



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0034349
(43) 공개일자 2013년04월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/40 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0098320
(22) 출원일자 2011년09월28일
심사청구일자 2011년09월28일

(71) 출원인
주식회사 포스코
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)
(72) 발명자
김지수
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261, 주 포스코 (괴동동)
안상근
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261, 주 포스코 (괴동동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
신영무

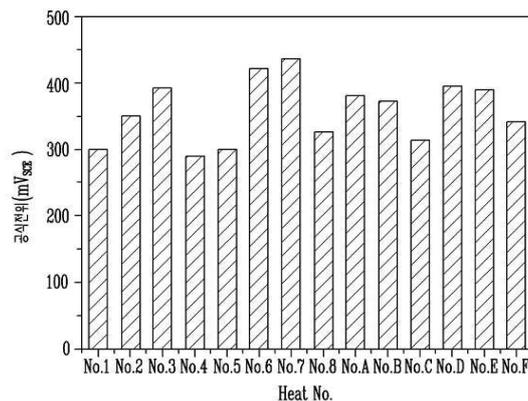
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강

(57) 요약

본 발명은 담수설비, 펄프 및 제지 산업설비, 화학설비, 건축설비를 포함하는 산업설비 등에 사용되는 저합금 듀플렉스 스테인리스강으로서, 중량%로, C: 0 초과 0.06% 이하, Si: 0 초과 1.5% 이하, Mn: 0 초과 2% 이하, Cr: 19~23%, Ni: 1.8~3.5%, Mo 0.5~1.0%, Cu: 0.3~1.0%, N: 0.16~0.30%를 함유하고, Al: 0.003~0.05%, B: 0.001~0.005%, Ca: 0.001~0.01%의 1종 이상을 더 포함하되, 상기 스테인리스강의 소강 0의 함유량이 0.01% 이하로 제한되며, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김봉운

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261, 주 포스코
(괴동동)

김광태

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261, 주 포스코
(괴동동)

특허청구의 범위

청구항 1

중량%로, C: 0 초과 0.06% 이하, Si: 0 초과 1.5% 이하, Mn: 0 초과 2% 이하, Cr: 19~23%, Ni: 1.8~3.5%, Mo 0.5~1.0%, Cu: 0.3~1.0%, N: 0.16~0.30%를 함유하고, Al: 0.003~0.05%, B: 0.001~0.005%, Ca: 0.001~0.01%의 1종 이상을 더 포함하되, 상기 스테인리스강의 소강 0의 함유량이 0.01% 이하로 제한되며, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Ni은 중량%로 2~3%인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 B는 중량%로 0.0025~0.0035%인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 Ca는 중량%로 0.001~0.0035%인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 B+Ca는 중량%로 0.0035~0.006%인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 스테인리스강의 조성 중 하기 (1)식에 의한 Creq 값은 22.5~23.5이고, 하기 (2)식에 의한 Nieq의 값은 9.5~11인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

$$[\text{Cr}] + [\text{Mo}] + 1.5[\text{Si}] \text{ --- (1)}$$

$$[\text{Ni}] + 30([\text{C}] + [\text{N}]) + 0.5([\text{Mn}] + [\text{Cu}]) \text{ --- (2)}$$

청구항 7

제 1항에 있어서,

하기 식(3)에 의하여 계산되는 열간가공성 지수가 75이상인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

$$-195 + 10.2 \text{ Creq} + 1.19 \text{ Nieq} + 822[\text{Al}] + 1297 (\text{B}+\text{Ca}) \text{ --- (3)}$$

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 오스테나이트상의 부피분율을 40 ~ 60%, 페라이트상의 부피분율을 40 ~ 60%의 범위인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 오스테나이트상과 페라이트상의 2상 조직을 갖는 듀플렉스 스테인리스강에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 듀플렉스 스테인리스강 중에서 Ni, Mo 등의 고가의 합금원소의 함량을 낮추고 내식성과 열간가공성을 개선한 저합금 듀플렉스 또는 린 듀플렉스(Lean duplex) 스테인리스강에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 가공성과 내식성이 양호하다고 알려지고 있는 오스테나이트계 스테인리스강은 철(Fe)을 소지금속으로 하여 Cr, Ni를 주원료로 함유하고 있으며, Mo 및 Cu 등의 기타 원소들을 첨가시켜 각종 용도에 맞는 다양한 강종으로 개발되고 있다. 오스테나이트계 스테인리스강은 내식성 및 내공식성이 우수한 강종으로서, 저탄소 이면서 중량%로 8% 이상의 Ni 성분을 함유하고 있다. 그러나 Ni 성분의 경우 가격 상승에 따른 원가의 변동폭이 커서 가격 경쟁력이 떨어진다는 문제점이 있다. 따라서 이를 보완하기 위해서 Ni 함량을 낮추면서 오스테나이트계 스테인리스강과 동등 이상의 내식성을 보할 수 있는 듀플렉스 스테인리스강에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

[0003] 이와 같은 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트상과 페라이트상이 각각 35 ~ 65%의 분율을 가지는 스테인리스강으로서, 종래의 오스테나이트계 스테인리스강에 비하여 동등한 내식성을 확보하면서 Ni 함량이 적어 경제적이며, 고강도의 확보가 용이하여 내식성을 요하는 담수설비, 펄프, 제지, 화학설비 등의 산업설비용 강재로 각광을 받고 있다. 또한 최근에는 듀플렉스 스테인리스강 중에서도 Ni 및 Mo 등의 고가의 합금원소를 배제하고 이들 원소를 대신하여 저원가의 합금원소를 첨가하여 낮은 합금 비용의 장점을 더욱 증대시킨 저합금 듀플렉스 스테인리스강에 대한 관심이 증대되고 있다. 이와 같은 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 보통 저합금 듀플렉스(Lean duplex) 스테인리스강으로 칭하고 있다. 이하에서는 저합금 듀플렉스와 린 듀플렉스가 동일한 의미를 갖는 것으로 해석한다.

[0004] 그러나 이와 같은 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우, Ni 및 Mo를 저감하였을 경우에 Ni 및 Mo 저감에 따른 오스테나이트상과 페라이트상의 균형을 제어하여 우수한 내식성을 확보하는 것이 중요한 과제이고, 또한 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 판재를 제조시 발생할 수 있는 결함 등을 억제할 수 있는 열간가공성의 향상이 또한 중요한 과제이다. 일반적으로 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 기존 듀플렉스 스테인리스강과 대비하여 낮은 Cr, Mo, Ni 성분으로 인하여 내식성이 감소하게 된다. 뿐만 아니라, 상기 합금 원소들의 저감으로 페라이트상과 오스테나이트상의 안정성이 감소하여 각 상의 균형을 맞추기 어려울 뿐만 아니라, 소둔 열처리 온도에 따른 상분율의 변화가 급격하여 적정한 내식성 수준을 확보하기가 어렵다. 또한, 용접을 했을 경우에는 용접 열영향부(HAZ) 부분의 내식성 저하를 가져올 수 있기 때문에 모재의 내식성을 충분히 확보하는 것이 중요하다.

[0005] 또한, 듀플렉스 스테인리스강은 페라이트상과 오스테나이트상으로 이루어진 미세조직적 특성에 기인하여 열간 변형 시, 판재의 표면 및 가장자리 부분에 결함이 발생하게 되며, 이러한 결함 발생 경향은 합금원소가 저감된 저합금 듀플렉스 스테인리스강으로 갈수록 심해지게 된다. 통상적으로 듀플렉스 스테인리스강에서 열간가공성이 가장 취약한 온도는 900℃인 것으로 여러 실험을 통해서 알려져 있으며, 저합금 듀플렉스 스테인리스강종은 800 ~ 900℃ 영역의 저온 영역에서 열간가공성이 취약하다. 그리고 소재를 열간 압연할 때, 롤이 소재의 표면에 접촉했을 경우 낮은 온도의 롤과 접촉에 의해 상기 온도 영역으로 소재의 표면 온도가 낮아지게 되므로, 소재의 표면 및 가장자리에서 결함 발생이 쉬워지게 된다. 따라서 상기 온도 영역의 열간가공성을 향상시키는 것이 필요하다.

[0006] 이상과 같은 이유들로 인하여 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 합금 비용이 상당히 저가임에도 불구하고, 내식성이 그다지 문제가 되지 않는 용도에 한정하여 사용하고 있으므로, 기존의 오스테나이트계 스테인리스강의 대체로서 널리 사용하기에는 한계가 있다. 또한 열악한 열간가공성에 의해 판재의 생산시에도 열간 압연 판재의 온도 확보가 용이한 스테켈 밀(Steckel mill)을 이용하여 생산을 하기 때문에, 일반 텐덤 밀(Tandem mill) 제조와 대비하여 비용과 생산성 측면에서 불리한 점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 저합금 또는 린 듀플렉스 스테인리스강에서 Cr, Mo, Ni 성분의 함량을 낮추되, 모재 내식성이 오스테나이트계 스테인리스강 중에서 스테인리스 304 또는 304L 강 대비 동등 이상의 적정 내식성을 확보할 수

있는 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공하는 것이다.

[0008] 또한, 본 발명의 목적은 저합금 또는 린 듀플렉스 스테인리스강의 판재 제조시 판재 귀터짐 결함 및 표면 선상 흠 결함을 억제할 수 있는 우수한 열간가공성을 확보할 수 있는 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 먼저 중량%로, C: 0 초과 0.06% 이하, Si: 0 초과 1.5% 이하, Mn: 0 초과 2% 이하, Cr: 19~23%, Ni: 1.8~3.5%, Mo 0.5~1.0%, Cu: 0.3~1.0%, N: 0.16~0.30%를 함유하고, Al: 0.003~0.05%, B: 0.001~0.005%, Ca: 0.001~0.01%의 1종 이상을 더 포함하되, 상기 스테인리스강의 소강 0의 함유량이 0.01% 이하로 제한되며, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공한다.

[0010] 본 발명에서 상기 Ni은 중량%로 2~3%가 바람직하다.

[0011] 또한, 본 발명에서 상기 B는 중량%로 0.0025~0.0035%인 것이 바람직하다.

[0012] 또한, 본 발명에서 상기 Ca는 중량%로 0.001~0.0035%인 것이 바람직하다.

[0013] 또한, 본 발명에서 상기 B+Ca는 중량%로 0.0035~0.006%인 것이 바람직하다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 스테인리스강의 조성 중 하기 (1)식에 의한 Creq 값은 22.5~23.5이고, 하기 (2)식에 의한 Nieq의 값은 9.5~11인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공한다.

[0015] $[Cr] + [Mo] + 1.5[Si] \text{ --- (1)}$

[0016] $[Ni] + 30([C] + [N]) + 0.5([Mn] + [Cu]) \text{ --- (2)}$

[0017] 또한, 본 발명은 하기 식(3)에 의하여 계산되는 열간가공성 지수가 75이상인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공한다.

[0018] $-195 + 10.2 Creq + 1.19 Nieq + 822[Al] + 1297 (B+Ca) \text{ --- (3)}$

[0019] 본 발명은 또한, 상기 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 오스테나이트상의 부피분율을 40 ~ 60%, 페라이트상의 부피분율을 40 ~ 60%의 범위인 내식성 및 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 의하면 오스테나이트계 스테인리스강인 스테인리스 304 또는 304L 강 대비 동등 이상의 적정 내식성을 확보할 수 있는 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 얻을 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명은 열간가공성이 우수한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제조하여 판재 제조시 판재 귀터짐 결함 및 표면 선상흠 결함을 억제할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 임계공식온도 (CPT)를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 열간가공성 지수에 미치는 Al 및 0의 영향을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 열간가공성 지수에 미치는 B, Ca의 영향을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 살펴보기로 한다. 상기한 본 발명의 목적, 특징 및 효과는 첨부된 도면과 관련된 실시예들을 통해서 용이하게 이해될 것이다. 다만, 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다양한 형태로 응용되어 변형될 수도 있다. 오히려, 아래의 실시예들은 본 발명에 의해 개시된 기술 사상을 보다 명확히 하고 나아가 본 발명이 속하는 분야에서 평균적인 지식을 가진 당업자에게 본 발명의 기술 사상이 충분히 전달될 수 있도록 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명의 특허청구범위가 아래에서 상

술하는 실시예들로 인해 한정되는 것으로 해석되어서는 안 될 것이다.

[0024] 이하에서는 먼저 종래의 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 일반적으로 나타날 수 있는 특성을 항목을 구분하여 설명하기로 한다.

[0025] 1. 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 상 안정도

[0026] 종래에 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 일본 특허 공개 소61-56267호 및 국제 공개 WO 2002/27056호 및 WO 96/18751호등에 개시되어 있다. 그 중, 일본 공개 특허 소61-56267호 및 국제 공개 WO 2002/27056호에 개시된 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 ASTM A240으로 규격화되어 있으며, 전자는 S32304 (대표성분 23Cr-4Ni-0.13N), 후자는 S32101 (대표성분 21Cr-1.5Ni-5Mn-0.22N)에 대응한다. 상기의 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 야금학적으로 페라이트상과 오스테나이트상이 공존하는 미세조직을 가지지만, 각 상을 안정화시키는 Cr, Mo, Ni 등의 합금원소가 저감되면서 각 상의 안정성이 감소된다. 한편 또 다른 저합금 듀플렉스 스테인리스강으로서 미국 공개 특허 US 2003/0172999호에 개시된 스테인리스강의 경우 미세조직은 쉐플러 다이어그램(Schaeffler diagram) 상에서 오스테나이트상과 페라이트상이 공존하는 영역에 존재하지만, 일반적인 듀플렉스 스테인리스강의 경우와는 달리 오스테나이트상과 마르텐사이트상이 공존하는 영역에 가까워지게 된다. 따라서 변형시 미세조직 내에서 상변태가 일어나기 쉬우며, 적절한 합금원소를 첨가하여 상 간의 균형을 유지하도록 하는 것이 필요하다.

[0027] 2. 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경제성

[0028] 한편, 상온에서 오스테나이트상과 페라이트상의 혼합 조직을 갖는 듀플렉스 스테인리스강의 대표적인 강종 중 하나로서 S32205 듀플렉스 스테인리스강이 알려져 있다. 이 강종은 고내식성 확보를 위해 다량의 Cr, Mo 및 N 성분을 함유하고 있으며, 상분율 확보를 위해 중량%로 5% 이상의 Ni 성분을 함유하고 있다.

[0029] 또한 한국 공개 특허 2006-0074400호에 개시되었고, ASTM A240으로 규격화된 강종은 S81921강의 경우 Ni 및 Mo의 함량이 각각 중량%로 2.5, 2.4%로 고가의 합금원소를 포함하고 있다. 이들 듀플렉스 스테인리스강은 특정 적용 부분에서는 요구되는 내식성보다 월등한 내식성을 제공하고 있으나, 고가의 Ni, Mo를 다량 함유하여 경제적인 측면에서는 타당하지 않은 면이 존재한다.

[0030] 3. 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성

[0031] 또한 듀플렉스 스테인리스강은 페라이트상과 오스테나이트상이 공존하는 2상 조직 강으로서, 고온에서 열간 변형 시에 페라이트상과 오스테나이트상의 결정구조학적 차이에 의해 페라이트상이 주로 변형됨에 따라 페라이트/오스테나이트상간 계면에서 열간 변형에 의한 크랙이 발생하기 쉽다. 뿐만 아니라, 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우에는 페라이트 안정화 원소인 Mo 원소가 저감됨에 따라 페라이트상의 고용강화 효과가 약화되며, 오스테나이트 안정화 원소인 Ni 대신 N 함량을 높임으로써 오스테나이트를 안정화시키고, 그에 따른 오스테나이트상의 강도가 증가하기 때문에, 결과적으로 페라이트/오스테나이트상 간의 강도차이가 심해지게 된다. 이러한 미세조직적 특성으로 인해 저합금 듀플렉스 스테인리스강은 열간 압연 시 다량의 에지 및 표면 크랙이 발생하게 되며, 그에 따른 생산성 하락의 문제를 야기하게 된다.

[0032] 듀플렉스 스테인리스강의 열악한 열간가공성 문제에 대응하기 위하여, 미국 공개 특허 US 2004/0050463에는 질량 %로 C: 0.1% 이하, Si: 0.05 ~ 2.2%, Mn: 2.1 ~ 7.8%, Cr: 20 ~ 29%, Ni: 3.0 ~ 9.5%, N: 0.08 ~ 0.5%, Mo: 5.0% 이하, W: 1.2 ~ 8.0%를 포함하고 나머지는 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 이루어진 스테인리스강이 개시되어 있다. 상기 발명에서는 열간가공성을 저해하는 Cu의 함량을 제한하고, Mn 함량 증가에 의한 열간가공성 향상을 개시하였으나, Mn 함량 증가에 미세조직 내 MnS 형성에 의한 내식성 저하가 우려되며, 고 Mn 성분에 의한 용접 특성 저하가 예상된다.

[0033] 또한 일본 공개 특허 JP2005-271307에는 질량 %로 C: 0.03% 이하, Si: 0.1 ~ 2.0%, Mn: 0.1 ~ 2.0%, Cr: 20 ~ 30%, Ni: 1.0 ~ 11.0%, Cu: 0.05 ~ 3.0%, Nd: 0.005 ~ 0.5%, sol. Al: 0.001 ~ 0.1%, N: 0.1 ~ 0.5%, 및 Mo: 0.5 ~ 6.0% 및 W: 1.0 ~ 10.0% 중 1종 또는 2종을 함유하고, 나머지는 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 이루어지며, 불순물 중 P: 0.05% 이하, S: 0.03% 이하로 이루어진 듀플렉스 스테인리스강이 개시되어 있다. 상기 발명은 특허 희토류 원소인 Nd를 사용하여 페라이트/오스테나이트 입계에 편석이 되는 P를 안정화함으로써 열간가공성

이 향상되었다고 보고하고 있다. 그러나 일반적인 듀플렉스 정련 공정에서도 고가의 희토류 원소인 Nd를 사용하지 않아도 0.05% 이하의 P 함량을 얻을 수 있으며, P는 입계에 편석이 되기는 하지만 상온에서 취성을 야기하는 원소로 알려져 있어, 고온에서의 열간가공성 향상에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 예상된다.

[0034]

4. 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 내식성

[0035]

저합금 듀플렉스 스테인리스에 관한 국제 공개 특허 WO 2002/27056호에 개시된 스테인리스강(S32101)의 경우 Mn의 함량이 질량%로 3% ~ 8%를 함유하고 있다. Ni 함량이 저감됨에 따라 오스테나이트상의 안정성이 감소하게 되는데, 오스테나이트상의 안정성을 보상하기 위해 다량의 질소를 첨가하게 된다. 그런데, 강종의 질소 고용도가 낮을 경우, 생산 시 질소 가스 발생에 의한 기공으로 소재의 열간가공성이 저하되는 우려가 발생하는데, Mn을 첨가하면 질소의 고용도가 증가하여 오스테나이트상의 안정성 확보 및 질소 가스에 기인한 기공을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 반면, Mn은 강 내부의 입계 편석 원소인 S와 결합하여 MnS 개재물을 형성하게 되고, 미세조직 내 석출한 MnS는 공식 (pitting)의 기점으로 작용하기 때문에 모재의 공식저항성을 낮추게 한다.

[0036]

본 발명자들은 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 이와 같은 Mn의 역할에 주목하였다. 상술한 바와 같이 MnS의 형성을 억제하기 위해서는 강 중에 존재하는 S의 함량을 10 ppm 이하의 극저 함량으로 관리하거나 Mn의 함량을 낮추어야 하는데, Mn 함량은 상술한 바와 같이 오스테나이트상의 안정성을 높이고, 질소의 고용도를 높이기 때문에 Ni 함량이 적은 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서는 Mn 함량을 완전히 배제하기는 어려운 상황이다. 뿐만 아니라 S의 함량을 극저 함량으로 관리하기 위해서는 제강 공정 단계에서 공정 부하가 심하므로, Mn 함량을 적절히 제어하여 MnS의 형성을 억제하면서도 모재의 공식저항성을 확보할 수 있는 합금 설계가 필요하다.

[0037]

또한, Mn 함량뿐만 아니라 Ca을 소량 첨가하여 안정한 CaS가 형성되어 S가 입계에 편석되는 것을 방지하고, MnS의 형성도 억제할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

[0038]

또한 다양한 환경에 사용될 수 있도록 모재의 용도를 확대하기 위해서는 모재의 공식저항성뿐만 아니라 일반적인 전면 부식저항성도 중요하므로, 전면 부식저항성을 확보하기 위하여 Cu 함량을 질량%로 0.3% ~ 1.0% 첨가하였다. Cu는 스테인리스 합금에 첨가되어 부동태 피막을 안정화 및 강화시키는 역할을 하여 상성 분위기 하에서 강재의 부식속도를 감소하는 작용을 가진 합금원소임에 착안하여 첨가하였다. 단, Cu를 다량 첨가 시에는 모재의 열간가공성을 저해하기 때문에 적절한 함량으로 첨가해야 한다.

[0039]

또한, 본 발명자들은 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 모재의 열간가공성과 관련하여, 합금원소들과 열간가공성 간의 상관성을 조사, 연구하였다. 특히 스테인리스강에 첨가되는 합금원소 중 Al은 O와 친화력이 큰 원소로서, 강력한 탈산제로서 작용을 하여 소강 O 함량을 낮추는 역할을 하게 된다. 그런데 강 중에 존재하는 O는 미세조직에 존재하는 페라이트/오스테나이트, 페라이트/페라이트, 오스테나이트/오스테나이트상의 입계에 편석을 함으로써, 입계의 청정도를 낮추게 되고, 입계 청정도 저하에 의해 입계의 강도가 낮아져 균열에 민감해지게 된다. 이에 따라 소재가 열간 변형 중에 입계에서 균열의 발생이 용이하게 되어, 결과적으로 소재의 열간가공성을 저해하게 된다. 일반적으로 입계에 편석이 되어 소재의 열간가공성을 저해하는 대표적인 불순물로서 S가 알려져 있으며, S의 함량을 저감하기 위하여 많은 연구 및 공정이 개발되어 적용되고 있다. 본 발명에서는 상술한 S의 영향을 억제하기 위하여 Ca 첨가에 의한 안정한 CaS 형성을 촉진하여 S가 입계에 편석이 되는 것을 억제하는 한편, Al을 소량 첨가하여 강 중에 존재하는 O의 함량을 질량 %로 0.01% 이하로 제한함으로써 O가 소재의 열간가공성에 미치는 영향을 최소화하고자 하였다. 이와 더불어 모재의 열간가공성 향상을 위해 B를 필수적으로 첨가하였다. B은 입계를 강화시켜 소재의 열간가공성을 향상시키나, 다량 함유될 경우 연속 주조에 악영향을 미치므로 적정 함량으로 첨가하는 것이 중요하다.

[0040]

또한, 본 발명자들은, 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성이 양호한지의 여부를 판별하는 방법으로서, 합금원소를 고려한 열간가공성 지수를 발견하였다. 여러 실험 결과와 문헌을 통해 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성 평가 시 단면감소율 (RA, Reduction of Area)은 900℃ 에서 가장 낮은 값을 가지며, 본 발명에서 900℃의 RA 값이 75 이상일 경우 열간압연 시 쿨터짐 현상이 현저히 감소하는 것을 발견하였다.

- [0041] 당해 열간가공성 지수는 저합금 듀플렉스 스테인리스강에 포함되는 대표적인 합금원소인 C, Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Cu, 및 N 외에도 열간가공성을 향상시키기 위해 필수적으로 첨가되는 Al, Ca, 및 B의 함량으로 표현되며, 특히 Cr, Mo, Si 등 페라이트상을 안정화시키는 원소들은 Cr_{eq} 값으로 대표하였으며, C, Mn, Ni, Cu, N 등 오스테나이트상을 안정화시키는 원소들은 Ni_{eq} 값으로 대표하였다. 여러 차례의 실험에 의하여 열간가공성 지수 및 인자들은 다음과 같은 식으로 표현된다. 이하의 식에서 표시되는 합금원소는 질량% 값을 취한다.
- [0042] $Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5 \%Si$ ---- 식<1>
- [0043] $Ni_{eq} = \%Ni + 30 (\%C + \%N) + 0.5 (\%Mn + \%Cu)$ --- 식<2>
- [0044] $RA = -195 + 10.2 Cr_{eq} + 1.19 Ni_{eq} + 822 \%Al + 1297 (\%B + \%Ca)$ --- 식<3>
- [0045] 본 발명의 경우 먼저, 질량%로, C: 0 초과 0.06% 이하, Si: 0 초과 1.5% 이하, Mn: 0초과 2% 이하, Cr: 19 ~ 23%, Ni: 1.8 ~ 3.5%, Mo: 0.5 ~ 1.0%, N: 0.16 ~ 0.30%, Cu: 0.3 ~ 1.0%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유한다.
- [0046] 이와 같은 합금조성을 가지는 본 발명에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 합금 비용이 낮고 또한 모재의 공식저항성을 확보할 수 있고, 강재의 사용 용도 확대를 위한 전면 부식저항성도 확보할 수 있어 산업상 기여하는 바가 지극히 크다.
- [0047] 또한, 본 발명에서는 상기의 조성을 가지는 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 Al: 0.003 ~ 0.05%, B : 0.001 ~ 0.005%, Ca: 0.001 ~ 0.01%, 소강 0의 함유량이 0.01% 이하로 제한되도록 한다. 이와 같은 합금조성을 가질 경우에 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 생산 상의 고질적인 문제점인 열간가공성을 확보할 수 있다. 그 수단은, Al, B, Ca를 첨가함으로써 입계에 편석이 되는 불순물인 S, O의 함량을 감소시켜 입계의 청정도를 향상시키고, 이에 따라 입계가 강화되어 소재의 열간가공성이 향상되도록 하였다.
- [0048] 또한, 본 발명에서는 Cr_{eq} , Ni_{eq} 값과 단면감소율 RA를 제어하였다. 상기 (1) 식의 경우 그 값이 19.5~26.3의 범위로, (2)식의 경우 6.9~15.8 범위로 제어하도록 한다. 또한 단면감소율 RA의 경우 식(3)에 의하여 얻어지는 값이 75 이상이 되도록 제어한다.
- [0049] 즉 본 발명의 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우 소재에 첨가된 각 합금원소의 함량에 의해 Cr 및 Ni 당량을 지수화 할 수 있으며, 이들 합금원소가 열간가공성 지수에 미치는 영향을 종합적으로 고려함으로써 소재의 열간가공성을 정량적으로 판단할 수 있는 기준을 규정한 것이며, 본 발명에서는 900℃의 열간가공성 지수가 75 이상의 값을 가지는 우수한 열간가공성을 확보한 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 얻을 수 있다.
- [0050] 또한, 본 발명에서는 오스테나이트 상의 부피분율이 40 ~ 60%, 페라이트상의 부피분율이 40 ~ 60%인 것이 바람직하다.
- [0051] 다음은 본 발명의 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 조성범위 한정이유를 더욱 상세히 설명한다. 하기 성분에 대한 %는 질량 %를 의미한다.
- [0052] C : C는 고용강화에 의한 재료 강도 증가에 유효한 원소이나, 함량이 과다 시 페라이트-오스테나이트상 경계에서 내식성에 유효한 Cr과 같은 탄화물 형성 원소화 쉽게 결합하여 결정립계 주위의 Cr 함량을 낮추어 부식 저항성을 감소시키기 때문에 내식성을 극대화하기 위해서는 C의 함량을 0.06% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0053] Si : Si는 탈산 효과를 위하여 일부 첨가되나, 또한 페라이트 안정화 원소로도 작용하기 때문에 일부 첨가한다. 과다할 경우 충격인성과 관련된 기계적 특성을 저하시키므로 1.5% 이하로 제한한다.
- [0054] Mn : Mn은 용탕 유동도를 조절하기 위하여 약 1.5% 정도 함유하는 것이 일반적이나 고가의 Ni 대치용으로 함량을 증가시킬 수 있으며, 이 경우 부수적으로 열간가공성의 향상효과를 얻을 수 있다. 함량이 과다하면 강 중의 S와 결합하여 MnS를 형성하고 내식성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 열간가공성도 나빠지므로, Mn의 함량을 2% 이하로 제한한다.

- [0055] P : P는 입계나 상경계에 편석되어 내식성 및 인성을 저해할 수 있기 때문에 가능하면 낮게 관리함이 바람직하다. 따라서 정련 공정의 효율성을 위하여 0.03% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0056] S : S는 오스테나이트-페라이트상 계면에 편석 되어 열간가공성을 악화시키거나 MnS의 형성으로 내식성을 저하시키므로 가능하면 함량을 낮게 관리함이 바람직하므로 0.002% 이하로 관리하는 것이 바람직하다.
- [0057] Cr : Cr은 Mo와 함께 페라이트 안정화 원소로 duplex 스테인리스강의 페라이트상 확보에 주된 역할을 할 뿐만 아니라, 내식성 확보를 위한 필수 원소이다. 함량을 증가시키면 내식성이 증가하나 상분을 유지하기 위하여 고가의 Ni 함량도 비례적으로 증가 되어야 하므로, 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 상분율을 유지하면서 적절한 내식 수준을 확보하기 위해서 Cr의 함량을 19 ~ 23%로 제한한다.
- [0058] Ni : Ni은 Mn 및 N와 함께 오스테나이트 안정화 원소로 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트상의 상분을 확보에 주된 역할을 한다. 원가절감을 위하여 가격이 비싼 Ni 함량 감소는 다른 오스테나이트상 형성 원소인 Mn과 N의 함량 증가로 상쇄될 수 있으나, 과도한 Ni 함량 감소는 Mn 및 N 함량의 과다로 오히려 내식성 및 열간가공성 감소 또는 Cr 및 Mo의 함량 감소로 인해 내식성 확보가 곤란하므로, Ni의 함량을 1.8 ~ 3.5%로 제한한다. 바람직하기로는 Ni은 중량%로 2~3%이다.
- [0059] Mo : Mo는 Cr과 같이 페라이트 안정화 원소인 동시에 강력한 부식저항성 향상 원소이다. 그러나 매우 고가의 원소이고, 함량이 과다하면 열처리시 쉽게 시그마상을 형성하여 내식성 및 충격인성을 저하시키는 단점이 있다. 본 발명에서 Mo의 역할을 상분을 확보를 위한 Cr의 보조 역할 및 적정 내식성 확보이며, 제조원가의 절감을 위해 Mo의 함량을 0.5 ~ 1.0%로 제한한다.
- [0060] Cu : Cu는 Ni, Mn 및 N와 같이 오스테나이트상을 안정화시키는 원소로 알려져 있으며, 황산 분위기에서 스테인리스강의 내식성을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 하지만 1% 이상의 Cu 함량은 공식저항성을 감소시키는 것으로 알려져 있으며, 스테인리스강의 열간가공성을 저하시키는 원소로 알려져 있으므로, Cu의 함량을 0.3 ~ 1.0%로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0061] N : 듀플렉스 스테인리스강에서 N은 Ni와 함께 오스테나이트상의 안정화에 크게 기여하는 원소 중의 하나이며, N 함량 증가는 부수적으로 내식성 증가 및 고강도화를 꾀할 수 있다. 그러나 N의 함량이 너무 높으면 열간가공성을 감소시켜 실수율을 저하시키고, 반면에 N 함량이 너무 낮으면 상분을 확보를 위해 Cr 및 Mo 함량도 낮추어야 하며 용접부 강도 및 상 안정성 확보가 곤란하다. 따라서 N 함량은 0.16 ~ 0.30%로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0062] 한편, 본 발명의 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서는 추가로 Al, B, Ca의 1종 이상을 함유한다.
- [0063] Al : Al은 스테인리스강의 탈산을 위한 중요한 원소이며, 강 중의 산소를 저감하기 위해서 0.003% 이상의 첨가가 필요하다. 반면, Al은 N과의 친화력이 비교적 큰 원소이며, 과잉으로 첨가하면 AlN을 형성하여 모재의 인성 및 내식성을 저해하므로 Al의 함량을 0.003 ~ 0.05%로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0064] O : O는 비금속 개재물의 대표인 산화물을 구성하는 유해한 원소이며, 과잉 함유될 경우 입계에 편석이 되어 입계의 청정도를 감소시켜 소재의 열간가공성을 저해한다. 또한 조대한 클러스터 형상의 산화물이 생성되면 표면 흠집의 원인이 되므로 0.01% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0065] B : B는 입계에 편석되어 입계를 강화시키는 원소로 알려져 있으며, 열간가공성을 향상시키기 위해 0.001 ~ 0.005%를 함유하는 것이 바람직하다. 바람직하기로는 상기 B는 중량%로 0.0025~0.0035%이다.
- [0066] Ca : Ca은 입계 편석 원소인 S와 결합하여 안정한 CaS 화합물을 형성하여 S의 입계 편석을 억제하여 소재의 열간가공성을 향상시키는 원소이다. 하지만 과잉 함유될 경우 용접성을 저해할 수 있으므로 0.001 ~ 0.01%로 함량을 제한하는 것이 바람직하다. 바람직하기로는 상기 Ca는 중량%로 0.001~0.0035%이다.
- [0067] 본 발명의 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우 Cr 당량(Cr_{eq}) 과 Ni 당량(Ni_{eq}) 값을 제어하는 것이 중요하다. 먼저 하기 식<1>의 Cr 당량은 일반적으로 스테인리스강에 있어서 페라이트 생성 원소인 Cr, Mo, Si, Nb의 영향을 Cr의 영향으로 환산한 지수로서 알려져 있다. 본 발명에서는 합금 성분 중 Nb가 포함되지 않기 때문에 Cr 당량 식에서 Nb 항을 제외하였다. 하기 식<1>에 의해 Cr, Mo, Si의 합금원소가 페라이트상의 안정성에 기여하는 정도를 지수화 할 수 있으며, Ni 함량을 저감한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에 있어서 페라이트상과 오스테나이트상 간의 균형을 이루기 위해서는 Cr 당량의 값이 19.5 이상, 26.3 이하가 되어야 하는 것을 발견하고 Cr 당량값의 범위를 제한하였다.

[0068] $Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5 \%Si$ --- 식<1>

[0069] 다음으로, 본 발명에서 Ni 당량 (Ni_{eq}) 값의 한정 이유에 대해서 설명한다. 상기 식<1>과 마찬가지로, 하기 식 <2>의 Ni 당량은 스테인리스강에 있어서 오스테나이트 생성 원소인 C, Mn, Ni, Cu, N의 영향을 Ni의 영향으로 환산한 지수이다. 본 발명에서의 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 경우 Ni 함량을 1.8 ~ 3.5%로 제한하였고, 이를 바탕으로 페라이트상과 오스테나이트상 간의 균형을 이루기 위해 각 합금 원소의 함량을 조절하였다. 그 결과 본 발명의 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서의 Ni 당량값은 6.9 이상, 15.8 이하가 되어야 하는 것을 발견하였고 Ni 당량값의 범위를 제한하였다.

[0070] $Ni_{eq} = \%Ni + 30 (\%C + \%N) + 0.5 (\%Mn + \%Cu)$ --- 식<2>

[0071] 본 발명에서 상기 Cr당량값과 Ni당량값의 범위를 벗어나는 경우 후술하는 표 2에서의 단면적 감소율이 75% 이하로 낮게 나타나는 특성을 보인다.

[0072] 다음은 본 발명에서 열간가공성 지수로서의 단면감소율에 대하여 살펴보기로 한다. 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성은 특정 온도에서 소재를 가열하여 일축으로 인장하였을 경우, 소재의 단면적이 감소하는 비율을 통하여 평가하게 된다. 이러한 단면적 감소 비율을 RA (Reduction of Area, %)라는 열간가공성 지수로 표현할 수 있으며, RA값은 온도가 증가할수록 비례적으로 증가하는 경향을 보인다. 그러나 일반적으로 듀플렉스 스테인리스강의 RA 값은 900℃ 부근의 온도에서 최저값을 보이기 때문에, 900℃에서의 RA 값을 향상시키는 것이 소재 전체의 열간가공성을 향상시키는 대표값이 되는 것을 본 발명자들은 반복되는 실험을 통해서 알아내었고, 본 발명에서도 900℃ RA 값의 최소값을 열간가공성 지수의 범위로 사용하였다. 상술한 바와 같이, 듀플렉스 스테인리스강의 열간가공성은 소재에 포함되는 합금원소의 종류 및 함량에 크게 영향을 받는다. 특히 입계에 편석이 되는 경향이 큰 O, S 등의 원소의 함량에 영향을 많이 받기 때문에, 이와 같은 입계 편석 원소의 함량을 저감할 필요가 있다. O의 함량을 저감하기 위해서는 듀플렉스 스테인리스강의 제강 공정에서 탈산이 효율적으로 수행되어야 하며, 기존 탈산 방법으로 Si 탈산이 주로 실시되었으나, O의 함량을 50 ppm 이하로 저감하는데 한계가 있었다. 따라서 O의 저감을 위해 O와 친화력이 Si 보다 큰 Al을 사용하여 탈산을 실시할 경우 목표 수준까지 O의 함량을 저감시킬 수 있다. 또한 S의 경우에는 제강 공정에서 10 ppm 이하로 낮추기 위해 더블 슬래깅(double slagging) 공법을 이용하는데, 이 경우, 공정이 까다롭고 비용이 증가하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 강 중에 존재하는 S를 안정한 화합물 형태로 존재하게 하여 입계에 편석되는 경향을 억제하기 위하여 Ca를 첨가하였다. 또한 입계를 강화시켜 열간가공성을 증가시키는 용도로서 B를 미량 첨가하여 열간가공성을 향상시켰다. 이러한 Al, B, Ca를 첨가하여 열간가공성을 향상시킨 실시예를 통하여 900℃에서의 RA 값이 75% 이상의 높은 값을 얻을 수 있었으며, 실험을 통해 열간압연 공정에서 귀터짐 결함 및 표면 선상흄 결함이 현저히 감소하는 것을 발견하였다. 이상의 결과를 통하여 열간가공성 지수를 저합금 듀플렉스 스테인리스강에 포함된 합금원소 함량과의 관계로 표현할 수 있었으며, 열간가공성 지수의 최소값은 75 이상이 되어야 하는 것을 발견하여 그 범위를 제한하였다. 본 발명의 식<3>의 성분에 대한 %는 질량 %를 의미한다.

[0073] 다음으로, 본 발명의 오스테나이트상과 페라이트상의 부피분율에 대하여 설명한다. 본 발명의 실시예에서는 오스테나이트상의 부피분율을 40 ~ 60%, 페라이트상의 부피분율을 40 ~ 60%의 범위로 한정한다. 이는 오스테나이트상의 부피분율이 40% 미만에서는 인성 불량이, 60% 초과에서는 열간가공성 저하의 문제가 생기며, 어느 경우에도 내식성이 저하된다. 따라서 용체화 열처리를 듀플렉스 스테인리스강에 있어서의 통상적인 조건인 1050℃ 부근에서 행할 경우, 상기 오스테나이트상의 분율과 페라이트상의 분율을 확보하기 위해서는, 본 발명의 범위 내에서 오스테나이트상의 증가원소인 Ni, Cu, Mn, C, N 등과 페라이트상의 증가원소인 Cr, Mo, Si 등의 함유 비율을 조정한다. 구체적으로는 상기 식<1>과 식<2>에서 나타내는 Cr 당량과 Ni 당량값의 범위로 한다.

[0074] <실시예>

[0075] 이하 본 발명의 실시예에 대하여 설명한다.

[0076] 먼저 본 발명에 따른 성분 조성범위에 대한 저합금 듀플렉스 스테인리스강들의 시편을 준비하여 상분율, 내식성, 열간가공성 지수를 측정하여 표에 나타내었다. 표 1에는 본 발명의 발명예와 비교예가 같이 표기되어 있으며, 표 1에 기재되어 있는 성분 이외인 잔량부는 Fe 및 불가피적 불순물 원소이다. 특히, 표 1의 No.1 강종은 STS304 강종의 성분계로서, 본 발명 강의 내식성은 No.1 강종 대비 동등 이상의 내식성을 가지도록 조정하였다.

표 1

구분	비고	성분함량 (질량%)												
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	B	N	Al	O	Ca	B+Ca
1	비교예	0.037	0.57	1.15	18.3	8.44	0.22	0.20	0.0023	0.03	0.001	0.0110	-	0.0023
2		0.030	0.57	5.0	21.2	1.45	0.31	0.29	0.0027	0.21	0.011	0.0075	0	0.0027
3		0.021	0.45	2.5	21.5	2.50	0.59	0.29	0.0018	0.20	0.024	0.0051	0.0011	0.0029
4		0.025	0.51	2.5	21.5	1.51	0.50	0.50	0.0026	0.19	0.015	0.0090	0	0.0026
5		0.025	0.51	2.5	21.5	1.50	0.50	1.00	0.0027	0.19	0.012	0.0095	0	0.0027
6		0.059	0.62	2.2	20.8	2.32	0.51	0.75	0.002	0.23	0.000	0.0150	0	0.002
7		0.024	0.51	2.8	21.4	1.94	0.55	0.68	0.0015	0.31	0.006	0.0100	0	0.0015
8		0.017	1.35	1.5	19.7	1.82	0.84	0.86	0.0035	0.25	0.012	0.0120	0.0010	0.0045
A	본발명예	0.020	0.48	1.8	21.4	2.48	0.60	0.30	0.0035	0.19	0.035	0.0018	0.0015	0.005
B		0.019	0.46	1.8	21.3	2.51	0.61	0.30	0.0025	0.20	0.042	0.0019	0.0013	0.0038
C		0.028	1.00	1.8	21.2	2.53	0.62	0.51	0.0025	0.16	0.019	0.0074	0.001	0.0035
D		0.021	0.52	1.8	21.2	2.38	0.58	0.32	0.0028	0.20	0.031	0.0021	0.0020	0.0048
E		0.024	0.55	1.8	21.3	2.48	0.61	0.30	0.0027	0.21	0.029	0.0032	0.0032	0.0059
F		0.028	0.56	1.8	21.6	2.38	0.59	0.92	0.0025	0.22	0.026	0.0041	0.0028	0.0053

표 2

강 No.	비고	PREN	Cr _{eq}	Ni _{eq}	공식전위 mV	상분율 %	RA %
1	비교예	19.5	19.4	11.1	300	0	87.6
2		25.6	22.4	11.3	350	48.12	59.1
3		26.6	22.8	10.5	392	51.68	73.2
4		26.2	22.8	9.4	290	52.28	64.3
5		26.2	22.8	9.7	300	53.78	62.3
6		26.2	22.3	12.4	421	46.31	49.6
7		28.2	22.7	13.7	436	41.58	60.1
8		26.4	22.5	11.0	326	51.94	63.7
A	본발명예	26.4	22.7	9.8	380	53.02	83.7
B		26.5	22.6	10.1	372	50.34	87.0
C		25.8	23.4	9.5	314	55.42	75.2
D		26.3	22.6	10.1	395	52.47	79.1
E		26.7	22.8	10.6	389	51.81	81.4
F		27.1	23.0	11	342	50.56	77.3

[0079] 한편, 표 2에는 비교예 및 발명예에 대하여 전기화학적인 내식성을 평가하였고, 미세조직 내의 페라이트상의 상분율, 열간가공성 지수를 평가한 결과를 각각 나타내었다. 또한 표 2에 기재된 Cr_{eq}, Ni_{eq}, RA는 각각, 하기 식 <1>, <2>, <3>을 의미한다.

[0080] Cr_{eq} = %Cr + %Mo + 1.5 %Si --- 식<1>

- [0081] $Ni_{eq} = \%Ni + 30 (\%C + \%N) + 0.5 (\%Mn + \%Cu) \text{ --- 식<2>}$
- [0082] $RA = -195 + 10.2 Cr_{eq} + 1.19 Ni_{eq} + 822 \%Al + 1297 (\%B + \%Ca) \text{ --- 식<3>}$
- [0083] 먼저 이와 같은 성분을 가지는 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 실험실의 50kg 진공 유도 용해로에 의해 용해하여 두께 150mm, 폭 150mm, 길이 250mm 형태의 강괴로 주조하였다. 강괴로부터 열간 압연용 소재를 가공하여, 1250℃의 온도로 1 ~ 2시간 가열 후, 마무리 온도 950℃ ~ 850℃의 조건에서 압연하여 12mm 두께 x 약 3000mm 길이의 열간 압연 후강판을 얻었다. 또한 압연 직후의 강재 온도가 800℃ 이상인 상태에서 200℃ 이하의 온도까지 스프레이 냉각을 실시하였다. 최종 용체화 열처리는 1050℃에서 30분 균열 후 수냉의 조건으로 실시하였다. 단, No.1 강종의 최종 용체화 열처리는 1100℃에서 30분 균열 후 수냉의 조건으로 실시하였다.
- [0084] 이어서 상기에서 제조한 판 두께 12mm의 후강판을 모재로 하여 내식성 평가 시험을 실시하였다. 내식성 평가 시험은 동전위 양극분극시험이라는 전기화학적 방법을 사용하여 평가를 하였다. 분극시험의 조건은 시편의 표면을 60, 120, 320, 600번 사포로 차례로 연마한 후, 표면이 1 cm²의 면적만 노출시키고 그 외의 표면부는 마스크 테이프로 감싸 시험 용액이 시편의 다른 표면에 닿지 않도록 하였다. 그리고 30℃로 유지되는 3.5% NaCl 용액에 침지하여 전위를 인가하여 공식이 발생하는 전위를 측정하였다.
- [0085] 페라이트 상분율에 대해서는, 후강판의 압연 방향과 평행한 단면을 수지에 묻고, 경면 연마하여, KOH 수용액 중에서 전해 에칭을 실시한 후, 광학 현미경 관찰에 의해 화상 해석을 행함으로써 페라이트 상분율을 측정하였다.
- [0086] 열간가공성 지수 도출에 대해서는, 두께 12mm의 후강판에서 압연 방향과 평행한 방향이 시편의 길이 방향이 되도록 시편을 가공하였으며, 시편의 규격은 길이 110mm x 지름 10mm의 환봉 형태로 가공을 하였다. 상기 방법으로 가공된 시편을 평균 20℃/s의 승온속도로 1250℃까지 승온하여 목표 온도 도달 후 3분간 유지하였고, 평균 10℃/s의 속도로 시험 온도까지 냉각하여 시험 온도에서 30초 유지 후 30mm/s의 스트로크 속도로 일축 인장하였다. 시험 온도는 800℃부터 1200℃까지 100℃ 간격으로 하였고, 시험 후 시편의 단면적을 초기 단면적으로 나눈 값으로 RA 값을 구하였다. 상술한 바와 같이, 본 발명에서 RA 값으로 사용한 값은 900℃에서의 RA값으로 하였다.
- [0087] 이와 같은 평가 결과에 대한 값이 나타난 표 2를 보면, 본 발명의 실시예에서 본 발명강의 페라이트 상분율의 경우 모두 양호한 값을 나타내었다.
- [0088] 한편, 도 1의 경우 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 임계공식온도 (CPT)를 도시한 도면이다.
- [0089] 도 1에 나타난 바와 같이, No. 4, 5, C 강종에서 공식전위가 No.1 강종 대비 낮거나 큰 차이를 보이지 않는데, 이는 Mn의 함량이 높거나 (No. 4, 5), 질소의 함량이 낮기 때문에 (No. C) 내식 특성이 불량하였다. 또한 Mn 함량이 높다고 하더라도 질소의 함량이 질량 %로 0.2 이상인 강종은 STS304 대비해서 높은 공식전위를 나타내고 있다. 그리고 질소의 함량이 같을 경우 (No. 2, 3, 6, B, D, E) Mn의 함량이 낮을수록 내식성에 유리한 것을 알 수 있다.
- [0090] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 열간가공성 지수에 미치는 Al 및 O의 영향을 도시한 도면이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 관한 저합금 듀플렉스 스테인리스강에서 열간가공성 지수에 미치는 B, Ca의 영향을 도시한 도면이다.
- [0091] 열간가공성에 대해서는 Mn, O의 함량이 높을 경우 RA 값이 낮은 것으로 나타났으며, 판재 압연 결과 에지 크랙이 20mm 이상이 되었다 (No. 2, 8, D, E). 또한 B, Ca, Al 첨가에 의해 RA 값이 현저히 상승하였으며, 900℃에서 RA 값이 75% 이상인 경우 에지 크랙이 발생하지 않은 양호한 형상을 보였다 (No. A, B, C, D, F). 특히 해당 실시예에 대한 산소 분석 결과, 산소의 함량은 50 ppm 이하였으나, 산소 함량이 100 ppm 이하가 되어도 판재의 에지 형상은 양호한 형상을 보였다 (No. 6, 7, C).
- [0092] 실시예로부터, 소재의 열간가공성은 Cr, Ni, Mn, Mo, N 등 주요 합금원소에 영향을 받기도 하지만, Al, B, Ca 등의 미량 첨가원소에도 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 특히 도 2에 나타난 바와 같이, RA 값에 미치는 Al의 영향이 큰 것을 알 수 있는데, Al은 강 중의 산소 함량을 낮추기 때문에 Al 첨가에 따라 RA 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 도 3에 나타난 바와 같이, B, Ca 등의 미량 첨가원소는 강 중의 S를 안정화시키므로 소재의

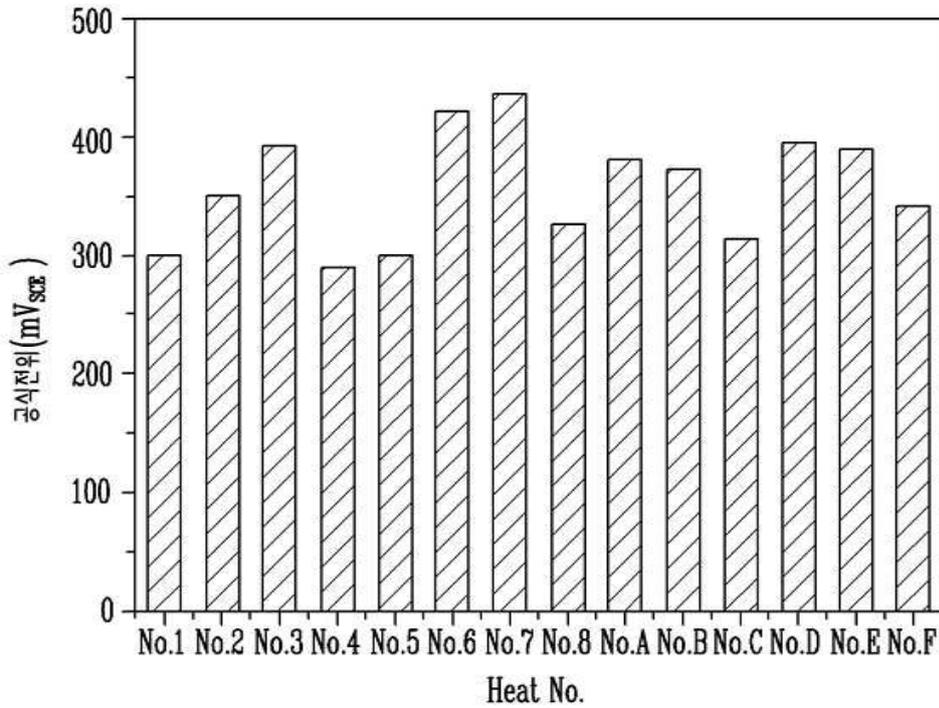
열간가공성을 향상시키는 것을 알 수 있다.

[0093]

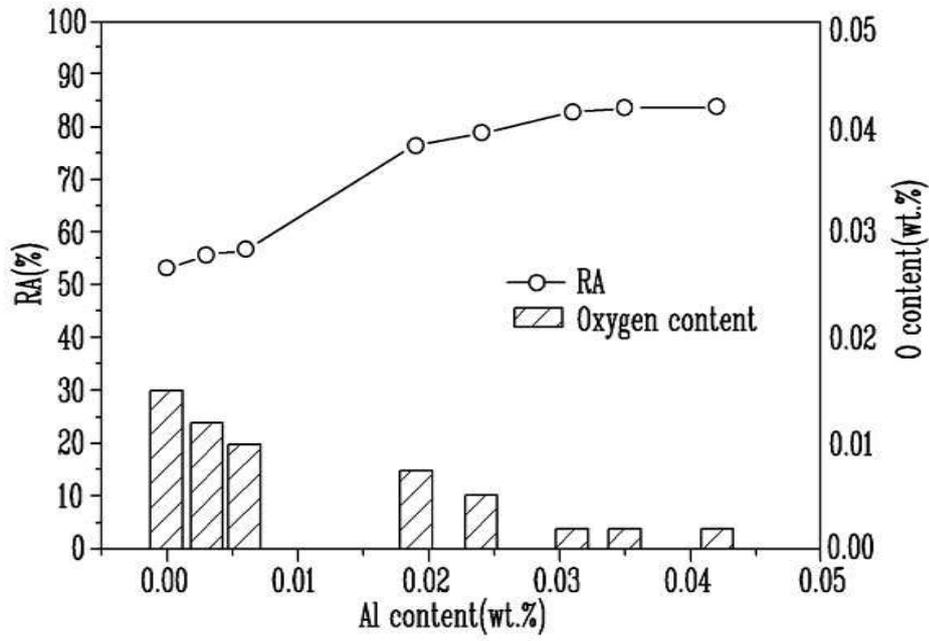
본 발명에 의해, 종래의 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 합금 비용이 낮으면서도 우수한 내식성을 확보하는 저합금 듀플렉스 스테인리스강을 제공할 수 있으며, 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 큰 과제인 열간가공성 열위에 의한 에지 크랙을 억제할 수 있다. 그 결과, 저합금 듀플렉스 스테인리스강의 생산 부하를 저감하고, 고가의 오스테나이트계 스테인리스강을 대신하여 사용되어 경제성 향상을 꾀할 수 있어 산업상 유용성이 크다.

도면

도면1



도면2



도면3

