



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0069338  
(43) 공개일자 2017년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/58 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)  
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)  
C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/42 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/58 (2013.01)  
C21D 8/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0176012

(22) 출원일자 2015년12월10일  
심사청구일자 2015년12월10일

(71) 출원인

주식회사 포스코

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자

김선미

경상북도 포항시 남구 동해안로 6262 포항제철소 내 (동촌동)

하만진

경상북도 포항시 남구 동해안로 6262 포항제철소 내 (동촌동)

정성인

서울특별시 강남구 테헤란로 440 (대치동, 포스코 센터)

(74) 대리인

특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법**

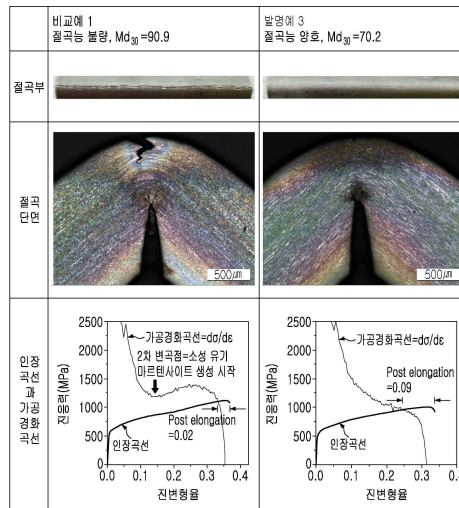
(57) 요약

본 발명의 일 측면은 중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 오스테나이트 및 페라이트로 이루어지며, 하기 Md30이 50이상 90이하인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 에 관한 것이다.

$$Md30 = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29Ni - 29Cu - 18.5Mo$$

(단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*C21D 8/0226* (2013.01)

*C21D 8/0236* (2013.01)

*C21D 8/0273* (2013.01)

*C22C 38/001* (2013.01)

*C22C 38/02* (2013.01)

*C22C 38/04* (2013.01)

*C22C 38/42* (2013.01)

*C21D 2211/001* (2013.01)

*C21D 2211/005* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 오스테나이트 및 페라이트로 이루어지며, 하기 Md30이 50이상 90이하인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강.

$$Md30 = 551-462(C+N)-9.2Si-8.1Mn-13.7Cr-29Ni-29Cu-18.5Mo$$

(단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 오스테나이트는 40~60면적%인 것을 특징으로 하는 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 3**

제 1항에 있어서,

상기 스테인리스강의 연신율은 30%이상인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 4**

제 1항에 있어서,

상기 스테인리스강을 절곡시 총 변형율에서 네킹 발생 시작점의 변형율을 뺀 값인 post-elongation이 0.04이상인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 5**

제 1항에 있어서,

상기 스테인리스강을 절곡시 진응력을 진변형율로 미분한 가공경화곡선( $d\sigma/d\varepsilon$ )이 2차 변곡점 이후 영역에서 접선의 기울기가 음의 값을 갖는 것을 특징으로 하는 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강.

**청구항 6**

중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 Md30이 50이상 90이하인 열연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계;

상기 소둔된 열연강판을 냉간압연하여 냉연강판을 얻는 단계; 및

상기 냉연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계를 포함하는 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법.

$$Md30 = 551-462(C+N)-9.2Si-8.1Mn-13.7Cr-29Ni-29Cu-18.5Mo$$

(단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 오스테나이트 상과 페라이트 상이 혼합된 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트계 및 페라이트계가 가지는 모든 장점을 가지고 있는바, 현재까지 다양한 종류의 듀플렉스 스테인리스강이 개발되어 왔다.

[0003] 특허문헌 1에는 "고강도, 고연성 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법"이 개시되어 있다. 이는, 그 입자 평균 직경이 10 $\mu$ m인 오스테나이트계 조직의 부피 분율이 20 ~ 95%를 차지하며, 나머지는 페라이트계 조직으로 이루어진 듀플렉스 스테인리스강에 관한 것으로, 중량 %로, C : 0.10% 이하, Si : 2.0% 이하, Mn : 4.0% 이하, P : 0.040% 이하, S : 0.010% 이하, Ni : 4.0% 이하, Cr : 10.0 ~ 20.0%, N : 0.12% 이하, B : 0.0050 ~ 0.0300%, O : 0.02% 이하, Cu : 4.0% 이하를 필수적으로 포함하고, 추가적으로 Al : 0.20% 이하, Mo: 3.0% 이하, REM 0.20% 이하, Y : 0.20% 이하, Ca : 0.10% 이하, Mg : 0.10% 이하 및 기타 불가피한 불순물을 포함한다.

[0004] 그러나, 이러한 듀플렉스 스테인리스강은 Ni, Mo 등의 고가 원소를 포함하고 있어 제조 비용이 높다는 문제점이 있었다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 듀플렉스 스테인리스강 중에서도 Ni 및 Mo 등의 고가 합금 원소를 배제하고, 이들 원소를 대신하여 저 원가의 합금원소를 첨가함으로써 합금 비용의 장점을 더욱 향상시킨 린 듀플렉스 스테인리스강(Lean Duplex Stainless Steel)에 대한 관심이 증대되고 있다.

[0005] 최근 개발되고 있는 고질소 린 듀플렉스 스테인리스강은 고가의 니켈(Ni) 대신 저렴한 질소(N)를 첨가하여, 오스테나이트와 페라이트의 2상조직을 가지고, 내식성을 향상시킨 신강종이다. 고질소 듀플렉스 스테인리스강은 연신율이 30% 이상으로, 듀플렉스 스테인리스강 집단 중에서는 우수하다.

[0006] 그러나, 고질소 듀플렉스 스테인리스강은 절곡시 절곡부에 변형이 국부적으로 집중되기 때문에 균열이 발생하기 쉬운 문제점이 있다. 특히, 절곡 방향이 압연 방향과 평행이 되도록 하여 절곡할 경우 균열이 보다 더 발생하기 쉽다.

[0007] 따라서, 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 대한 개발이 요구되고 있는 실정이다.

[0008] 상기한 배경기술로서 설명된 사항들은 본 발명의 배경에 대한 이해 증진을 위한 것일 뿐, 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래기술에 해당함을 인정하는 것으로 받아들여져서는 안 될 것이다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 미국등록특허 제5624504호(1997.4.29.)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0010] 상기와 같은 요구에 따라, 본 발명은 듀플렉스 스테인리스강의 절곡시 절곡부에서 발생하는 균열을 방지함으로써 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법을 제공하기 위함이다.

[0011] 한편, 본 발명의 과제는 상술한 내용에 한정하지 않는다. 본 발명의 과제는 본 명세서의 내용 전반으로부터 이해될 수 있을 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 본 발명의 부가적인 과제를 이해하는데 아무런 어려움이 없을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0012] 본 발명의 일 측면은 중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 오스테나이트 및 페라이트로 이루어지며, 하기 Md30이 50이상 90이하인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 에 관한 것이다.

[0013]  $Md30 = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29Ni - 29Cu - 18.5Mo$

[0014] (단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

[0015] 또한, 본 발명의 다른 일 측면은 중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 Md30이 50이상 90이하인 열연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계; 상기 소둔된 열연강판을 냉간압연하여 냉연강판을 얻는 단계; 및 상기 냉연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계를 포함하는 절곡 능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법에 관한 것이다.

[0016]  $Md30 = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29Ni - 29Cu - 18.5Mo$

[0017] (단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

[0018] 덧붙여 상기한 과제의 해결수단은, 본 발명의 특징을 모두 열거한 것은 아니다. 본 발명의 다양한 특징과 그에 따른 장점과 효과는 아래의 구체적인 실시형태를 참조하여 보다 상세하게 이해될 수 있다.

**발명의 효과**

[0019] 본 발명에 의하면, 듀플렉스 스테인리스강의 합금조성을 적절히 제어함으로써 절곡시 절곡부에서 발생하는 균열 을 방지하여 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법을 제공할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0020] 도 1은 비교예 1의 절곡 후 균열부의 미세조직을 나타낸 도면이다.

도 2는 일반적인 금속 소재에서 진변형율과 진응력으로 표현된 인장 곡선과, 이를 미분한 가공경화 곡선의 개념

도이다.

도 3은 본 발명에서 실시한 절곡용 시편의 가공 규격과 방향에 관한 개념도이다.

도 4는 비교예 1과 발명에 3의 절곡부 형상, 절곡단면, 인장곡선과 가공경화곡선을 비교한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0021] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 형태들을 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시 형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다.

[0022] 본 발명자들은 고질소 고연성 듀플렉스 스테인리스강의 절곡시 절곡부에 변형이 국부적으로 집중되기 때문에 균열이 발생하는 문제점을 인지하고, 이를 해결하기 위하여 깊이 연구하였다.

[0023] 그 결과, 합금조성을 보다 정밀하게 제어하고, 오스테나이트의 안정도를 낮춤으로써 절곡능을 향상시킬 수 있음을 확인하고, 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

[0024] 보다 상세히 설명하면, 고질소 고연성 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트와 페라이트 상의 이상조직을 갖으며, 오스테나이트상은 상온에서 안정한 상태가 아니기 때문에, 변형이 가해질 경우, 소성 유기 마르텐사이트로 변태하게 되는데, 마르텐사이트는 내부 변형 축적도가 크기 때문에 매우 경도가 높은 특징을 갖는다.

[0025] 하기 표 1은 초미소 경도로 측정된 비교예의 고질소 듀플렉스 스테인리스강의 각 상 별 경도이다. 측정 위치에 따라 결과에 편차가 있으며, 비커스 경도 측정법으로 측정되어 단위는 Hv이다. 페라이트는 200~250 Hv, 오스테나이트는 그 보다 높은 300~350 Hv 사이의 값을 보인다. 소성 유기 마르텐사이트는 가장 경도가 높아 400~500 Hv를 나타낸다. 합금 조성에 따라 조금씩 달라지나, 표 1에 표기한 편차 내의 값을 나타낸다.

**표 1**

|        |        |         |         |              |
|--------|--------|---------|---------|--------------|
| [0026] | 미세조직   | 페라이트    | 오스테나이트  | 소성 유기 마르텐사이트 |
|        | 경도(Hv) | 200~250 | 300~350 | 400~500      |

[0027] 도 1은 기존의 고질소 고연성 듀플렉스 스테인리스강의 절곡 후 균열부의 미세조직이다. 연한 갈색의 상은 페라이트, 흰색의 상은 오스테나이트이며, 흰 색 상 내에 지지분하게 존재하는 연한 갈색의 상이 오스테나이트로부터 변태한 소성 유기 마르텐사이트이다.

[0028] 도 1의 균열이 발생한 절곡부를 자세히 관찰하면 소성 유기 마르텐사이트가 집중적으로 형성되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 소성 유기 마르텐사이트가 형성된 상 경계를 따라 균열이 생성 및 진전되는 형상을 나타낸다. 이는 절곡 시 가해지는 힘에 의해 오스테나이트가 소성 유기 마르텐사이트로 변태하게 되고, 소성 유기 마르텐사이트와 페라이트 상 간의 경도 차이가 더욱 커짐으로 인해 균열 형성 및 전파를 조장하기 때문이다.

[0029] 경도가 높은 소성 유기 마르텐사이트와 연한 페라이트 상 간 경도차는 매우 크기 때문에, 소성 유기 마르텐사이트가 생성될 경우, 상 경계에서는 균열이 발생하기 쉬울 뿐만 아니라, 전파하기에도 용이하다.

[0030] 절곡부는 변형이 국부적으로 집중되는 영역으로, 오스테나이트가 소성 유기 마르텐사이트로 변태함에 따른 균열 발생으로 인한 품질이 저하 문제를 해결하기 위한 방안이 필요하다. 따라서, 오스테나이트의 안정도를 확보하여 소성 유기 마르텐사이트의 생성을 지연시킨다면, 소성 유기 마르텐사이트와 페라이트 상 사이에서 균열이 발생하는 것을 방지하고, 균열의 전파를 지연시킴으로써 절곡부의 품질을 향상시킬 수 있다.

[0031] 소성 유기 마르텐사이트는 오스테나이트의 안정도가 높을수록, 결정립 크기가 작을수록, 주위 온도가 높을수록

생성을 지연시킬 수 있기 때문에, 영향 인자를 조정함으로써 절곡부 품질 향상이 가능하다.

[0032] 상기 세 가지 영향 인자 중, 결정립 크기를 감소하기 위해서는 높은 압하율과 소둔온도 조절이 필요한데, 이를 위해서는 추가적인 금액 소모가 요구된다. 또한 절곡 시 온도의 상승 역시 비용 소모가 있기 때문에, 바람직하지 않다.

[0033] 따라서, 본 발명에서는 합금조성을 제어함으로써 오스테나이트의 안정도를 향상시켜 절곡부의 균열을 억제하고자 하였다.

[0034] 이하, 본 발명의 일 측면에 따른 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강에 대하여 상세히 설명한다.

[0035] 본 발명의 일 측면에 따른 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강은 중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 오스테나이트 및 페라이트로 이루어지며, 하기 Md30이 50이상 90이하인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강에 관한 것이다.

[0036]  $Md30 = 551 - 462(C+N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29Ni - 29Cu - 18.5Mo$

[0037] (단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다.)

[0038] 먼저, 본 발명의 일 측면에 따른 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 합금조성에 대하여 상세히 설명한다. 이하, 각 원소 함량의 단위는 중량%이다.

[0039] C: 0.1% 이하

[0040] C는 오스테나이트상 형성 원소로 고용 강화에 의한 재료 강도 증가에 유효한 원소로 알려져 있다. 그러나, 과다 첨가시 페라이트-오스테나이트 상 경계에서 내식성에 유효한 Cr과 같은 탄화물 형성 원소와 쉽게 결합하여 결정립계 주위의 Cr 함량을 낮추어 내부식성을 감소시키기 때문에, 내식성을 극대화하기 위해서는 0.1% 이하로 첨가하는 것이 바람직하다.

[0041] 상술한 바와 같이 C는 내식성을 저하시키는 원소이므로 불가피하게 첨가되는 양을 제외하면 그 함량이 적을수록 내식성 측면에서 유리하기 때문에 특별히 그 하한을 한정하지는 않는다.

[0042] Mn: 1.0~4.0%

[0043] Mn은 탈산제 및 질소 고용도를 증가시키는 원소이며, 오스테나이트 형성 원소로 고가의 Ni을 대체하여 첨가된다. Mn 함량이 4.0%를 초과하여 첨가되면 304강 수준의 내식성 확보가 어려워지는바, Mn이 그 이상 첨가되는 경우, 질소 고용도를 개선하는 효과가 있으나 강 중의 S와 결합하여 MnS를 형성하고 내식성을 저하시키는 단점이 있다. 또한, Mn의 함량이 1.0% 미만인 경우, 오스테나이트 형성 원소인 Ni, Cu, N등을 조절하여도 적절한 오스테나이트 상분율의 확보가 어렵고, 첨가되는 N의 고용도가 낮아서 상압에서 질소의 충분한 고용을 얻을 수 없다. 따라서, Mn의 함량을 1.0 ~ 4.0%로 제한 하는 것이 바람직하다.

[0044] Ni: 0.3~2.5%

[0045] Ni은 Mn, Cu 및 N와 함께 오스테나이트 안정화 원소로, 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트상의 확보에 주된 역할을 한다. 원가 절감을 위하여 가격이 비싼 Ni 함량을 최대한 감소시키는 대신에 다른 오스테나이트상 형성 원소인 Mn과 N을 증가시켜서 Ni의 저감에 의한 상분율 균형을 충분히 유지할 수 있다. 그러나, 냉간 가공시 발생하는 소성 유기 마르텐사이트 형성을 억제함으로써 충분한 오스테나이트상의 안정도 확보를 위하여 0.3% 이상 첨가하여야 한다. Ni를 많이 첨가하면 오스테나이트상 분율이 증가하여 적절한 오스테나이트 분율 확보가 어렵

고, 특히 고가인 Ni로 인한 제품의 제조 비용 증가로 304강 대비 경쟁력 확보가 어렵다. 따라서, Ni의 함량을 0.3 ~ 2.5%로 제한함이 바람직하다.

[0046] N: 0.15~0.3%

[0047] N는 듀플렉스 스테인리스강에서 Ni와 함께 오스테나이트 상의 안정화에 크게 기여하는 원소로, 소둔 열처리시 오스테나이트상에 농화되는 원소 중의 하나이다. 따라서, N 함량을 증가시킴으로써 부수적으로 내식성 향상 및 강도 향상을 꾀할 수 있으나, 첨가된 Mn의 함량에 따라 N의 고용도가 변화될 수 있으므로, 그 함량 조절이 필요하다.

[0048] 본 발명의 Mn 범위에서 N 함량이 0.3% 를 초과하면, 질소 고용도 초과에 의해 주조시 블로우홀(blow hole) 및 핀홀(pin hole) 등이 발생하여, 제품의 표면 결함이 유발되는 문제점이 있다. 반면에 304강 정도의 내식성을 확보하기 위해서는 N을 0.15% 이상 첨가할 필요성이 있으며, N 함량이 너무 낮으면 적절한 상분율 확보가 곤란해진다. 따라서, N 함량은 0.15 ~ 0.3%로 제한하는 것이 바람직하다.

[0049] Cr: 18~21.5%

[0050] Cr은 Si와 함께 페라이트 안정화 원소로 2상 스테인리스강의 페라이트상 확보에 주된 역할을 할 뿐만 아니라, 내식성 확보를 위한 필수 원소이다. Cr의 함량을 증가시키면 내식성이 증가하지만, 상분율 유지를 위하여 고가의 Ni이나 기타 오스테나이트 형성 원소 함량을 증가시켜야 하는 단점이 있다. 따라서, 2상 스테인리스강의 상분율을 유지하면서 304강 이상의 내식성을 확보하기 위해서 Cr의 함량을 18~21.5% 로 제한한다. 보다 바람직하게는 20~21.5%로 제한할 수 있다.

[0051] Si: 0.2~1.45%

[0052] Si는 탈산효과를 위하여 일부 첨가되며, 페라이트상 형성 원소로 소둔 열처리시 페라이트에 농화되는 원소이다. 따라서, 적절한 페라이트 상분율 확보를 위하여 0.2% 이상 첨가하여 한다. 그러나, 그 함량이 과다한 경우, 페라이트상의 경도를 증가시켜서 연신율을 저하시키게 되는데, 연신을 확보에 영향을 미치는 오스테나이트상 확보를 어렵게 한다. 또한, 과다 첨가시에는 제강 공정에서 슬래그 유동성을 저하시키고, 산소와 결합하여 개재물을 형성, 내식성을 저하시키게 된다. 따라서, Si 함량은 0.2~1.45%로 제한하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.2~1.25%이다. 보다 더 바람직하게는 0.75~1.25%이다.

[0053] Cu: 0.3~2.5%

[0054] 원가 절감을 위하여 Cu 함량은 최소한으로 낮추는 것이 바람직하나, 냉간 가공시 발생하는 소성 유기 마르텐사이트 형성을 억제함으로써 충분한 오스테나이트상의 안정도 확보를 위하여 0.3% 이상 첨가되어야 한다. 반면 Cu 함량이 2.5% 를 초과하는 경우, 열간 취성에 의해 제품 가공이 어려워지는 문제점이 있다. 따라서, Cu 함량은 0.3 ~ 2.5%로 제한하는 것이 바람직하다

[0055] 본 발명의 나머지 성분은 철(Fe)이다. 다만, 통상의 제조과정에서는 원료 또는 주위 환경으로부터 의도되지 않는 불순물들이 불가피하게 혼입될 수 있으므로, 이를 배제할 수는 없다. 이들 불순물들은 통상의 제조과정의 기술자라면 누구라도 알 수 있는 것이기 때문에 그 모든 내용을 특별히 본 명세서에서 언급하지는 않는다. 예를 들어, 불순물로 P, S, Al 등이 포함될 수 있다.

[0056] 또한, 상술한 합금조성이 하기 Md30이 50이상 90이하를 만족하도록 제어되어야 한다.

[0057]  $Md30 = 551-462(C+N)-9.2Si-8.1Mn-13.7Cr-29Ni-29Cu-18.5Mo$

[0058] 단, 상기 관계식에서 각 원소기호는 각 원소의 농도를 중량%로 나타낸 값이다. 또한, 본 발명에서 포함하지 않는 Mo의 경우 0으로 계산한다.



- [0059] 본 발명에서는 오스테나이트의 안정도를 변화하기 위한 수단으로 상술한 합금조성이 하기 Md30이 50이상 90이하를 만족하도록 합금조성을 조절했다. 오스테나이트의 안정도가 높은 경우에는 소성 유기 마르텐사이트 형성이 지연되기 때문에, 낮은 경우에는 적은 변형에 의해서도 소성 유기 마르텐사이트가 빠르게 형성되기 때문에 연신율이 크게 감소한다. 따라서 본 발명에서는 절곡시 발생하는 소성 유기 마르텐사이트 형성을 지연시키기 위해 적절한 오스테나이트 안정도를 설정할 필요가 있다.
- [0060] 오스테나이트의 안정도는 Md<sub>30</sub>으로 표현할 수 있으며, Md<sub>30</sub>은 진변형율 0.3에서 오스테나이트로부터 마르텐사이트가 50% 생성되는 온도를 의미한다. Md<sub>30</sub>이 낮을수록 오스테나이트의 안정도가 높아지므로, 합금조성의 농도를 변경하여 Md<sub>30</sub>을 감소시킴으로써 소성 유기 마르텐사이트의 생성을 지연시킬 수 있다.
- [0061] Md30이 90초과인 경우에는 오스테나이트의 안정도가 낮아 적은 변형에 의해서도 소성 유기 마르텐사이트가 빠르게 형성되기 때문에 절곡부에 균열이 발생하게 된다.
- [0062] 반면에, Md30이 50 미만인 경우에는, 오스테나이트의 안정도가 불필요하게 높아 소성 유기 마르텐사이트의 생성이 필요 이상으로 지연시킨다. Md30이 50미만이라는 것은 곧 합금 조성이 과다하게 첨가되었다고 볼 수 있으며, 과한 합금 조성 첨가는 오스테나이트와 페라이트 상분율의 불균형을 초래할 뿐만 아니라, 오스테나이트와 페라이트 상 간 경도 격차를 더 크게 하며, 그로 인해 절곡부에서 균열이 발생하게 되는 문제점이 있다.
- [0063] 따라서, Md30은 50이상 90미만인 것이 바람직하다.
- [0064] 본 발명의 일 측면에 따른 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 미세조직은 오스테나이트 및 페라이트로 이루어진다. 다만, 불가피하게 다른 조직이 미량 포함될 수 있다.
- [0065] 또한, 상기 오스테나이트는 40~60면적%인 것이 바람직하다.
- [0066] 오스테나이트와 페라이트의 상분율의 불균형이 너무 심해질 경우 절곡부의 품질이 열위해질 수 있기 때문이다.
- [0067] 또한, 본 발명의 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강은 연신율이 30%이상일 수 있다.
- [0068] 한편, 상기 스테인리스강을 절곡시 총 진변형율에서 네킹 발생 시작점의 진변형율을 뺀 값인 post-elongation이 0.04 이상일 수 있다.
- [0069] 오스테나이트의 안정도 향상에 따른 소성 유기 마르텐사이트 생성 지연 효과는 도 2와 같이 인장 곡선의 진응력-진변형율로부터 수치적으로 나타낼 수 있다.
- [0070] 도 2는 일반적인 금속 소재에서 진변형율과 진응력으로 표현된 인장 곡선과, 이를 미분한 가공경화 곡선의 개념도를 나타낸다. 두 곡선이 만나는 지점에서 국부 변형인 네킹이 시작되며, 네킹 시작점으로부터 총 변형율 까지를 post-elongation이라고 칭한다.
- [0071] 도 2에서 진응력( $\sigma$ )과 진변형율( $\epsilon$ )은, 인장 시험 과정에서 측정되는 응력과 변형율로부터, 시편의 형상이 변화함에 따라 응력과 변형율이 변화하는 것을 감안하여 계산된 값으로, 하기 식들로 계산될 수 있다.
- [0072] 진응력( $\sigma$ )=응력\*(1+변형율)
- [0073] 진변형율( $\epsilon$ )=ln(1+변형율)
- [0074] 진응력을 진변형율로 미분한 가공경화곡선( $d\sigma/d\epsilon$ )은 소재의 순간적인 변형율 변화에 따른 응력의 변화를 나타낸 것으로, 소성 유기 마르텐사이트가 생성되는 경우 2차 변곡점 이후에 가공경화곡선의 접선이 양(+)<sup>2</sup>의 값을 갖는 영역이 뚜렷하게 나타나며, 소성 유기 마르텐사이트 생성이 계속되는 동안은 접선의 기울기가 양(+)<sup>2</sup>의 값

을 나타내다가, 과단 전에 음(-)의 값을 갖는 구간이 나타난다. x축이 진변형율, y축이 진응력으로 이루어진 동일 그래프에 진응력-진변형율 곡선과 가공경화곡선-진변형율 관계를 나타냈을 때, 두 곡선이 만나는 점은 소성 불안정 영역이 시작되는 지점으로서, 일반적으로 이 교차점을 소재의 국부 인장변형인 네킹(necking)이 발생하기 시작하는 지점이라고 일컬으며, 하기 식과 같이 총 진변형율에서 네킹 발생 시작점의 진변형율을 뺀 값을 post-elongation이라고 칭한다.

[0075]  $\text{post-elongation} = \text{총 진변형율} - \text{네킹 발생 시작 진변형율}$

[0076] 따라서, 오스테나이트의 안정도가 향상될수록 소성 유기 마르텐사이트의 생성이 지연됨에 따라, 네킹이 시작되는 변형율이 감소하여 결국 post-elongation이 증가하는 효과가 나온다. 즉, post-elongation과 절곡능은 비례하는 관계로 설명할 수 있다.

[0077] post-elongation이 0.04 미만인 경우 소성 유기 마르텐사이트의 생성이 가속화되기 때문에 절곡부에 균열이 발생할 수 있다.

[0078] 또한, 상기 스테인리스강을 절곡시 진응력을 진변형율로 미분한 가공경화곡선( $d\sigma/d\epsilon$ )이 2차 변곡점 이후 영역에서 접선의 기울기가 음의 값을 갖을 수 있다.

[0079] 소성 유기 마르텐사이트의 발생은 소재의 인장 곡선에서, 진응력을 진변형율로 미분한 가공경화곡선의 2차 변곡점 이후의 접선의 기울기가 계속 음(-)의 값을 갖는지, 양(+)의 값을 갖는 영역이 나타나는지의 여부로 확인할 수 있으며, 오스테나이트의 안정도가 향상되는 경우 소성 유기 마르텐사이트 생성이 지연됨으로 인해 2차 변곡점 이후의 가공경화 곡선은 계속 음의 값을 갖는다. 따라서, 오스테나이트의 안정도를 관리하여, 소성 유기 마르텐사이트의 생성이 지연됨으로 인해, 소재의 절곡시, 절곡부에 균열이 발생하지 않아 절곡능이 향상된 고질소 고연성 듀플렉스 스테인리스강을 얻을 수 있다.

[0080] 이하, 본 발명의 다른 일 측면인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법에 대하여 상세히 설명한다.

[0081] 본 발명의 다른 일 측면인 절곡능이 향상된 듀플렉스 스테인리스강의 제조방법은 중량%로, C: 0.1% 이하, Mn: 1.0~4.0%, Ni: 0.3~2.5%, N: 0.15~0.3%, Cr: 18~21.5%, Si: 0.2~1.45%, Cu: 0.3~2.5%, 나머지 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 Md30이 50이상 90이하인 열연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계; 상기 소둔된 열연강판을 냉간압연하여 냉연강판을 얻는 단계; 및 상기 냉연강판을 1050℃ 내지 1150℃의 온도로 소둔열처리하는 단계를 포함한다.

[0082] 열연강판 및 냉연강판에 대하여 소둔열처리를 실시하지 않으면 열간압연 또는 냉간압연 과정에서 쌓인 변형이 그대로 남아있기 때문에 절곡능 등을 열위할게 할 수 있기 때문이다. 또한, 소둔 온도를 1050℃ 내지 1150℃로 한정하는 이유는 오스테나이트 40~60%의 상분율을 얻기 위함이다.

[0083] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 한다. 다만, 하기의 실시예는 본 발명을 예시하여 보다 상세하게 설명하기 위한 것일 뿐, 본 발명의 권리범위를 한정하기 위한 것이 아니라는 점에 유의할 필요가 있다. 본 발명의 권리범위는 특허청구범위에 기재된 사항과 이로부터 합리적으로 유추되는 사항에 의해 결정되는 것이기 때문이다.

[0084] (실시예)

[0085] 하기 표 2에 나타난 성분조성을 갖는 50 kg 잉곳을 제조하여, 1200℃에서 2시간 소둔 -> 97%의 압하율로 열간

압연 → 1100℃에서 3분간 소둔 후 공냉 → 50%의 압하율로 냉간 압연 → 1100℃에서 3분간 소둔 후 공냉의 공정을 거쳐 1.5 mm 두께의 판재로 가공한 후 도 3과 같이 규격에 맞게 절곡용 시편을 가공했다. 단, 하기 표 2에서 각 원소 함량의 단위는 중량%이며, P, S, Al은 불순물로 포함된 것이다.

[0086] 절곡부는 실제 적용을 모사하고, 실험 조건을 가장 가혹하게 설정하기 위해 기계 가공으로 90도의 각도를 갖는 노치를 냈으며, 노치를 따라 소재를 90도로 절곡했다. 그 후 절곡부의 표면 형상과 단면을 관찰하여 합금 조성의 효과를 확인했다. 인장 곡선을 측정하기 위한 시편은 압연 방향과 90도 수직인 방향의 개뼈(dog-bone) 형상으로 ASTM A370 규격에 따라 가공했다. 인장 시험 조건은 온도 25℃에서 변형속도 20 mm/min 으로 수행되었다.

[0087] 규격에 따라 시험을 수행한 후 연신율을 측정하고, 절곡부 품질을 하기 기준에 따라, 육안으로 절곡부의 표면 형상과 단면을 관찰하여 0(불량)부터 1(양호)까지 수치로 측정하여 표 2에 표기했다. 또한, 합금 조성에 따른 오스테나이트의 안정도를 실험적으로 관찰하기 위해 인장 곡선으로부터 가공경화곡선의 2차 변곡점 발생여부와 post-elongation을 측정했다.

[0088] 절곡부 품질

[0089] 0(불량): 절곡부에 조대한 균열이 형성

[0090] 0.3: 절곡부에 매우 미세한 균열과 심한 주름 발생

[0091] 1(양호): 절곡부에 균열은 없고, 약간의 주름 발생

[0092] 모든 소재는 절곡 후 90도의 형상을 유지했으며, 절곡부의 품질을 수치화하여 표2에 조성, Md30, 연신율과 함께 나타냈다. 이 중에서 비교예 1과 발명에 3의 절곡부 형상, 절곡단면, 인장곡선과 가공경화곡선을 도 4에 상세히 비교했다.

표 2

[0093]

| 구분   | C     | Si    | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni   | Cu   | Al    | N     |
|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 비교예1 | 0.036 | 0.761 | 2.88 | 0.005 | 0.005 | 19.29 | 0.81 | 0.74 | 0.003 | 0.225 |
| 비교예2 | 0.031 | 0.757 | 2.84 | 0.005 | 0.004 | 18.6  | 0.81 | 0.75 | 0.003 | 0.242 |
| 발명예1 | 0.032 | 0.785 | 2.84 | 0.005 | 0.004 | 20.47 | 0.81 | 0.76 | 0.003 | 0.228 |
| 발명예2 | 0.031 | 0.750 | 2.86 | 0.005 | 0.004 | 21.35 | 0.81 | 0.74 | 0.003 | 0.257 |
| 비교예3 | 0.033 | 0.761 | 2.82 | 0.005 | 0.004 | 21.7  | 0.8  | 0.75 | 0.003 | 0.245 |
| 비교예4 | 0.032 | 0.752 | 2.83 | 0.005 | 0.004 | 22    | 0.81 | 0.75 | 0.003 | 0.24  |
| 발명예3 | 0.031 | 0.93  | 2.82 | 0.005 | 0.004 | 20.38 | 0.81 | 0.74 | 0.003 | 0.240 |
| 발명예4 | 0.032 | 1.24  | 3.00 | 0.005 | 0.004 | 20.61 | 0.81 | 0.75 | 0.003 | 0.230 |
| 비교예5 | 0.032 | 1.5   | 2.95 | 0.005 | 0.004 | 20.57 | 0.81 | 0.74 | 0.003 | 0.245 |

표 3

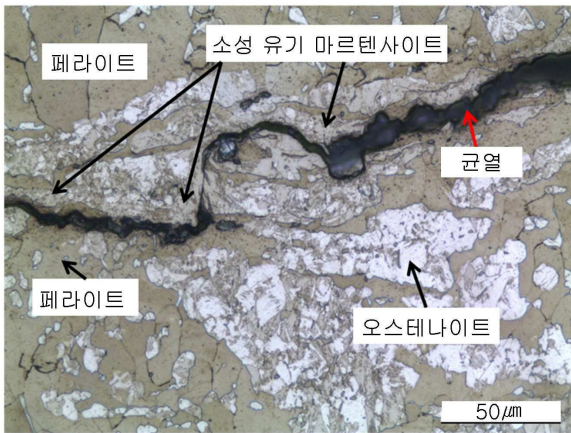
[0094]

| 구분   | Md30 | 연신율 | 절곡부 품질 | post-elongation | 2차 변곡점 이후 접선의 기울기 |
|------|------|-----|--------|-----------------|-------------------|
| 비교예1 | 90.9 | 40  | 0      | 0.035           | 양                 |
| 비교예2 | 94.8 | 35  | 0      | 0.01            | 양                 |
| 발명예1 | 74.7 | 55  | 1      | 0.043           | 음                 |
| 발명예2 | 50.4 | 42  | 1      | 0.109           | 음                 |
| 비교예3 | 50.5 | 38  | 0.3    | 0.03            | 음                 |
| 비교예4 | 48.9 | 31  | 0.3    | 0.02            | 음                 |
| 발명예3 | 70.2 | 54  | 1      | 0.053           | 음                 |
| 발명예4 | 66.7 | 48  | 1      | 0.114           | 음                 |
| 비교예5 | 58.6 | 40  | 0.3    | 0.03            | 음                 |

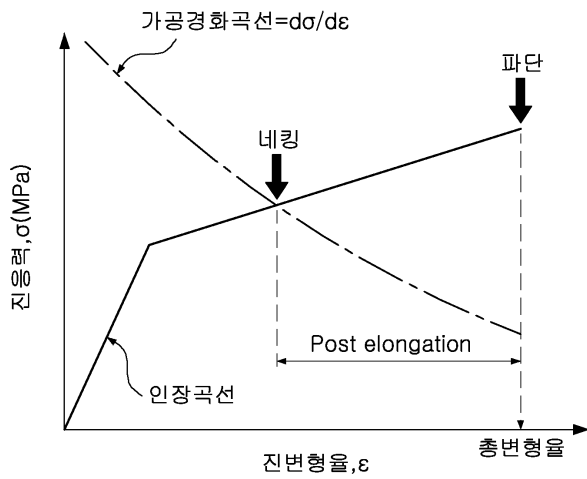
- [0095] Md30이 90초과인 비교예 1 및 2는 절곡부에 균열이 발생했고 단면 관찰시 깊이 300  $\mu\text{m}$  이상의 크기를 나타냈다. 절곡능이 매우 불량한 이유는 가공경화 곡선에서 2차 변곡점이 발생한 것으로부터 오스테나이트의 안정도가 낮아 소성 유기 마르텐사이트가 발생했기 때문으로 설명할 수 있다. 또한, 인장 곡선과 가공경화 곡선으로부터 측정된 post-elongation이 0.04미만이었다.
- [0096]
- [0097] 그러나 Md30이 70.2인 발명예 3은 절곡부에 주름이 약간 발생한 정도로 절곡부의 품질이 양호하여 절곡능이 향상된 효과를 확인했다. 오스테나이트의 안정도가 향상되어 가공경화 곡선은 모든 영역에서 접선의 기울기가 양의 값을 가지며, 인장곡선과 가공경화 곡선으로부터 측정된 post-elongation은 0.053이었다.
- [0098] 절곡부의 품질과 post-elongation 관계는 표 2를 보면 알 수 있듯이, post-elongation이 0.04이상인 경우 절곡부에서 균열이 발생하지 않아 절곡능이 양호한 고질소 듀플렉스 스테인리스강을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0099] 오스테나이트의 안정도인  $Md_{30}$ 과 비교해보면,  $Md_{30}$ 이 50이상 90이하일 때 절곡부의 품질이 양호했다. 이 때의 post-elongation은 0.04이상인 조건으로 설정된다. 따라서 오스테나이트의 안정도를 향상시킴으로써 post-elongation이 증가하고, 그에 따라 절곡능이 향상됨을 확인했다. 따라서, 고질소 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트 안정도에 따른 성분계를 도출하고, 인장 시험을 통해 오스테나이트의 안정도를 수식적으로 측정하여, 절곡 시험 결과와 연결지음으로써, 적절한 합금 성분 범위에서 절곡부 품질이 향상된 개선 효과를 확인했다.
- [0100] 도4는 비교예 1와 발명예 3의 절곡부 형상과 인장곡선에 관한 것이다. 비교예는 절곡부를 따라 뚜렷하게 균열이 관찰되었으며, 두께방향으로 균열의 깊이는 300  $\mu\text{m}$  이다. 비교예 1의 가공경화 곡선은 2차 변곡점 이후 영역(진 변형율 0.12~0.3 영역)의 접선의 기울기가 양의 값을 갖는다. 소성 유기 마르텐사이트가 발생함을 알 수 있으며, 측정된 post-elongation은 0.02이다. 이와 반대로 발명예 3의 절곡부는 미약한 주름만이 발생했으며 균열이 관찰되지 않았다. 가공경화 곡선은 2차 변곡점이 이후 영역에서 접선의 기울기가 모두 음의 값을 갖기 때문에 소성 유기 마르텐사이트의 생성이 지연되었음을 알 수 있으며, 측정된 post-elongation은 0.09이다.
- [0101] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

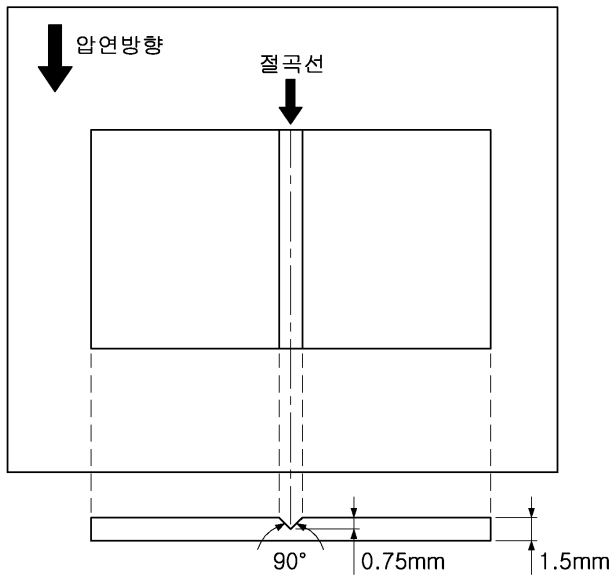
도면1



도면2



도면3



도면4

|                         | 비교예 1<br>절곡능 불량, $Md_{30}=90.9$  | 발명예 3<br>절곡능 양호, $Md_{30}=70.2$  |
|-------------------------|--|--|
| 절곡부                     |  |  |
| 단면                      |  |  |
| 인장곡선<br>과<br>가공경화<br>곡선 | <p>인장력 (MPa)<br/>진변형률<br/>가공경화곡선=<math>d\sigma/de</math><br/>2차 변곡점=소성 유기 마르텐사이트 생성 시작<br/>인장곡선<br/>Post elongation = 0.02</p> | <p>인장력 (MPa)<br/>진변형률<br/>가공경화곡선=<math>d\sigma/de</math><br/>인장곡선<br/>Post elongation = 0.09</p> |