



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2018년04월03일  
 (11) 등록번호 10-1844573  
 (24) 등록일자 2018년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 C22C 38/58 (2006.01) C21D 7/13 (2006.01)  
 C21D 8/02 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)  
 C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 C22C 38/58 (2013.01)  
 C21D 7/13 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2016-0151172  
 (22) 출원일자 2016년11월14일  
 심사청구일자 2016년11월14일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2009035782 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 주식회사 포스코  
 경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)  
 (72) 발명자  
 채동철  
 경상북도 포항시 남구 지곡로 319 (지곡동, 그린빌라) 304-506  
 조규진  
 경상북도 포항시 남구 연일읍 유강길10번길 49 (유강 코아루 1단지) 102동 604호  
 (74) 대리인  
 특허법인세림

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 조현정

(54) 발명의 명칭 **열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법**

**(57) 요약**

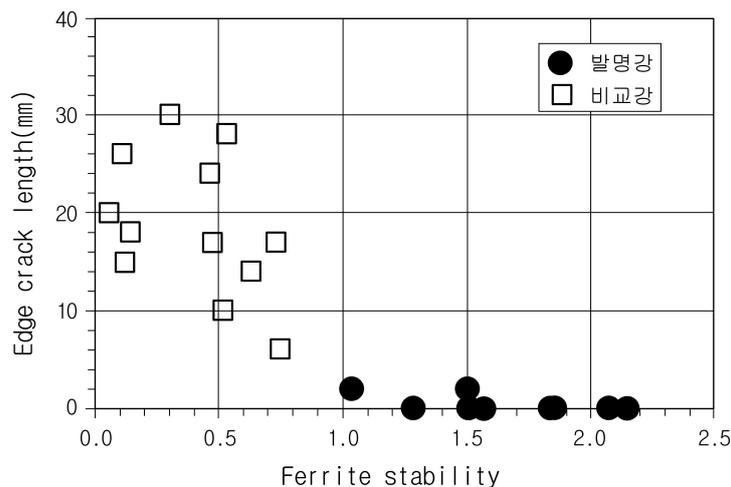
망간(Mn)의 함량이 높더라도 열간압연 시 에지크랙 발생을 저감시켜 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법이 개시된다.

본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은, 중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 이상이며, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족한다.

(1)  $-8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$

(2)  $3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류

*C21D 8/0236* (2013.01)

*C22C 38/02* (2013.01)

*C22C 38/42* (2013.01)

*C22C 38/44* (2013.01)

*C21D 2211/001* (2013.01)

*C21D 2211/005* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3.91 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고,

하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 내지 2.2 범위를 만족하며,

하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족하는 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강:

$$(1) \quad -8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$$

$$(2) \quad 3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$$

여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 스테인리스강은 부피분율로, 55% 이상의 페라이트 상을 포함하는 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 스테인리스강은 30% 이상의 연신율을 가지는 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 5**

중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3.91 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 내지 2.2 범위를 만족하고, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족하는 슬라브를 열간압연 및 소둔 열처리하는 단계를 포함하는 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 제조방법:

$$(1) \quad -8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$$

$$(2) \quad 3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$$

여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 소둔 열처리 후에 냉간압연하는 단계를 더 포함하고,

60%의 냉간 압하율에서 상기 스테인리스강의 항복강도는 1,200MPa 이하인 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 제조방법.

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 듀플렉스 스테인리스강에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 망간을 고함유하는 듀플렉스 스테인리스강에 있어서 열간압연 시 에지크랙 발생을 저감시켜 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 일반적으로 스테인리스강은 오스테나이트계, 페라이트계, 마르텐사이트계 또는 듀플렉스계로 분류된다. 페라이트계 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 가격이 저렴하고 표면광택, 드로잉성 및 내산화성이 양호하여 주방용품, 건축 외장재, 가전제품, 전자부품 등에 널리 사용되고 있다. 한편, 가공성과 내식성이 양호한 오스테나이트계 스테인리스강은 철(Fe)을 소지금속으로 하여 크롬(Cr), 니켈(Ni)을 주요한 원료로 함유하고 있으며, 몰리브덴(Mo) 및 구리(Cu) 등의 기타 원소들을 첨가하여 각종 용도에 맞도록 다양한 강종으로 개발되고 있다.

[0003] 내식성 및 가공성이 우수한 304계, 316계 스테인리스강은 고가의 원료인 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo) 등을 포함하고 있는바, 이에 대한 대체 방안으로 200계 및 400계 스테인리스강이 논의되기도 하였으나, 200계 및 400계 스테인리스강은 각각 성형성 및 내식성이 300계 스테인리스강에 미치지 못한다는 문제점이 있었다. 이에, 오스테나이트 상과 페라이트 상이 혼합되어 오스테나이트계 및 페라이트계의 장점을 모두 가지는 듀플렉스 스테인리스강이 개발되어 왔다. 최근 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo)과 같은 고가의 합금원소 함량이 낮은 린 합금(lean alloy)을 개발하는 시도가 증대되어, 듀플렉스 스테인리스강 또한 이러한 추세에 있다.

[0004] 한편, 듀플렉스 스테인리스강은 열간가공성이 열위하여 열간압연 시 에지크랙 발생에 민감한 것으로 알려져 있다. 특히 니켈(Ni) 함량을 저감하고 망간(Mn)의 함량을 높인 린 듀플렉스(lean duplex) 강 경우 이러한 열간가공성 문제가 발생하게 된다.

[0005] 기술논문 'Nickel-free duplex stainless steels'(Scripta Materialia, vol.40, No.1, pp.123-129, 1999)은 고가의 니켈(Ni)을 망간(Mn)과 질소(N)로 대체한 저렴한 듀플렉스 스테인리스강에 관한 것으로, 망간(Mn)과 질소(N)의 영향으로 열간가공성이 낮아진다고 보고하였다. 낮은 니켈(Ni) 함량을 갖는 듀플렉스 스테인리스강에 대한 특허인 한국 공개특허공보 제10-2006-0074400호는 망간(Mn)의 함량이 과도하면 망간(Mn)이 강 중의 황(S)과 반응하여 열간가공성을 저하시키므로, 망간(Mn)의 상한을 4.5중량%로 한정하고 있다.

[0006] 또한, 한국 공개특허공보 제10-2009-0005252호는 낮은 니켈(Ni) 함량과 높은 질소(N) 함량을 특징으로 하는 오스테나이트-페라이트계 스테인리스강에 관한 것으로, 오스테나이트 상의 안정도를 제어하여 고강도 특성을 보유하면서도 연신율이 높게 유지되도록 린 듀플렉스(lean duplex) 스테인리스강을 조성하는 것을 특징으로 한다. 이 문헌에서는 망간(Mn) 함량이 과도하면 열간가공성이 열위해지므로 바람직한 망간의 상한을 7중량%로 한정하고 있다.

[0007] 기술논문 'Controlling duplex steel edge crack'(Lei Bao et. al., Stainless Steel World, January/February, pp.1~3, 2015)은 열간압연 공정을 통한 판재 제조공정에서의 에지크랙 발생현상을 연구하여, 열간압연을 1,000℃ 이상의 고온에서 마쳐야 에지크랙 발생을 저감시킬 수 있다고 보고하였다.

[0008] 반면에, 한국 공개특허공보 제10-2002-0083493호는 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)을 함유한 듀플렉스강에서 망간(Mn)의 함량의 증대는 열간가공성을 향상시키는 것으로 개시되어 있다.

[0009] 이처럼, 한국 공개특허공보 제10-2002-0083493호를 제외하면, 대부분의 문헌자료에서 망간(Mn) 함량이 증가하면 열간가공성이 저하되는 것으로 여겨진다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0010] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2002-0083493호 (2002.11.02. 공개)
- (특허문헌 0002) 한국 공개특허공보 제10-2006-0074400호 (2006.07.03. 공개)

(특허문헌 0003) 한국 공개특허공보 제10-2009-0005252호 (2009.01.12. 공개)

**비특허문헌**

- [0011] (비특허문헌 0001) 기술논문 'Nickel-free duplex stainless steels'(Scripta Materialia, vol.40, No.1, pp.123-129, 1999)
- (비특허문헌 0002) 기술논문 'Controlling duplex steel edge crack'(Lei Bao et. al., Stainless Steel World, January/February, pp.1~3, 2015)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0012] 본 발명은 고가의 니켈(Ni)을 저렴한 망간(Mn)으로 대체하여 조성한 경제적인 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 관한 것으로, 망간(Mn)의 함량이 높더라도 열간가공성이 우수하여 열간압연 시 에지크랙 발생이 억제된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강은 중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 이상이며, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족한다.

[0014] (1)  $-8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$

[0015] (2)  $3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$

[0016] 여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.

[0017] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 페라이트 안정도 값은 1.0 내지 2.2의 범위를 만족할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 스테인리스강은 부피분율로, 55% 이상의 페라이트 상을 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 스테인리스강은 30% 이상의 연신율을 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법은 중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 내지 2.2 범위를 만족하고, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족하는 슬라브를 열간압연 및 소둔 열처리하는 단계를 포함한다.

[0021] (1)  $-8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$

[0022] (2)  $3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$

[0023] 여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 소둔 열처리 후에 냉간압연하는 단계를 더 포함하고, 60%의 냉간 압하율에서 상기 스테인리스강의 항복강도는 1,200MPa 이하일 수 있다.

**발명의 효과**

- [0025] 본 발명의 실시예에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 성분계 중 고가 원소인 니켈(Ni)을 저렴한 망간(Mn)으로 대체하여 제조원가를 절감할 수 있으며, 망간(Mn)의 함량이 높더라도 에지크랙의 발생이 없는 열연판재 제조가 가능하여 높은 수율을 얻을 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 듀플렉스 스테인리스강 제조방법은 냉간압연을 위해 요구되는 압연하중이 작아 냉간압연 공정이 용이할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 발명강과 비교강의 페라이트 안정도와 에지크랙 길이를 나타내는 도면이다.  
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 발명강 7의 에지를 촬영한 사진이다.  
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 비교강 5의 에지를 촬영한 사진이다.  
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 발명강 7과 비교강 12의 냉간압하율에 따른 항복강도 변화를 나타내는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0028] 이하에서는 본 발명의 실시예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 이하의 실시예는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상을 충분히 전달하기 위해 제시하는 것이다. 본 발명은 여기서 제시한 실시예만으로 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 도면은 본 발명을 명확히 하기 위해 설명과 관계 없는 부분의 도시를 생략하고, 이해를 돕기 위해 구성요소의 크기를 다소 과장하여 표현할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강은, 중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함한다.

[0030] 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강에 포함되는 각 성분의 역할 및 그 함량에 대하여 설명하면 다음과 같다.

[0031] 탄소(C)의 함량은 0.01중량% 이상 0.1중량% 이하이다.

[0032] 탄소(C)는 오스테나이트 상 형성 원소로 니켈(Ni) 등과 같은 고가의 원소를 대신하여 사용될 수 있으며, 고용 강화에 의한 재료 강도 증가에 유효한 원소이다. 하지만, 과다 첨가하는 경우 소재 제조 시 중심부에 편석 및 조대한 탄화물을 형성하여 후공정인 열간압연 - 열연소둔 - 냉간압연 - 냉연소둔 공정에 악영향을 끼치고, 페라이트-오스테나이트 상 경계에서 내식성에 유효한 크롬(Cr)과 같은 탄화물 형성원소와 쉽게 결합하여 결정립계 주위의 크롬(Cr) 함량을 낮추어 내부식 저항성을 감소시키기 때문에, 내식성을 극대화하기 위해서는 0.01 내지 0.1중량%의 범위로 제한하는 것이 바람직하다.

[0033] 실리콘(Si)의 함량은 0.2중량% 이상 1.0중량% 이하이다.

[0034] 실리콘(Si)은 탈산 효과를 위하여 일부 첨가되며, 페라이트 상 형성원소로 소둔 열처리 시 페라이트에 농화되는 원소이다. 실리콘(Si)은 적절한 페라이트 상 분율 확보를 위하여 0.2중량% 이상 첨가하여야 한다. 그러나, 1.0 중량% 초과인 과다한 첨가는 페라이트 상의 경도를 급격히 증가시켜서 연신율을 저하시키며, 제강 시 슬래그 유동성을 저하시키고, 산소(O)와 결합하여 개재물을 형성하여 내식성을 저하시킨다. 따라서, 실리콘(Si)의 함량은 0.2 내지 1.0중량%의 범위로 제한하는 것이 바람직하다.

[0035] 망간(Mn)의 함량은 3중량% 이상 10중량% 이하이다.

[0036] 망간(Mn)은 용탕 유동도 조절, 탈산제 및 질소 고용도를 증가시키는 원소이며, 오스테나이트 상 형성원소로 고가의 니켈(Ni)을 대체하여 첨가된다. 망간(Mn)이 3중량% 미만인 경우, 니켈(Ni)과 같은 고가의 원소를 대체할 수 있는 경제적인 이점이 크지 않다. 반면에, 망간(Mn)이 10% 초과인 경우, 내식성 확보가 어려워진다. 따라서, 망간(Mn)의 함량은 3 내지 10중량%의 범위로 제한하는 것이 바람직하다.

[0037] 특히 후술할 식 (1)에 의하면, 망간(Mn)은 열간가공성을 좌우하는 페라이트 안정도(Ferrite Stability)를 낮추는 인자이기는 하지만, 다른 오스테나이트 상 형성원소들인 탄소(C), 니켈(Ni), 구리(Cu) 및 질소(N)에 비하여 영향도가 작음을 알 수 있다. 따라서, 본 발명에서 망간(Mn)의 상한을 10중량%로 제한한 것은 열간가공성의 열화를 방지하기 위함이 아니며, 내식성의 저하를 방지하기 위한 목적이다.

[0038] 크롬(Cr)의 함량은 19중량% 이상 23중량% 이하이다.

[0039] 크롬(Cr)은 실리콘(Si)과 함께 페라이트 상 안정화 원소로서, 페라이트 상 확보에 주된 역할을 할 뿐만 아니라

내식성 확보를 위하여 필수적으로 첨가되는 원소이다. 크롬(Cr)의 함량을 증가시키면 내식성이 증가하지만, 상분을 유지를 위하여 고가의 니켈(Ni)이나 기타 오스테나이트 상 형성원소의 함량을 증가시켜야 한다. 따라서, 크롬(Cr)의 함량은 19 내지 23중량%의 범위로 제한하는 것이 바람직하다.

- [0040] 질소(N)의 함량은 0.1중량% 이상 0.25중량% 이하이다.
- [0041] 질소(N)는 탄소(C), 니켈(Ni)과 함께 오스테나이트 상의 안정화에 크게 기여하는 원소로, 소둔 열처리 시 오스테나이트 상에 농화가 발생하는 원소 중의 하나이다. 질소(N)의 함량을 증가시키면 부수적으로 내식성 증가 및 고강도화를 꾀할 수 있다. 그러나 질소(N) 함량이 과도하면, 주조 시 질소 고용도 초과에 의한 질소 포어(Nitrogen Pore)가 발생하여 표면 결함 유발로 강의 안정된 제조가 어렵게 된다. 따라서, 질소(N)의 함량은 0.1 내지 0.25중량%의 범위로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0042] 니켈(Ni)의 함량은 0 이상 1.0중량% 이하이다.
- [0043] 니켈(Ni)은 망간(Mn), 구리(Cu) 및 질소(N)와 함께 오스테나이트 상 안정화 원소로, 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트 상 확보에 주된 역할을 한다. 그러나, 원가절감을 위하여는 가격이 비싼 니켈(Ni) 함량을 최대한 감소시키는 대신에 다른 오스테나이트 상 형성원소인 망간(Mn)과 질소(N)를 증가시켜 니켈(Ni)의 저감에 의한 상분율 균형을 충분히 유지할 수 있다. 고가인 니켈(Ni)로 인한 제품의 제조 비용이 상승되는 것을 방지하기 위해서는 첨가하지 않거나, 상한을 1.0중량% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0044] 구리(Cu)의 함량은 0 이상 1.0중량% 이하이다.
- [0045] 구리(Cu)는 가공 유기 마르텐사이트 상의 생성에 기인하는 가공 경화를 억제하고, 오스테나이트계 스테인레스강의 연질화에 기여하는 원소이다. 그러나 가격이 비싼 구리(Cu)로 인해 제품의 제조 비용이 상승되는 것을 방지하기 위해 첨가하지 않거나, 상한을 1.0중량% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0046] 몰리브덴(Mo)의 함량은 0 이상 1.0중량% 이하이다.
- [0047] 몰리브덴(Mo)은 크롬(Cr)과 함께 페라이트를 안정화하면서 내식성 개선에 매우 유효한 원소이다. 그러나 가격이 매우 비싼 몰리브덴(Mo)으로 인해 제품의 제조 비용이 상승되는 것을 방지하기 위해 이를 첨가하지 않거나, 상한을 1.0중량% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0048] 본 발명의 일 실시예에 따른 듀플렉스 스테인리스강은, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 내지 2.2 범위를 만족하며, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족한다.
- [0049] (1)  $-8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$
- [0050] (2)  $3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$
- [0051] 여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.
- [0052] 일반적으로, 듀플렉스 스테인리스강에서 망간(Mn)의 함량이 증가하면 열간가공성이 저하되는 것으로 알려져 있다. 그러나 망간(Mn)의 함량이 높더라도 열간가공성이 우수한 강들이 확인되었고, 고망간 함유 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성에 미치는 미세조직 특성에 대한 상세히 연구한 결과, 에지크랙의 발생은 급냉된 열간압연 판재에서 측정된 페라이트 상의 분율에 의해 확연히 구분됨을 알 수 있었다.
- [0053] 상기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도(Ferrite Stability)는 급냉된 열간압연 판재에서 측정된 페라이트 상의 안정도를 나타내는 지수로, 그 값이 높으면 열간압연 종료시점에서 소재의 페라이트 상의 분율이 높음을 의미한다. 또한, 상기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도(Austenite Stability)는 급냉된 열간압연 판재에서 측정된 오스테나이트 상의 안정도를 나타내는 지수로, 그 값이 높으면 열간압연 종료시점에서 소재의 오스테나이트 상의 분율이 높음을 의미한다.
- [0054] 상기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 이상인 경우 에지크랙이 발생하지 않거나 매우 적게 발생하여 열간가공성이 매우 우수하나, 1.0 미만으로 작아지면 열간가공성의 열화가 급격히 진행되어 에지크랙이 발생하므로, 열간가공성을 확보하기 위해서는 페라이트 안정도 값이 1.0 이상이어야 한다.
- [0055] 상기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 이상인 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 부피분율로 55% 이상의 페라이트 상을 포함할 수 있다.
- [0056] 본 발명에서는 페라이트 안정도 값의 상한을 2.2로 설정하였으나, 상한 값은 열간가공 특성의 변화를 의미하지

않으며, 단지 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강의 성분범위에 의하여 부여된 값이다.

[0057] 또한, 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은, 상기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 동시에 만족시켜야 우수한 열간가공성 확보가 가능하다.

[0058] 본 발명은 열간가공성이 우수한 페라이트-오스테나이트계 2상 스테인리스강에 관한 것으로서, 본 발명에서 언급되는 페라이트-오스테나이트계 조직이란 페라이트 상과 오스테나이트 상이 대부분의 조직을 차지하는 것을 의미하고, 스테인리스강이 페라이트 상과 오스테나이트 상으로만 형성되는 것을 의미하지 않는다. 예를 들어, 페라이트 상과 오스테나이트 상이 대부분의 조직을 차지한다는 것은 스테인리스강을 형성하는 조직 중 페라이트 상과 오스테나이트 상의 합이 90% 이상을 차지한다는 의미이고, 페라이트 상과 오스테나이트 상을 제외한 나머지는 오스테나이트 상이 변태된 마르텐사이트 상이 차지할 수 있다.

[0059] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 30% 이상의 연신율을 가질 수 있다.

[0060] 본 발명의 일 실시예에 따른 열간가공성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법은, 중량%로, C: 0.01 내지 0.1%, Si: 0.2 내지 1.0%, Mn: 3 내지 10%, Cr: 19 내지 23%, N: 0.1 내지 0.25%, Ni: 1.0% 이하, Cu: 1.0% 이하, Mo: 1.0% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)로 표현되는 페라이트 안정도 값이 1.0 내지 2.2 범위를 만족하고, 하기 식 (2)로 표현되는 오스테나이트 안정도 값이 0.5 내지 1.0 범위를 만족하는 슬라브를 열간압연 및 소둔 열처리하는 단계를 포함한다.

[0061] (1)  $-8.09-8.05C+1.37Si-0.10Mn+0.56Cr-0.58Ni-0.20Cu-10.43N+0.69Mo$

[0062] (2)  $3.35+2.11C-0.36Si+0.03Mn-0.15Cr+0.15Ni+0.05Cu+2.74N-0.18Mo$

[0063] 여기서, C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, N, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.

[0064] 상기 성분계, 페라이트 안정도 및 오스테나이트 안정도 범위를 만족하는 성분 조정된 스테인리스강을 통상의 제조방법에 따라, 슬라브의 재가열, 열간압연, 열연소둔, 냉간압연, 냉연소둔, 산세 등의 공정을 거쳐 냉연강관을 제조할 수 있다.

[0065] 예를 들어, 슬라브는 통상의 방법으로 후판 압연할 수 있으며, 열연강관은 두께가 3 내지 20mm 일 수 있다. 예를 들어, 열연강관은 1,000 내지 1,300℃ 범위에서 1 내지 60분 동안 소둔 열처리될 수 있다. 바람직하게는, 상기 열연강관은 1,050 내지 1,150℃의 온도에서 소둔 열처리될 수 있다.

[0066] 이후, 열연강관은 통상의 방법으로 냉간압연할 수 있으며, 냉연강관은 두께가 0.1 내지 5mm 일 수 있다. 예를 들어, 상기 냉연강관은 1,000 내지 1,300℃의 온도에서 10초 내지 60분 동안 소둔 열처리될 수 있다. 바람직하게는, 상기 냉연강관은 1,050 내지 1,150℃의 온도에서 소둔 열처리될 수 있다.

[0068] 이하 바람직한 실시예를 통해 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0069] 발명강 및 비교강

[0070] 하기 표 1의 각 발명강들 및 비교강들에 따른 성분계를 포함하도록 각각 진공유도 용해로에서 140mm두께의 50kg 잉곳(ingot)의 형태로 주조하였다. 주조된 잉곳은 1,250℃의 가열로에서 3시간 숙열과정을 거친 후, 판폭 200mm, 두께 3mm로 열간압연하였으며, 열간압연 직후의 미세조직 상태를 조사하기 위하여 열간압연 직후 상온의 물을 이용하여 급냉하였다.

[0071] 이렇게 급냉된 열간압연판에 대하여 에지크랙의 크기를 측정하였다. 에지크랙은 열간압연판 에지로부터 폭 중앙 부로의 수직한 깊이로 그 길이를 측정하였으며, 에지크랙의 크기가 가장 큰 5개의 깊이를 측정하여 평균값을 구하였다.

**표 1**

[0072]

구분	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N	Mo	페라이트 안정도	오스테나이트 안정도
발명강 1	0.016	0.41	5.84	20.00	0.1	0.1	0.184	0.1	1.03	0.91
발명강 2	0.017	0.43	5.91	20.10	0.7	0.5	0.184	1.0	1.29	0.84
발명강 3	0.021	0.41	6.09	21.00	0.1	0.1	0.180	0.1	1.56	0.77
발명강 4	0.099	0.44	5.00	21.00	0.1	0.1	0.107	0.1	1.85	0.69
발명강 5	0.064	0.71	5.12	21.10	0.1	0.1	0.199	0.8	2.06	0.63
발명강 6	0.099	0.39	5.90	21.20	0.1	0.1	0.104	0.1	1.83	0.70

발명강 7	0.049	0.38	5.99	21.26	0.1	0.1	0.197	0.1	1.27	0.84
발명강 8	0.097	0.37	3.91	21.30	0.1	0.1	0.105	0.1	2.06	0.63
발명강 9	0.070	0.49	6.05	21.59	0.1	0.1	0.191	0.1	1.50	0.78
발명강 10	0.049	0.25	5.98	22.18	0.5	0.1	0.185	0.1	1.51	0.78
발명강 11	0.014	0.40	6.01	22.20	0.1	0.1	0.194	0.1	2.14	0.61
비교강 1	0.067	0.48	5.84	19.01	0.1	0.1	0.186	0.1	0.14	1.15
비교강 2	0.071	0.51	7.19	19.06	0.1	0.1	0.185	0.1	0.05	1.18
비교강 3	0.018	0.40	5.99	19.10	0.1	0.1	0.186	0.1	0.46	1.07
비교강 4	0.048	0.36	6.06	19.10	0.1	0.1	0.190	0.1	0.11	1.16
비교강 5	0.075	0.53	4.80	19.12	0.1	0.2	0.185	0.1	0.30	1.10
비교강 6	0.097	0.57	9.29	19.97	0.2	0.1	0.191	0.1	0.10	1.17
비교강 7	0.049	0.38	6.09	20.00	0.1	0.1	0.191	0.1	0.62	1.02
비교강 8	0.095	0.55	7.04	20.02	0.1	0.1	0.179	0.1	0.52	1.05
비교강 9	0.099	0.55	7.99	20.11	0.1	0.1	0.173	0.1	0.51	1.06
비교강 10	0.071	0.48	5.99	20.11	0.2	0.1	0.177	0.1	0.74	0.99
비교강 11	0.072	0.50	7.05	20.17	0.1	0.1	0.204	0.1	0.46	1.06
비교강 12	0.069	0.49	4.79	20.17	0.1	0.1	0.202	0.1	0.72	0.99

[0074] 표 1에는 상기 식 (1)에 의해 계산된 페라이트 안정도 값과 상기 식 (2)에 의해 계산된 오스테나이트 안정도 값을 각각 표기하였다. 또한, 표 1의 페라이트 안정도 값과 함께 상기 측정된 열간압연판의 에지크랙 평균값을 도 1에 나타내었다.

[0075] 도 1을 참조하면, 페라이트 안정도 값이 1.0보다 작은 범위에서는, 페라이트 안정도 값이 작아질수록 에지크랙 크기가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 반면, 페라이트 안정도 값이 1.0보다 큰 범위에서는, 그 값에 상관없이 에지크랙의 발생이 상당히 억제된 것을 알 수 있었다.

[0076] 도 2 및 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 발명강 7 및 비교강 5의 에지를 촬영한 사진으로, 발명강과 비교강의 에지크랙 길이의 차이를 보여주고 있다.

[0077] 이어서, 상기 열간압연되고 상온으로 냉각된 열연판에 대하여 1,100℃의 온도에서 1분간 열연소둔을 실시하였으며, 산세 후 1.0mm의 두께까지 각각 냉간압연되었다. 냉간압연판은 1,100℃의 온도에서 30초간 냉연소둔되었으며, 산세를 거쳐 듀플렉스 스테인리스 냉연강판 시편을 제조하였다.

[0078] 하기 표 2는 발명강 및 비교강들에 대한 인장시험 결과를 나타낸다. 인장시험은 1.0mm 두께의 냉연소둔판으로부터 압연방향과 수직하게 표점거리(gage length) 50mm, 폭 12.5mm의 시편을 채취하여, 분당 20mm의 인장속도로 상온 인장시험을 실시하였다. 시편별로 각각 5회의 인장시험을 실시한 후 그 결과를 하기 표 2에 표기하였다.

[0079] 또한, 1.0mm 두께의 냉연소둔판에 대하여 페라이트스코프(Ferritescope)를 사용하여 페라이트 분율을 측정하였다. 페라이트스코프는 소재의 자성을 활용하여 페라이트 상의 분율을 측정하는 기기이며, Fisher社의 “Ferritescope MP30”을 사용하여 페라이트 분율을 측정하였다.

표 2

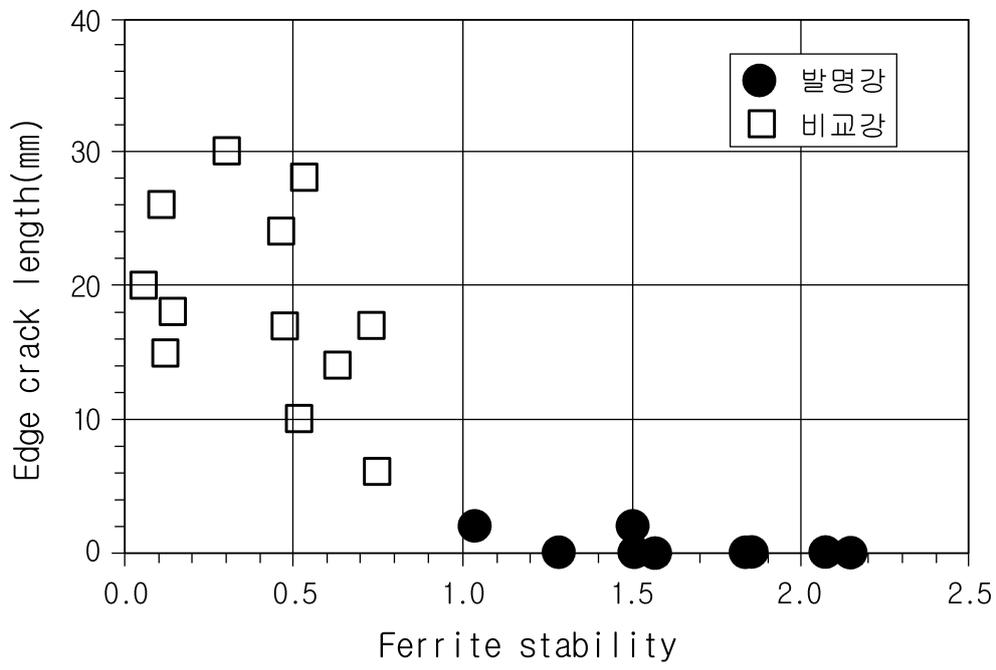
구분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	냉연소둔판 페라이트 분율 (%)	60% 냉간압하율 항복강도 (MPa)
발명강 1	439.7	694.3	46.5	57	1,196
발명강 2	446.8	707.1	34.1	59	1,102
발명강 3	428.2	675.0	33.8	61	1,017
발명강 4	420.2	683.4	32.8	60	1,072
발명강 5	455.5	715.3	36.2	58	1,123
발명강 6	411.0	677.0	33.4	61	1,103
발명강 7	461.0	708.0	34.9	55	1,025
발명강 8	406.7	673.2	31.8	59	1,130
발명강 9	509.1	749.4	41.1	58	1,175
발명강 10	428.0	675.2	32.6	62	1,009
발명강 11	403.4	648.7	31.5	71	980
비교강 1	544.3	1,085.2	47.8	34	-

비교강 2	549.5	1,002.4	50.1	33	-
비교강 3	478.5	844.6	33.5	43	-
비교강 4	481.4	888.1	33.9	42	1,421
비교강 5	530.9	1,123.4	47.8	35	-
비교강 6	467.9	738.0	50.1	35	-
비교강 7	481.0	759.1	42.8	52	1,398
비교강 8	458.8	735.3	52.1	38	-
비교강 9	459.1	727.3	49.1	39	-
비교강 10	528.4	871.5	53.8	45	-
비교강 11	554.9	847.6	52.1	41	-
비교강 12	520.4	871.9	54.1	44	1,334

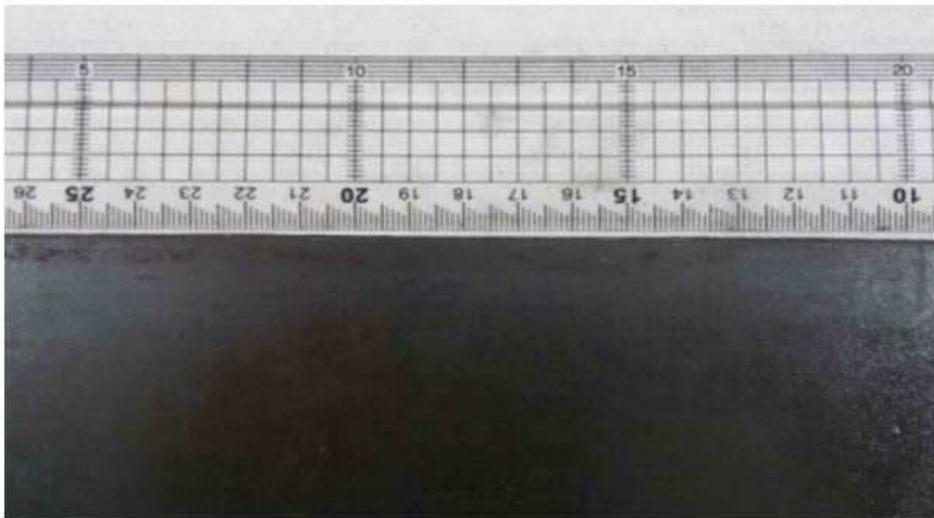
- [0082] 표 2를 참조하면, 발명강들의 냉연소둔판 페라이트 분율은 55 내지 71%인 반면, 비교강들의 페라이트 분율은 33 내지 52% 범위임을 알 수 있다. 따라서, 표 1 및 표 2로부터 페라이트 안정도 값이 높은 발명강들이 비교강들에 비하여 냉연소둔 상태에서도 높은 페라이트 분율을 가지는 것을 유추할 수 있었다.
- [0083] 한편, 표 2에는 냉간압하율(reduction ratio) 60%에서의 항복강도 값이 표기되어 있다. 이는 발명강들의 냉간압연 용이성을 평가하기 위하여, 열연소둔 산세판에 대하여 냉간압하율을 달리하여 냉간압연을 실시한 후 소둔하지 않은 그대로의 상태에서 인장시편을 채취하여 항복강도(YS)를 측정하였다. 이 때 인장시험은 압연방향과 수직하게 표점거리(gage length) 50mm, 폭 12.5mm의 시편을 채취하여, 분당 20mm의 인장속도로 실시하였다. 시편 별로 각각 5회의 인장시험을 실시하였다.
- [0084] 표 2를 참조하면, 발명강들은 비교강들에 비하여 냉간압하율 60%에서의 항복강도가 낮음을 알 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 발명강들은 냉간압연 시, 비교강들에 비하여 냉간압연을 위해 요구되는 압연하중이 작아, 냉간압연 작업이 용이한 제조상의 큰 장점을 가짐을 알 수 있다.
- [0085] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 발명강 7과 비교강 12의 냉간압하율에 따른 항복강도 변화를 나타내는 도면이다.
- [0086] 도 4를 참조하면, 냉간압하율 20%까지의 범위에서 냉간압하율에 따른 항복강도의 변화 경향은 발명강과 비교강이 유사하나, 냉간압하율 약 40% 이상의 범위에서는 냉간압하율에 따른 소재의 경화특성에 확인한 차이가 있음을 알 수 있다.
- [0087] 상술한 바에 있어서, 본 발명의 예시적인 실시예들을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 다음에 기재하는 청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변경 및 변형이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

도면

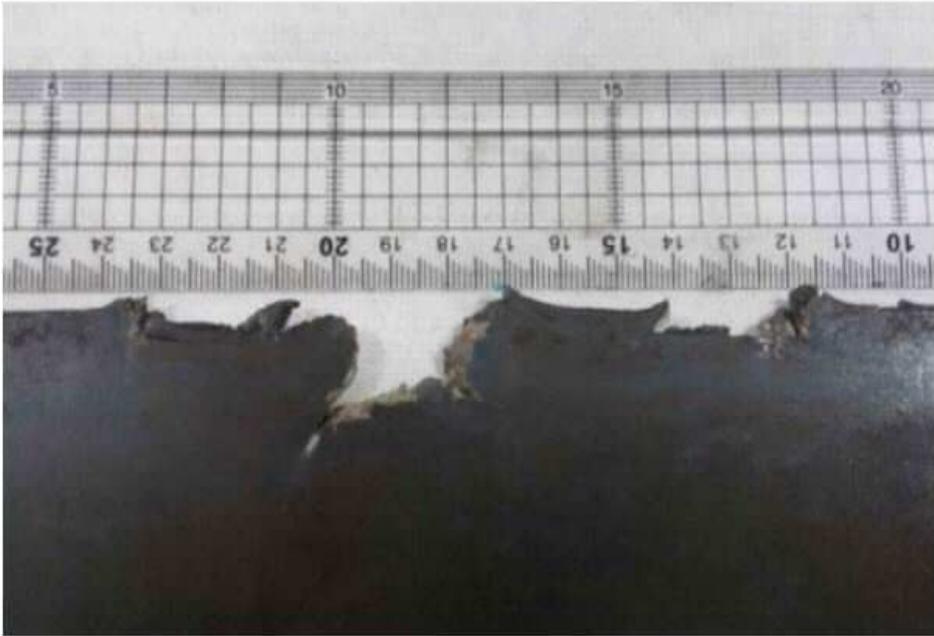
도면1



도면2



도면3



도면4

