



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0073383  
(43) 공개일자 2015년07월01일

- |   |  |
|---|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br><i>C22C 38/00</i> (2006.01) <i>C21D 1/26</i> (2006.01)<br><i>C21D 8/00</i> (2006.01) <i>C22C 38/58</i> (2006.01)<br>(21) 출원번호 10-2013-0161004<br>(22) 출원일자 2013년12월23일<br>심사청구일자 2013년12월23일 | (71) 출원인<br>주식회사 포스코<br>경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)<br>(72) 발명자<br>김지수<br>경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)<br>김영태<br>경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)<br>(74) 대리인<br>강신섭, 문용호, 이용우 |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **듀플렉스 스테인리스강 및 그의 제조방법**

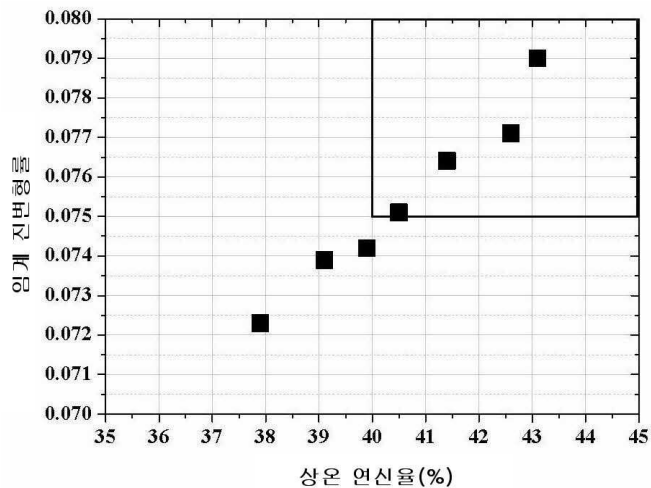
(57) 요약

본 발명은 듀플렉스 스테인리스 열연강판의 두께를 제어하고, 일정 온도 범위에서 소둔하여 오스테나이트 상의 안정화지수를 40 이하가 되도록 함에 의해 상온에서의 연성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 중량%로 C: 0초과~0.08% 이하, Si: 0초과~0.5% 이하, Mn:4~6%, Cr: 19~23%, Ni: 0초과~0.5%이하, N: 0.18~0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유하며, 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하를 만족한다.

$$\gamma \text{안정화 지수} = 497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$$

이러한 구성에 의하여, 우수한 연신율을 확보할 수 있으며, 연신율 및 성형성 제약에 따른 듀플렉스 스테인리스 열연강판의 새로운 용도 및 수요 개발이 가능하다.

대표도 - 도1



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

중량%로 C: 0초과~0.08% 이하, Si: 0초과~0.5% 이하, Mn:4~6%, Cr: 19~23%, Ni: 0초과~0.5%이하, N: 0.18~0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유하며, 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하를 만족하는 듀플렉스 스테인리스강.

$$\gamma \text{ 안정화 지수} = 497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$$

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하는 임계 진변형량이 0.075 이상인 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 상온 연신율이 40% 이상인 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 열간압연에 의해 두께가 2.5mm 이하로 제어되는 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상을 포함하는 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 6**

중량%로 C: 0초과~0.08% 이하, Si: 0초과~0.5% 이하, Mn:4~6%, Cr: 19~23%, Ni: 0초과~0.5%이하, N: 0.18~0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유하고, 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상으로 구성된 2상 조직을 포함하는 듀플렉스 스테인리스강을 열간압연 및 권취하고, 1080~1200℃의 범위로 연속 소둔하여, 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하를 만족하도록 제어하는 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

$$\gamma \text{ 안정화 지수} = 497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$$

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하는 임계 진변형량이 0.075 이상으로 제어되는 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 상온 연신율이 40% 이상으로 제어되는 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

**청구항 9**

제6항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 열간압연하여 2.5mm 이하의 두께로 제어되는 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

**청구항 10**

제6항에 있어서,

상기 듀플렉스 스테인리스강은 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상을 포함하는 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 듀플렉스 스테인리스강 및 그의 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 연성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상과 페라이트 상의 혼합물로 구성되는 미세조직을 가지는 스테인리스강으로서, 오스테나이트계와 페라이트계의 특징을 모두 나타낸다.

[0003] 현재까지 다양한 듀플렉스 스테인리스강이 제안되어 왔으며, 그 중 일부는 미국특허 제5,624,504호 및 제 6,096,441호 등이 있다. 고내식 환경에서 가장 널리 사용되는 듀플렉스 스테인리스강 중 하나는 22%Cr, 5.5%Ni, 3%Mo, 0.16%N 성분의 엘러게니 러들럼(Allegheny Ludlum)사의 A12205(UNS S31803 또는 S32205)가 있다.

[0004] 이 강도의 경우, 다양한 부식 환경에서 우수한 내부식성을 제공하며, AISI의 304, 316 등의 오스테나이트계보다 우수한 내부식성을 나타낸다. 이와 같은 듀플렉스강은 Ni, Mo 등의 고가 원소 사용에 따른 제조 비용이 상승되어, 타 강종과의 가격 경쟁력이 감소된다.

[0005] 그러나, 최근에는 듀플렉스 스테인리스강 중에서도 Ni 및 Mo 등의 고가의 합금원소를 배제하고, 이들 원소를 대신하여 저원가의 합금원소를 첨가하여 낮은 합금 비용의 장점을 더욱 증대시킨 린(Lean) 듀플렉스 스테인리스강에 대한 관심이 증대되고 있는 추세이다.

[0006] 이러한 린 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강으로 대별되는 304강 또는 316강과 동등한 내식성을 확보하면서 Ni 함량이 적어 경제적이다. 그리고, 고강도의 확보가 용이하여 내식성을 요하는 담수설비, 펄프, 제지, 화학설비 등의 산업설비용 강재로 각광을 받고 있다.

[0007] 이러한 린 듀플렉스 스테인리스강은 일본특허출원 공개 소61-056267호 공보 및 WO 02/027056호 공보, 혹은 WO 96/18751호 공보에 개시되어 있다. 그 중, 일본 특허 출원 공개 소61-56267호 공보 및 WO 02/027056호 공보에 개시된 린 듀플렉스 스테인리스강은, ASTM A240으로 규격화되어 있으며, 전자는 S32304(대표성분 23Cr-4Ni-0.13N), 후자는 S32101(대표성분 21Cr-1.5Ni-5Mn-0.22N)에 대응한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명은 듀플렉스 스테인리스 열연강판의 두께를 제어하고, 일정 온도 범위에서 소둔하여 오스테나이트 상의 안정화지수를 40 이하가 되도록 함에 의해 상온에서의 연성이 우수한 듀플렉스 스테인리스강 및 그의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 중량%로 C: 0초과~0.08% 이하, Si: 0초과~0.5% 이하, Mn: 4~6%, Cr: 19~23%, Ni: 0초과~0.5%이하, N: 0.18~0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유하며, 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하를 만족한다.

- [0010]  $\gamma$  안정화 지수 =  $497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$
- [0011] 이때, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하는 임계 진변형량이 0.075 이상일 수 있다.
- [0012] 그리고, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 상온 연신율이 40% 이상일 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 열간압연에 의해 두께가 2.5mm 이하로 제어될 수 있다.
- [0014] 더욱이, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상을 포함할 수 있다.
- [0015] 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법은 중량%로 C: 0초과~0.08% 이하, Si: 0초과~0.5% 이하, Mn: 4~6%, Cr: 19~23%, Ni: 0초과~0.5%이하, N: 0.18~0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 함유하고, 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상으로 구성된 2상 조직을 포함하는 듀플렉스 스테인리스강을 열간압연 및 권취하고, 1080~1200℃의 범위로 연속 소둔하여, 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하를 만족하도록 제어한다.
- [0016]  $\gamma$  안정화 지수 =  $497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$
- [0017] 여기서, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하는 임계 진변형량이 0.075 이상으로 제어될 수 있다.
- [0018] 그리고, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 상온 연신율이 40% 이상으로 제어될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 열간압연하여 2.5mm 이하의 두께로 제어될 수 있다.
- [0020] 게다가, 상기 듀플렉스 스테인리스강은 상조직이 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과, 30 ~ 50%의 페라이트 상을 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0021] 본 발명에 의하면 일반적인 듀플렉스 스테인리스 열연강관에 비해 우수한 연신율을 확보할 수 있으며, 연신율 및 성형성 제약에 따른 듀플렉스 스테인리스 열연강관의 새로운 용도 및 수요 개발에 기여하여 경제성이 향상될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0022] 도 1은 듀플렉스 스테인리스 열연 강관의 상온 연신율에 따른 임계 진변형률의 변화를 나타내는 그래프.  
 도 2는 듀플렉스 스테인리스 열연 강관의 상온 연신율에 따른 오스테나이트 안정화도의 변화를 나타내는 그래프.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0023] 이하, 본 발명의 오스테나이트 상 및 페라이트 상으로 구성된 듀플렉스 스테인리스강에 관하여 상세히 설명한다. 다만, 본 발명은 청구범위에 기재된 범위 안에서 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으므로 하기에 설명하는 실시예는 표현 여부에 불구하고 예시적인 것에 불과하다.
- [0024] 보통 상온에서 오스테나이트 상과 페라이트 상의 혼합 조직을 갖는 듀플렉스 스테인리스강의 대표적인 강종 중 하나인 S32205 듀플렉스 스테인리스강은 고내식성 확보를 위해 다량의 Cr, Mo 및 N 성분을 함유하고 있으며, 상분율 확보를 위해 중량%로 5% 이상의 Ni 성분을 함유하고 있다.
- [0025] 또한, 한국특허출원 공개 제2006-0074400호 공보에 개시되었고, ASTM A240으로 규격화된 S81921강의 경우 Ni 및 Mo의 함량이 각각 중량%로 2.5% 및 2.4%로 고가의 합금원소를 포함하고 있다. 이들 듀플렉스 스테인리스강은 냉간 가공성 즉 성형성보다는 내식성 강화 위주로 강을 설계하여, 특정 적용 부분에서는 요구되는 내식성보다 월등한 내식성을 제공한다. 또한, 내SCC 특성 역시 설계 요구사항보다 우수하여 기술적인 해결책은 제공할 수 있으나, 가공성과 관련된 인자인 연성이 오스테나이트계 스테인리스강보다 열위하다.
- [0026] 이에 의해 이러한 듀플렉스 스테인리스강은 성형, 절곡 등을 요구하는 다양한 산업 분야의 응용에 많은 제약을 초래하여, 경제적인 측면에서는 타당하지 않은 면이 존재한다. 따라서 이들 고가 원소를 배제하여 제조원가를

절감하면서도 304강, 304L강 및 316강 대비 동등 이상 수준의 내식성을 확보하고, 특히 가공성, 즉 연성을 304강과 동등 수준으로 확보하는 산업설비 및 다양한 성형 가공용 듀플렉스 스테인리스강의 개발이 필요하다.

[0027] 또한, 성형성, 즉 연신율이 우수한 오스테나이트계 스테인리스강의 경우, 고가인 Ni를 4% 이상 함유한다. 그리고, 특히 316 계열 강외의 경우 Mo를 2% 정도 함유하고 있어서 제조 시 재료 비용이 매우 높고, 또 귀중한 자원인 Ni, Mo 등을 대량으로 소비한다는 문제점이 있다. 따라서, Ni, Mo등을 저감하면서 오스테나이트계와 동등 수준의 연신율 및 내식성을 확보하는 방법으로 페라이트 상과 오스테나이트 상이 공존하는 2상 조직 강을 개발할 필요성이 있다.

[0028] 따라서, 본 발명에서는 상온 연신율 40% 이상의 고연성 듀플렉스 스테인리스 열연강판 및 그의 제조방법을 제공한다. 특히, 열연강판의 연속 소둔 시 소둔 온도를 제어하여 강판의 미세조직 내에서 합금원소 분배에 의한 오스테나이트 상의 안정화도 및 상변태가 발생하는 임계 진변형율을 제어함으로써 상온에서의 연신율을 확보할 수 있다.

[0029] 즉, 본 발명은 합금성분 및 냉각 방법에 의하여 미세조직 내의 오스테나이트 상의 부피분율이 50 ~ 70%, 페라이트 상의 부피분율이 30 ~ 50%로 존재하는 듀플렉스 스테인리스강에 대하여 하기 식으로 계산되는 오스테나이트 상의 안정화도가 40 이하가 되도록 열연 소둔 조건을 제어하는 것을 특징으로 한다.

[0030]  $y$  안정화 지수 =  $497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$

[0031] 상기와 같은 오스테나이트 상의 안정화 지수를 확보하기 위하여 본 발명에서는 오스테나이트 상의 부피분율이 50 ~ 70%, 페라이트 상의 부피분율이 30 ~ 50%로 존재하는 듀플렉스 스테인리스강을 열간압연을 통하여 두께 2.5 mm 이하로 제어한다. 그리고, 연속 소둔 공정에서 1080℃ 이상 ~ 1200℃ 이하의 온도 범위로 소둔하여 오스테나이트 안정화도가 40 이하가 되도록 하였다. 또한, 강의 변형 시 오스테나이트 상에서 마르텐사이트 상으로 변태하는데 필요한 임계 진변형율을 0.075 이상으로 제어하였다. 이에 의해 소재의 변형에 따른 상변태 속도를 제어함으로써, 상온 연신율이 40% 이상이 되는 듀플렉스 스테인리스 열연강판의 제조 방법을 제공한다.

[0032] 먼저, 본 발명의 성분 한정 이유에 대하여 설명한다. 이하, 중량%는 간단하게 %로 표기한다.

[0033] 탄소(C)는 오스테나이트 형성 원소로 고용강화에 의한 재료 강도 증가에 유효한 원소이나, 함량이 과다 시 페라이트-오스테나이트 상 경계에서 내식성에 유효한 Cr과 같은 탄화물 형성 원소와 쉽게 결합하여 결정립계 주위의 Cr 함량을 낮추어 내부식 저항성을 감소시키기 때문에 내식성을 극대화하기 위해서는 C의 함량을 0은 초과하되 0.08% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0034] 규소(Si)는 Si는 탈산 효과를 위하여 일부 첨가되나, 또한 페라이트 안정화 원소로도 작용하기 때문에 일부 첨가한다. 과다할 경우 내식성이나 충격인성과 관련된 기계적 특성을 저하시키므로 0은 초과하되 0.5% 이하로 제한한다.

[0035] 질소(N)는 2상 스테인리스강에서 Ni와 함께 오스테나이트 상의 안정화에 크게 기여하는 원소로 소둔 열처리 시 오스테나이트 상에 농화가 발생하는 원소 중의 하나이며, N 함량 증가는 부수적으로 내식성 증가 및 고강도화를 꾀할 수 있다. 그러나 N 함량이 0.4% 이상을 초과하면 주조 시 블로우홀(blow hole), 핀홀(pin hole) 등의 발생에 의한 표면 결함 유발로 강의 안정된 제조가 어렵게 된다. 또한 가압 용해 등의 수단을 이용하게 되어 경제적으로 불리하게 된다. 한편 질소량이 0.18% 이하 되면 오스테나이트 상에 질소의 농화가 너무 낮아서 오스테나이트 상의 안정도가 높아진다. 또 N 함량이 너무 낮으면 적절한 상분율 확보가 곤란해지며, 질소에 의한 고용강화가 부족하여 강도 확보가 어려워진다. 따라서, N 함량은 0.18~0.40%로 제한하는 것이 바람직하다. 더욱, 바람직한 N 함량은 0.30~0.4%로 한다.

[0036] 망간(Mn)은 탈산제로서, 질소 고용도를 증가시키는 원소이다. 그리고, 오스테나이트 형성 원소로 고가의 Ni 대치용으로 사용할 경우 그 함량을 4% 이상으로 증가시켜야 한다. 망간의 함량이 너무 낮으면 상분율의 제어가 어렵고, 첨가되는 질소의 고용도가 낮아서 상압에서 질소의 충분한 고용을 얻을 수 없다. 망간을 많이 첨가하면 질소의 고용도에는 효과가 있으나 강 중의 S와 결합하여 MnS를 형성하고 내식성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 열간가공성도 저하되므로, Mn의 함량을 0을 초과하되 6% 이하로 제한한다.

[0037] 크롬(Cr)은 Cr은 Si와 함께 페라이트 안정화 원소로 듀플렉스 스테인리스강의 페라이트상 확보에 주된 역할을 할 뿐만 아니라, 내식성 확보를 위한 필수 원소이다. 함량을 증가시키면 내식성이 증가하나 상분율 유지를 위하여 고가의 Ni나 기타 오스테나이트 형성원소의 함량을 증가시켜야 하므로, 2상 스테인리스강의 상분율을 유지하면서 STS304 이상의 내식성을 확보하기 위하여 Cr의 함량을 19 ~ 23%로 제한한다.

- [0038] 니켈(Ni)은 Mn 및 N와 함께 오스테나이트 안정화 원소로 2상 스테인리스강의 오스테나이트상의 확보에 주된 역할을 한다. 원가절감을 위하여 가격이 비싼 Ni 함량을 최대한 감소시키는 대신에 다른 오스테나이트상 형성 원소인 Mn과 N의 함량 증가로 충분히 Ni의 저감에 의한 상분율 균형을 유지할 수 있다. 특히 Ni는 고의로 첨가하지 않는 한 제강 시 사용되는 스크랩에서 0.3% 이하로 관리할 수 있다. 따라서, Ni의 함량을 0.3% 이하로 제한한다.
- [0039] 본 발명은 상기 조성성분 이외에 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 더욱 포함할 수 있다. 그리고, 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 그 상조직에 있어서, 부피분율로 50~70%의 오스테나이트 상 및 30~50%의 페라이트 상으로 구성을 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0040] 이는 오스테나이트 분율이 50% 미만에서는 오스테나이트 상의 변형 중에 생기는 변형 유기 마르텐사이트 변태량이 적기 때문에 연성 및 인장강도 기여가 적어서 원하는 연신율 및 강도를 충분히 얻을 수가 없다.
- [0041] 그리고, 고연성의 관점에서 보면 오스테나이트 분율이 70% 이하가 바람직하다. 오스테나이트 분율이 70%를 초과하는 경우에는 열간압연 시 표면 균열 등이 발생하여 열간 가공성의 저하를 초래하고, 오스테나이트의 안정도에 기여하는 질소, 망간의 오스테나이트 상의 농화가 부족하여 변형 중에 변태 유기 마르텐사이트가 발생하지 않는다.
- [0042] 이하에서는 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법에 대하여 설명한다.
- [0043] 본 발명에 따른 듀플렉스 스테인리스강은 일반적인 오스테나이트계 스테인리스 강이나 페라이트계 스테인리스강과는 달리 미세조직 내에 오스테나이트 상과 페라이트 상이 일정한 비율로 섞여 있는 미세조직을 가진다. 이에 따라 필연적으로 재가열이나 소둔 공정에서 열 에너지에 의한 합금원소의 확산이 각 상으로 이루어지게 되며, 외부에서 가해지는 온도 및 합금원소의 종류에 따라 각 상에 고용되는 각 합금원소의 함량이 달라지게 된다.
- [0044] 또한, 오스테나이트 상은 고용된 오스테나이트 안정화 원소의 함량에 따라서 상의 안정화도가 결정되며, 상의 안정화도가 낮으면 변형 중 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태가 일어나며, 이러한 동적 변형기구에 의해 소재의 연신율이 영향을 받게 된다.
- [0045] 듀플렉스 스테인리스강의 상온 연신율 개선을 위해서는 오스테나이트 상의 안정화도 제어가 중요하다. 이러한 오스테나이트 상의 안정화도는 소재가 통과하는 소둔 공정 조건, 특히 온도 조건에 민감하게 반응한다고 할 수 있다.
- [0046] 따라서, 본 발명에서는 열연 소둔 공정에서 소재가 통과하는 온도 조건을 다양하게 변화시켜 각 조건에 따른 연신율을 각각 평가하였다.
- [0047] 본 발명의 대상 소재는 오스테나이트 상분율이 부피분율로 45 ~ 65%를 가지는 듀플렉스강을 열간압연을 통해 2.5 mm 이하의 두께로 제어하여 권취한 후 연속 소둔 공정을 모사하여 시험하였다.
- [0048] 그리고, 다양한 연속 소둔 온도를 설정하여 열처리리를 하였다. 열처리된 소재의 상온 연신율 평가는 ASTM E8 규격에 의해 수행하였으며, 시편의 규격은 표점거리 50mm, 평행부 60mm, 폭 12.5mm의 인장시편을 이용하여, 크로스 헤드 스피드(cross head speed) 20mm/min의 속도로 상온에서 유니버설 메카니컬 테스터(Universal Mechanical Tester)를 활용하여 시험하였다. 또한, 본 발명에서 표기된 상온 연신율은 같은 조건에서 인장 시험을 3회 수행하여 평균한 값을 사용하였다.

표 1

[0049]

구분	소둔온도(℃)	소둔시간(초)	시편두께(mm)	연신율(%)	상분율(%)
비교예 1	1000	48	2.5	37.9	59.4
비교예 2	1040	48	2.5	38.9	66.4
비교예 3	1060	48	2.5	39.1	66.5
실시예 1	1080	48	2.5	40.5	65.3
실시예 2	1100	48	2.5	41.4	65.5
실시예 3	1150	48	2.5	42.6	63.7
실시예 4	1200	48	2.5	43.1	62.1

[0050] 표 1은 듀플렉스 스테인리스 열연 강판의 소둔 온도에 따른 상온 연신율 평가 결과를 보여준다. 열간압연 시 연속 소둔 온도를 1000℃, 1040℃, 1060℃, 1080℃, 1100℃, 1150℃ 및 1200℃의 다양한 온도에서 열처리하였다.



이후 상온 인장 시험 후 연신율을 측정된 결과, 순서대로 37.9%, 38.9%, 39.1%, 40.5%, 41.4%, 42.6% 및 43.1%의 연신율이 얻어졌다.

[0051] 또한, 소둔 열처리 온도가 증가할수록 소재의 연신율이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나, 상분율의 경우에는 열처리 온도 증가에 따른 특별한 경향은 보이지 않으며, 열처리 온도에 따라서 59.4% ~ 66.5%의 유사한 오스테나이트 상분율을 가짐을 알 수 있다.

[0052] 표 1의 결과에 따라 듀플렉스 스테인리스 열연 강관의 상온 연신율이 40% 이상을 만족하는 소둔 온도는 1080℃ 이상임을 알 수 있다. 그리고, 1200℃까지 소둔 온도를 높일수록 소재의 상온 연신율이 증가하는 것을 알 수 있었으나, 열처리 온도의 상한선을 정한 이유는 그 이상의 온도에서 설비적인 한계가 있으므로, 1080℃~1200℃ 온도 범위에서 열처리하는 것이 바람직하다.

[0053] 상기와 같이, 듀플렉스 스테인리스강의 상온 연신율은 열처리 온도에 따른 오스테나이트 상의 안정화 지수 및 마르텐사이트 상으로의 상변태에 의해 커다란 영향을 받는다. 오스테나이트 상의 안정화 지수에는 소재에 포함되는 각 합금원소의 함량이 큰 영향을 미치며, 오스테나이트 안정화 지수에 미치는 각 합금원소의 영향은 하기 식과 같이 나타낼 수 있다.

[0054] 
$$\gamma \text{안정화 지수} = 497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$$

[0055] 본 발명에서는 각 열처리 온도에서 소재를 열처리한 후 전자현미경을 이용하여 각 상에 분배되어 있는 합금원소의 함량을 정량적으로 분석하였다. 마르텐사이트로 상변태를 일으키면서 소재의 연신율 향상에 기여하는 상은 오스테나이트 상이므로, 오스테나이트 상에 포함된 합금원소의 함량을 기준으로 안정화 지수 값을 계산한 결과를 표 2에 나타내었다.

[0056] 또한, 상온 연신율 평가 결과는 공칭 응력 - 공칭 변형률 값이므로 이를 진응력-진변형률 값으로 환산하여 마르텐사이트 상으로 변태되기 시작하는 임계 진변형률을 도출하여 표 2에 나타내었다.

표 2

[0057]

구분	소둔온도(℃)	소둔시간(초)	연신율(%)	$\gamma$ 안정화 지수	임계 진변형률
비교예 1	1000	48	37.9	50.29	0.0723
비교예 2	1040	48	38.9	46.16	0.0742
비교예 3	1060	48	39.1	43.17	0.0739
실시예 1	1080	48	40.5	39.69	0.0751
실시예 2	1100	48	41.4	35.67	0.0764
실시예 3	1150	48	42.6	30.83	0.0771
실시예 4	1200	48	43.1	28.39	0.0790

[0058] 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이, 열처리 온도가 증가할수록 안정화 지수 값이 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태되기 쉬워진다는 것을 의미한다. 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하면서 변형 시 외부에서 가해지는 에너지를 소진하므로 네킹(necking)의 발생이 지연되어 소재의 연신율이 증가하는 것을 의미한다.

[0059] 또한, 마르텐사이트로 변태된다고 하더라도 변태 속도가 너무 빠르면, 즉 이른 변형률에서 변태가 완료되면, 높은 강도에 의해 연신율은 오히려 감소할 수 있다. 이에 의해 열처리 온도 증가에 따라 임계 진변형률은 증가하여 소재의 연신율 증가에 마르텐사이트 변태가 기여함을 알 수 있었다.

[0060] 도 1은 본 발명의 듀플렉스 스테인리스 열연강관의 상온 연신율에 따른 임계 진변형률의 변화를 나타낸다.

[0061] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 연신율 40% 이상의 고연성 듀플렉스 열연 강관을 제조하기 위해서는 임계 진변형률이 0.075 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 또한, 이 같은 조건을 확보하기 위해서는 소재의 연속 소둔 온도를 1080℃ 이상의 온도에서 열처리해야 함을 알 수 있다.

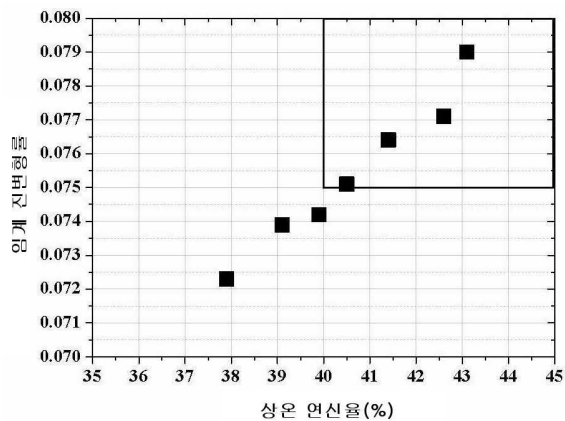
[0062] 도 2는 본 발명의 듀플렉스 스테인리스 열연강관의 상온 연신율에 따른 오스테나이트 상의 안정화도 지수를 나타낸다.

[0063] 도 2를 참조하면, 듀플렉스 스테인리스 열연강관이 상온 연신율 40% 이상을 확보하기 위해서는 안정화 지수 값이 40 이하가 되어야 함을 알 수 있다.

- [0064] 즉, 본 발명은 상온 연신율 및 성형성이 우수하고 고강도 특성을 가지는 듀플렉스 스테인리스강의 열연 강판 및 그의 제조방법에 대한 것으로, 상온 연신율이 40% 이상의 재질을 가지며, 오스테나이트 상의 안정화 지수가 40 이하가 되도록 한다. 이에 따라, 상온에서의 변형 시 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 변태하는 임계 진 변형량을 0.075 이상으로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0065] 또한, 본 발명은 부피분율로 50 ~ 70%의 오스테나이트 상과 30 ~ 50%의 페라이트 상으로 구성된 듀플렉스 주괴 또는 강판을 열간압연 및 권취하여 그 두께를 2.5mm 이하로 제어하고, 연속 소둔 공정에서 1080℃ 이상, 1200℃ 이하의 온도에서 소둔하여 하기 식으로 표현되는 오스테나이트 상의 안정화도를 40 이하로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0066]  $\gamma$  안정화 지수 =  $497 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 20Ni - 18.7Mo$
- [0067] 상기와 같이 오스테나이트 상의 안정화도를 40 이하로 제어할 경우, 상온에서 강의 변형 시에 오스테나이트 상이 마르텐사이트 상으로 상변태하는 임계 진 변형율이 0.075 이상이 되어 상온에서의 연신율이 우수한 듀플렉스 스테인리스 열연강판을 제조할 수 있는 것을 특징으로 한다.
- [0068] 본 발명의 기술 사상은 상기 바람직한 실시예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 변형예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.
- [0069] 전술한 발명에 대한 권리범위는 이하의 특허청구범위에서 정해지는 것으로써, 명세서 본문의 기재에 구속되지 않으며, 청구범위의 균등 범위에 속하는 변형과 변경은 모두 본 발명의 범위에 속할 것이다.

**도면**

**도면1**





도면2

