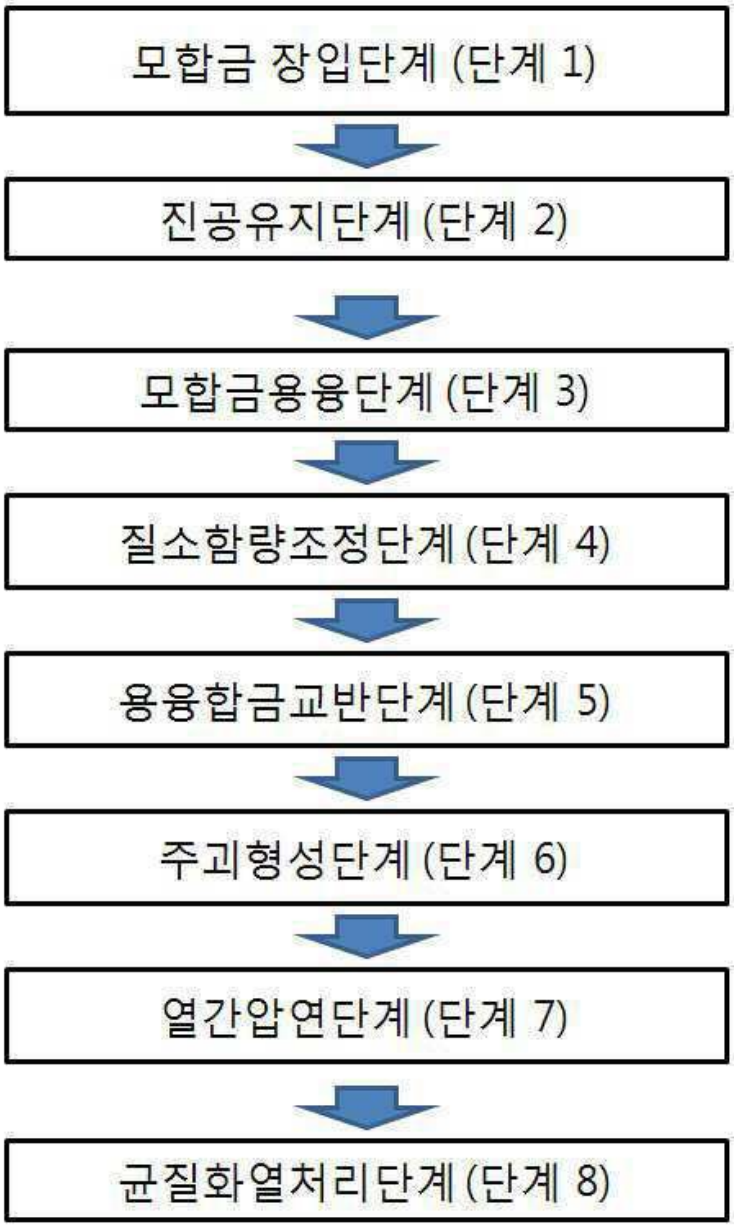
표 3

[0080]

	공식전위 (E_{pit}, V_{SCE})
실시예 1	0.291
실시예 2	0.345
실시예 3	0.538
실시예 4	0.571
실시예 5	0.552
실시예 6	0.449
비교예 1	0.106
비교예 2	0.153
비교예 3	0.218

도면

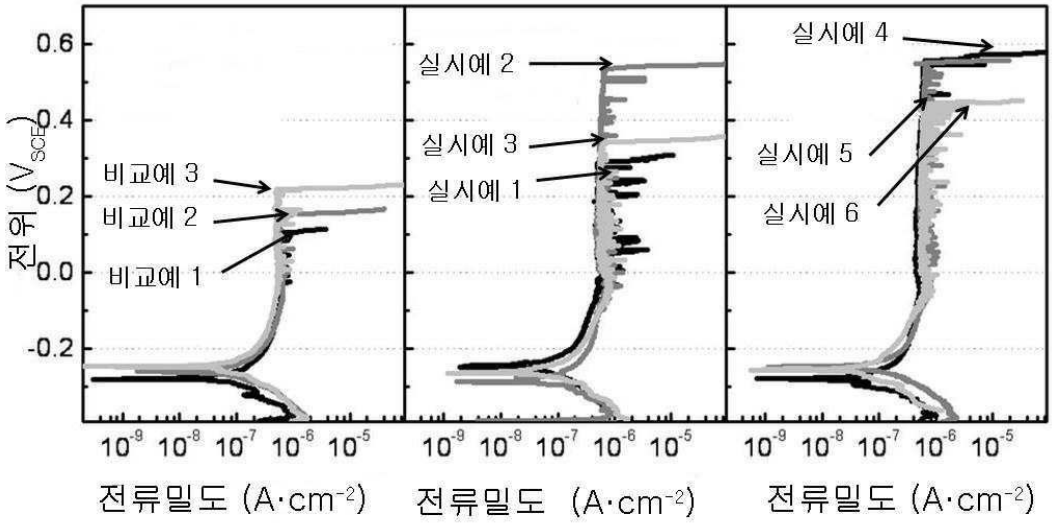
도면1



도면2


질소주입단계
압력조정단계

도면3


0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
전위 (V SCE)
비교예 3
비교예 2
비교예 1
실시예 2
실시예 3
실시예 1
실시예 4
실시예 5
실시예 6
10-9 10-8 10-7 10-6 10-5
전류밀도 (A·cm-2)
전류밀도 (A·cm-2)
전류밀도 (A·cm-2)