



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0082631
(43) 공개일자 2016년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) C21D 1/26 (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0190492
(22) 출원일자 2014년12월26일
심사청구일자 2014년12월26일

(71) 출원인
주식회사 포스코
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)
(72) 발명자
최점용
경상북도 포항시 남구 지곡로 303 332동 405호
(지곡동, 지곡그린빌라)
원성연
대구광역시 수성구 지범로17길 85 101동 1706호
(지산동, 지산화성파크드림)
백중수
경상북도 포항시 남구 지곡로357번길 11-5 8호
(지곡동, 스틸하우스)
(74) 대리인
특허법인 신세기

전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법

(57) 요약

자연과괴가 발생하지 않아 드로잉성이 개선된 린 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법이 소개된다.

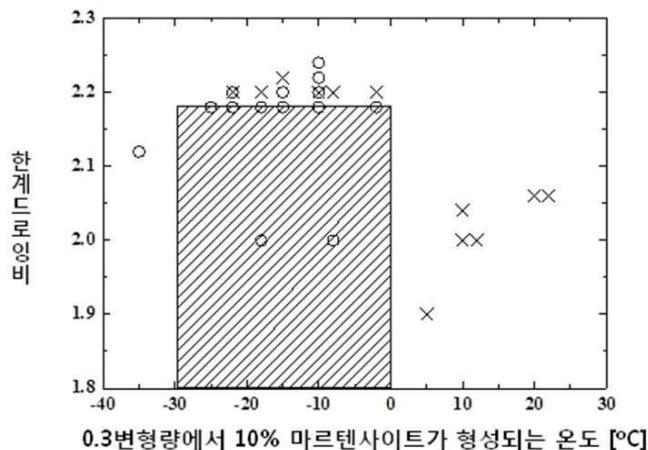
본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은, 중량 %로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고,

소둔된 페라이트 오스테나이트 2 상강으로, 0.3 진변형 후 형성된 소성 유기 마르텐사이트양이 10%에 이를 때 측정된 온도에 해당하는 Md_SIM10 및 한계 드로잉비(LDR)는 하기의 수식을 만족한다.

$$-30^{\circ}\text{C} \leq \text{Md_SIM10} \leq 0^{\circ}\text{C} \text{-----}(\text{수식 1})$$

$$2.08 \leq \text{LDR} \leq 2.18 \text{-----}(\text{수식 2})$$

대표도 - 도3



명세서

청구범위

청구항 1

중량 %로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6%~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고,

소둔된 페라이트 오스테나이트 2 상강으로, 0.3 진변형 후 형성된 소성 유기 마르텐사이트양이 10%에 이를 때 측정된 온도에 해당하는 Md_SIM10 및 한계 드로잉비(LDR)는 하기의 수식을 만족하는, 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강.

$$-30^{\circ}\text{C} \leq \text{Md_SIM10} \leq 0^{\circ}\text{C} \text{-----(수식 1)}$$

$$2.08 \leq \text{LDR} \leq 2.18 \text{-----(수식 2)}$$

청구항 2

청구항 1에 있어서,

오스테나이트 분율은 하기 범위를 만족하고, 나머지는 페라이트로 구성된 것을 특징으로 하는, 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강.

$$30 \leq \text{오스테나이트 분율}(\gamma) \leq 70$$

청구항 3

중량 %로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6%~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 강을 950 ~ 1100℃ 범위에서 냉연 소둔한 것을 특징으로 하는, 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 가공성과 내식성이 양호한 오스테나이트계 스테인리스강은 철(Fe)을 소지 금속으로 하여 Cr, Ni을 주원료로 함유하고 있다. 그리고, 오스테나이트계 스테인리스강은 Mo 및 Cu 등의 기타 원소들을 첨가시켜 각종 용도에 맞는 다양한 강종으로 개발되고 있다.

[0003] 이러한 오스테나이트계 스테인리스 강종은 내식성 및 내공식성이 우수한 강종으로서, 저탄소이면서 중량%로 8% 이상의 Ni 성분을 함유하고 있다. 이 때문에 Ni 가격 상승에 따른 원가 변동 폭이 커져 가격 경쟁력이 떨어진다 는 문제점이 있다.

[0004] 따라서, 이를 보완하기 위하여 Ni 함량을 낮추면서 오스테나이트계 스테인리스 강종과 동등 이상의 내식성을 확보할 수 있는 새로운 강종의 개발이 필요하다.

[0005] 이에 따라, 오스테나이트 상과 페라이트 상의 혼합물로 구성된 미세조직을 가지는 듀플렉스 스테인리스강이 사용되는데, 이러한 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트계와 페라이트계의 특징을 모두 나타낸다.

- [0006] 현재까지 다양한 듀플렉스 스테인리스강이 제안되어 오고 있다.
- [0007] 듀플렉스 스테인리스강의 경우, 다양한 부식 환경에서 우수한 내부식성을 제공하며, AISI의 304, 316등의 오스테나이트계 스테인리스강보다 우수한 내부식성을 나타낸다.
- [0008] 이와 같은 듀플렉스 스테인리스강의 경우, Ni, Mo 등의 고가 원소에 의한 제조 비용 상승이 될 뿐만 아니라 Ni, Mo 등을 소비함에 의해 타 강종과의 가격 경쟁력 감소를 야기한다.
- [0009] 이에 따라, 최근에는 듀플렉스 스테인리스강 중에서도 Ni 및 Mo 등의 고가의 합금원소를 배제하고 이들 원소를 대신하여 저원가의 합금원소를 첨가한 낮은 합금 비용의 장점을 더욱 증대시킨 린 듀플렉스(lean duplex) 스테인리스강에 대한 관심이 증대되고 있는 추세이다.
- [0010] 그러나, 최근에 개발된 린 듀플렉스 스테인리스강은 주로 저장용기, 운송용기 등에 광범위하게 사용되는데, 이들 린 듀플렉스 스테인리스강은 다른 통상의 듀플렉스 스테인리스강처럼 오스테나이트계 대비 성형성 한계라는 문제점을 가지고 있다.
- [0011] 따라서, 린 듀플렉스 스테인리스강에 존재하는 오스테나이트 상의 분율 및 소성 유기 마르텐사이트 형성 거동을 제어한다면, 성형성 개선이 가능할 것인데, 페라이트-오스테나이트 상에 존재하는 오스테나이트 상 중의 C+N의 양을 제어함으로써 가공성을 개선하려는 동향도 존재한다.
- [0012] 이는 통상 준안정 오스테나이트강에서 발생하는 변태 유기 소성을 활용한 것으로, 성형 가공 시 변형 부위에서 경한 상에 해당하는 소성 유기 마르텐사이트가 형성되면, 가공 시 발생하는 국부 네킹이 억제되고, 소성 유기 마르텐사이트가 형성된 인접 부위에 변형이 전파된다.
- [0013] 따라서 변형 시 형성되는 소성 유기 마르텐사이트 양을 조절하여 가공 경화속도를 조절하면 연신율 향상이 가능하게 되지만, 드로잉용으로 사용되는 경우, 컵 드로잉 가공에 의하여 가공 유기 마르텐사이트가 형성되어 지연 파괴의 원인으로 작용하는 문제점이 존재한다.
- [0014] 한편, 린 듀플렉스 스테인리스강은 일본공개특허 소61-056267호, WO 02/027056호 공보 및 WO 96/18751호 공보에 개시되어 있다. 그 중, 일본공개특허 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.
- [0015] 또한, 한국공개특허 2006-0074400호 공보에 개시되었고, ASTM A240으로 규격화된 S81921강의 경우 Ni 및 Mo의 함량이 각각 중량%로 2.5%, 2.4%로 고가의 합금원소를 포함하고 있다.
- [0016] 이들 듀플렉스 스테인리스강은 성형성보다는 내식성 강화 위주로 강을 설계하여, 특정 적용 부분에서는 요구되는 내식성보다 월등한 내식성을 제공한다. 그리고, 내응력부식성 역시 설계 요구사항보다 우수하여 기술적인 해결책은 제공할 수 있으나, 가공성과 관련된 인자인 성형성은 오스테나이트계 스테인리스강보다 열위하다. 이에 의해 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 성형성을 304강과 동등 수준으로 확보하는 산업설비 및 다양한 성형 가공용 듀플렉스 스테인리스 강의 개발이 필요하다.
- [0017] 특히, 성형성이 우수한 오스테나이트계 스테인리스강의 경우, 고가인 Ni를 4% 이상 함유하고 있어서 제조시 재료 비용이 매우 높고, 또 귀중한 자원인 Ni 등을 대량으로 소비한다는 문제점이 있다.
- [0018] 또한, 다량의 Mn은 린 듀플렉스 스테인레스강의 내식성 확보를 위한 강의 질소 고용도를 크게 증가시키나, 내식성에 해로운 MnS 등의 개재물을 쉽게 형성하여 내식성을 저해한다는 문제점이 있다. 그리고, 전기로 조업 시 Mn 분진 등의 발생으로 환경 문제를 발생시킨다.
- [0019] 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

- [0020] (특허문헌 0001) US 제5,624,504 A(1997.04.29)
- (특허문헌 0002) US 제6,096,441 A(2000.08.01)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0021] 본 발명은 이러한 종래의 문제점을 해결하기 위해 컵 성형 시 지연파괴 발생을 방지하고, 우수한 성형성 및 내식성을 확보함과 동시에, 원가를 절감한 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0022] 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은, 중량 %로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6%~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 소둔된 페라이트 오스테나이트 2 상강으로, 0.3 진변형 후 형성된 소성유기 마르텐사이트양이 10%에 이를 때 측정된 온도에 해당하는 Md_SIM10 및 한계 드로잉비(LDR)는 하기의 수식을 만족한다.

[0023] $-30^{\circ}\text{C} \leq \text{Md_SIM10} \leq 0^{\circ}\text{C}$ -----(수식 1)

[0024] $2.08 \leq \text{LDR} \leq 2.18$ -----(수식 2)

[0025] 오스테나이트 분율은 하기 범위를 만족하고, 나머지는 페라이트로 구성된 것을 특징으로 한다.

[0026] $30 \leq \text{오스테나이트 분율}(\gamma) \leq 70$

- [0027] 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은, 중량 %로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6%~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 강을 950 ~ 1100°C 범위에서 냉연 소둔한 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 의하면 고가 원소인 Ni, Si, Cu 및 Mo 합금성분의 함량을 조절함으로써, 자원을 절약하고 원가를 절감할 수 있다.
- [0029] 또한 304강 동등 수준 이상의 내식성 확보는 물론, 가공성을 개선할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 한계 드로잉비를 측정하는 장치에 대한 도면,
- 도 2는 본 발명강 및 비교강의 Md_SIM10을 나타낸 그래프,
- 도 3은 Md_SIM10과 한계 드로잉비의 관계도,
- 도 4는 컵 드로잉 후 지연파괴 여부를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예 및 그 밖에 당업자가 본 발명의 내용을 쉽게 이해하기 위하여 필요한 사항에 대하여 상세히 기재한다.
- [0032] 다만, 본 발명은 청구범위에 기재된 범위 안에서 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으므로, 하기에 설명하는 실시예는 표현 여부에 불구하고 예시적인 것에 불과하다.

- [0033] 본 발명은 오스테나이트상과 페라이트상의 2상을 갖는 듀플렉스 스테인리스강 중, Ni, Mo, Si, Cu 등의 고가의 합금원소 함량을 낮춘 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강 및 그 제조방법에 관한 것이다.
- [0034] 린 듀플렉스 스테인리스강은 일반적인 오스테나이트계 스테인리스강인 304강 대비 동등 이상의 내식성을 유지할 수 있는 것은 물론, 오스테나이트계 스테인리스강 이상의 연신율 확보가 가능한바, 304강 대비 동등 수준 이상의 연신율 확보가 가능하다.
- [0035] 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은, 부식 환경 또는 성형용 일반 제품에 사용될 수 있고, 스트립(strip), 바(bar), 플레이트(plate), 시트(sheet), 파이프(pipe), 또는 튜브(tube)와 같은 제품으로 제조되어 이용할 수 있다.
- [0036] 린 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스 강인 304강, 316강과 동등한 내식성을 확보하면서, Ni 함량이 적어 경제적이며, 고강도 확보가 용이하여 내식성을 요하는 담수설비, 펄프, 제지, 화학설비 등의 산업 설비용 강재로 사용될 수 있는바, 본 발명에서는 Ni, Mn 등을 저감하면서 오스테나이트계와 동등 수준의 성형성 및 내식성을 확보하는 방법으로 페라이트 상과 오스테나이트 상이 공존하는 2상 조직강을 개발하게 되었다.
- [0037] 이하, 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0038] 본 발명에 의하면 오스테나이트·페라이트로 이루어진 듀플렉스 스테인리스강의 제반 성질이 우수하면서도, 304강 수준의 내식성과 동시에 드로잉성을 확보할 수 있다. 즉, 본 발명은 저탄소의 크롬계 스테인리스강으로, 고 질소를 함유하고, 더불어 Mn의 함량을 최적화시키면서 고가인 Ni, Si, Mo, Cu 등의 합금원소를 최적의 수준으로 조절하였다. 이에 의해 오스테나이트와 페라이트의 상분율을 구성 성분과 소둔온도를 활용하여 적절히 조절하여, 통상의 인장변형 속도에서 측정된 Md_SIM10 온도- 즉 0.3 진변형 부과 후 측정된 소성 유기 마르텐사이트 양이 10% 되는 온도- 범위가 -30 ~ 0°C가 되도록 조정함에 의하여, 성형 가공시 지연 파괴가 발생하지 않아 성형성 및 내식성이 우수한 오스테나이트 페라이트의 듀플렉스 스테인리스강을 제조한다.
- [0039] 본 발명에 따른 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은 제조 비용 중 원료 비용을 크게 감소하여, 가격 경쟁력을 크게 향상시키고, 성형 후 지연 파괴 저항성이 크게 향상됨과 동시에 내식성을 확보하여 성형용으로 사용되는 304강의 대체가 가능하다.
- [0040] 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은, 중량%로, C: 0.02~0.08%, Si: 0.5~1.3%, Mn: 2.5~3.5%, Cr: 19~21%, Ni: 0.6%~1.2%, N: 0.2~0.3%, Cu: 0.5~1.2%, 잔부는 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함한다.
- [0041] 이하에서는, 본 발명의 성분 한정 이유에 대하여 설명한다.
- [0042] C는 오스테나이트 형성 원소로 고용 강화를 유발하여 재료의 강도를 증가시키는데 유효한 원소로, 강도 개선을 위해 0.02% 이상 첨가되어야 한다. 그러나 과다 첨가 시 페라이트-오스테나이트 상 경계에서 내식성에 유효한 Cr과 같은 탄화물 형성 원소와 쉽게 결합, 결정립계 주위의 Cr 함량을 낮추어 내부식 저항성을 감소시키므로, 내식성을 극대화하기 위해서는 0.08% 이하로 첨가하여야 한다.
- [0043] Si는 탈산효과를 위하여 일부 첨가되며, 페라이트 형성 원소로 소둔 열처리 시 페라이트에 농화되는 원소이다. 따라서, 적절한 페라이트 상분율 확보를 위하여 0.5% 이상 첨가하여 한다. 그 미만으로 첨가하는 경우, 합금계에서 오스테나이트 상의 소성 유기 마르텐사이트 형성 현상이 활성화되지만, 성형 시 과다한 소성 유기 마르텐사이트 형성으로 지연파괴 현상이 발생하게 되는바, 성형성 저하를 초래한다.
- [0044] 1.3%를 초과하여 첨가되는 경우, 2상 강에 존재하는 오스테나이트상의 변형기구를 소성 유기 마르텐사이트 형성에서 기계적 쌍정의 형성으로 변형기구의 천이를 일으켜서, 소성 유기 마르텐사이트의 형성의 효과를 활용하고자 하는 본 발명의 의도에 적합하지 않다. 또한, 과다할 경우 제강 시 슬래그 유동성을 저하시키고, 산소와 결합하여 개재물을 형성하여 내식성에 저하시키게 되는바, Si 함량은 0.5~1.3%로 제한한다.

- [0045] N는 듀플렉스 스테인리스강에서 Ni와 함께 오스테나이트 상의 안정화에 크게 기여하는 원소로, 소둔 열처리 시 오스테나이트 상에 농화되는 원소 중의 하나이다. 따라서, N 함량이 증가되면 부수적으로 내식성이 증가하고, 고강도화를 꾀할 수 있다. 그러나, 첨가된 Mn의 함량에 따라 N의 고용도가 변화되는데, 본 발명의 Mn 범위에서 N 함량이 0.3%를 초과하면, 질소 고용도 초과에 의해 주조 시 블로우홀(blow hole), 핀홀(pin hole) 등이 발생하여 표면 결함이 유발되므로, 강을 안정적으로 제조하기 어렵다. 또한 304강 수준의 내식성 확보를 위하여 N는 0.2% 이상을 첨가되어야 하며, 그 미만으로 첨가되면 적절한 상분율을 확보가 어렵다.
- [0046] 따라서, N 함량은 0.2 ~ 0.3%로 제한하는 것이 바람직하다.
- [0047] Mn은 탈산제 및 질소 고용도를 증가시키는 원소이며, 오스테나이트 형성 원소로서, 고가의 Ni 대체용으로 사용된다.
- [0048] 그 함량이 3.5%를 초과하여 첨가하는 경우 304 수준의 내식성 확보가 어려워진다. 이는 Mn이 많이 첨가되는 경우, 질소의 고용도에는 효과가 있으나 강 중의 S와 결합하여 MnS를 형성, 내식성을 저하시킨다. 또한, Mn의 함량이 2.5% 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 2.5% ~ 3.5%로 제한한다.
- [0049] Cr은 Si와 함께 페라이트 안정화 원소로 2상 스테인리스강의 페라이트상 확보에 주된 역할을 할 뿐만 아니라, 내식성 확보를 위한 필수 원소이다.
- [0050] 함량을 증가시키면 내식성이 증가하나 상분율 유지를 위하여 고가의 Ni이나 기타 오스테나이트 형성원소의 함량을 증가시켜야 한다. 이에 따라, 2상 스테인리스강의 상분율을 유지하면서 STS 304 이상의 내식성을 확보하기 위해서 Cr의 함량을 19~21%로 제한한다.
- [0051] Ni은 Mn, Cu 및 N와 함께 오스테나이트 안정화 원소로, 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트상의 확보에 주된 역할을 한다. 원가절감을 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 가공 시 발생하는 소성 유기 마르텐사이트 형성을 억제하기 위하여 충분한 오스테나이트의 안정도 확보를 위하여 0.6% 이상 첨가되어야 한다. Ni를 많이 첨가하면 오스테나이트 분율이 증가하여 적절한 오스테나이트 상분율 확보가 어렵고, 특히 고가인 Ni로 인한 제품의 제조 비용 증가로 304 대비 경쟁력 확보가 어렵다. 따라서, Ni의 함량을 0.6%~1.2%로 제한함이 바람직하다.
- [0052] Cu는 Mn, Ni 및 N와 함께 오스테나이트 안정화 원소로, 듀플렉스 스테인리스강의 오스테나이트상의 확보에 주된 역할을 한다. 원가절감을 위하여 가격이 비싼 Ni 함량을 최대한 감소시키는 대신에 다른 오스테나이트상 형성 원소인 Cu, Mn, 과 N을 증가시켜서 Ni의 저감에 의한 상분율 균형을 충분히 유지할 수 있다. 그러나, 냉간 가공 시 발생하는 소성 유기 마르텐사이트 형성을 억제하기 위하여 충분한 오스테나이트의 안정도 확보를 위하여 0.6% 이상 첨가하여야 한다. Cu를 많이 첨가하면 오스테나이트 분율이 증가하여 적절한 오스테나이트 분율 확보가 어렵고, 특히 Cu 고용도의 문제로 생산시 용접문제가 발생할 수 있다. 따라서, Cu의 함량을 0.6%~1.2%로 제한함이 바람직하다.
- [0053] 본 발명은 소성 유기 마르텐사이트가 형성되는 온도인 Md₃₀(인장 시험 시 0.3 진변형을 가한 후 변형된 소재에 50%의 마르텐사이트가 형성되는 온도)을 통상의 듀플렉스 스테인리스강에 적용한 결과, 대부분의 강에서 소성유기 마르텐사이트 양이 30% 이하로 관찰되었는데, 통상의 Md₃₀에 대한 정의로는 상술한 Md₃₀ 온도 정의가 곤란함을 알 수 있었다.
- [0054] 따라서, 컵 드로잉 후 발생하는 지연 파괴의 주원인이 소성유기 마르텐사이트라는 사실에 근거하여, 소성유기

마르텐사이트가 형성되는 온도와 지연 파괴에 의한 한계 드로잉 비에 대한 다양한 고찰 후 아래와 같이 Md₃₀ 온도를 재정의한 후, 평가하였다.

- [0055] 본 발명자는 통상의 인장 변형 속도에서 0.3 진변형을 가한 후 형성되는 소성 유기 마르텐사이트 양이 10%가 되는 온도를 Md_SIM10으로 정의하였다.
- [0056] 이와 같은 방법으로 듀플렉스 스테인리스강에서 소성 유기 마르텐사이트가 형성되는 온도를 정의한 후, 컵 드로잉 후 발생하는 지연파괴와 상관성을 분석하였다.
- [0057] 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은 Md_SIM10 이 -30~0℃인 것을 특징으로 한다.
- [0058] 소성유기 마르텐사이트는 불안정한 오스테나이트가 변형될 때 형성되는 경한 상으로, 가공 경화를 유발하여 강의 연신을 증가에 기여한다. 오스테나이트 및 페라이트로 이루어진 듀플렉스 스테인리스강에 해당하는 본 발명의 경우 오스테나이트 상의 안정도를 합금 원소의 적절한 분배를 이용하여 조절할 수 있다.
- [0059] 본 발명자는 인장 변형 시 국부 넥킹 전후에 소성유기 마르텐사이트가 형성되도록 하였다. 그러나, 소성 유기 마르텐사이트가 너무 급격하게 형성되는 경우, 변형 초기에 강도가 상승되어 가공성이 저하되고, 변형 후반부에 소성 유기 마르텐사이트가 형성되는 경우, 소재가 너무 많이 변형되기 때문에, 소성 유기 마르텐사이트가 가공성 향상에 기여를 할 수 없다.
- [0060] 본 발명에서와 같이, 10% 마르텐사이트가 형성되는 온도를 제한, 성분 설계, 상분율을 제어함으로써, 성형 시 충분한 가공경화를 유발하여 성형성을 개선하고, 성형 후 발생하는 지연파괴를 충분히 억제할 수 있다.
- [0061] 본 발명에 따른 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은 부피분율로 30~70%의 오스테나이트와, 70~30%의 페라이트로 이루어지는 것이 바람직하다.
- [0062] 통상적으로 속도로 변형시 오스테나이트 상에서 소성 유기 마르텐사이트가 형성되어 가공성에 기여하기 위하여서는 30% 이상의 오스테나이트 분율이 존재하여야 되며, 특히 오스테나이트 분율이 30% 이하 즉 페라이트 상 분율이 70% 이상인 경우, 성형 후 표면에 페라이트로 인한 표면 요철이 발생한다. 또 오스테나이트 분율이 70% 이상인 경우는 소둔 시 합금원소의 분배(오스테나이트 형성 원소가 오스테나이트 상에 농화되고, 페라이트 형성원소는 페라이트에 농화되는 현상)로 인하여 오스테나이트 안정도가 의도하는 바와 다르게 변화하여, 성형 시 과도한 소성 유기 마르텐사이트가 형성, 고강도화 되어 지연파괴가 쉽게 발생한다.
- [0063] 따라서, 오스테나이트 분율은 70% 이하가 바람직하다.
- [0064] 도 1에 도시된 바와 같이, 드로잉성을 평가하는 방법으로 다이(1), 홀더(3), 펀치(5)로 구성된 금형을 이용한다.
- [0065] 소재(S)를 원형으로 절단하여 홀더(3) 위에 두고 다이(1)를 움직여 홀더(5)와 다이(1) 사이에 위치하는 소재(S)를 일정의 압력(1톤)으로 잡은 상태에서, 펀치(5)를 움직여 소재(S)를 컵 모양으로 만든다.
- [0066] 이때 펀치(5)의 직경은 50mm 정도이며, 소재(S) 크기에 따라서 완전히 컵 모양으로 성형이 될 때, 처음 소재(S) 크기와 펀치(5)의 비를 드로잉비라고 한다. 소재(S)를 점점 크게 하면 할수록 다이(1)와 홀더(3)가 잡고 있는 힘이 증가하기 때문에 소재(S)가 컵 모양으로 변형되기란 쉽지 않다.
- [0067] 소재(S)를 1mm 단위로 증가시키면서 드로잉 실험을 하여 파단이 생기지 않을 때의 최대 소재(S) 직경과 펀치(5) 직경비를 한계 드로잉비(LDR, Limit Drawing Ratio)라고 한다.
- [0068] $LDR(\text{Limit Drawing Ratio}) = \text{파단이 없는 블랭크의 직경} / \text{펀치직경} (\Phi 50\text{mm})$
- [0069] 드로잉성 평가 방법인 LDR(Limit Draing Ratio) 평가 방법을 통하여 드로잉지수인 LDR값을 평가하였다. 또한 지연파괴는 드로잉성 평가 후 제작된 컵(드로잉시 균열이 발생하지 않은 컵)을 상온에서 24시간 방치 후 드로잉된 컵에 균열이 발생하는지 여부로 판단한다. 통상, 컵 성형 후 24 시간 이내에 균열이 발생하는 경우는 지연파괴가 발생되었다고 보며, 24 시간 이후에 균열이 발생하지 않는 드로잉비를 한계 드로잉비라고 한다. 즉 컵 성형 후 지연파괴가 발생하지 않는 한계 드로잉비가 우수 할수록 성형성이 우수하다고 한다.

[0070] 이하, 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강에 대하여 상세히 설명한다.

[0071] 본 발명에 따른 성분의 조성범위에 대한 린 듀플렉스 스테인리스강들의 시편을 준비하여 열간 압연, 열연 소둔, 냉간 압연 후 냉연 소둔을 진행하여 소재의 상분율을 조절하여, 성형성을 측정하였다. 하기의 [표 1]은 실험강종에 대한 합금 조성(중량%)을 나타내었다.

표 1

강종	Cr	Mn	Ni	Si	C	N
비교강1	19.20	2.2	0.7	0.5	0.060	0.23
비교강2	19.20	3.6	0.7	0.5	0.060	0.19
발명강1	20.30	3.05	0.8	0.82	0.021	0.25
발명강2	20.19	3.15	1.103	0.66	0.028	0.28
발명강3	19.38	2.8	1.023	0.9	0.029	0.283
발명강4	20.55	3.3	0.7	1.209	0.048	0.260

[0073] [표 1]의 일부 실험 강종을 열간압연, 미열연소둔 후 냉간압연하여 박물 (1.0t 이하)로 제조하였다. 제조된 냉연소재를 아래의 온도로 냉연소둔을 진행하여 소둔된 소재의 상분율(오스테나이트, 페라이트), 다양한 초기 변형 온도에서 0.3 진변형을 부과, Md_SIM10, 및 도 1에 도시한 방법으로 컵 드로잉 시험을 한 후 24시간 상온에서 방치하여 성형된 컵에서 발생하는 균열의 유무를 측정함으로써 한계드로잉비를 결정하였다.

[0074] 도 2에 도시된 바와 같이, 비교강 1의 경우 5℃ 부근에서 소성유기 마르텐사이트가 10%에 이음을 알 수 있고, 발명강 1은 1100℃에서 소둔한 것으로, -6℃ 부근에서 소성유기 마르텐사이트가 10%에 이음을 알 수 있으며, 발명강 4는 1100℃에서 냉연 소둔한 것으로 -18℃ 부근에서 마르텐사이트가 10%에 이음을 알 수 있다.

[0075] 표 2는 비교강과 본 발명강의 페라이트, 오스테나이트 분율, 지연파괴가 발생하지 않는 최대 한계 드로잉비, 그리고 Md_SIM10을 나타낸 것이다.

표 2

강종	열처리 온도 (℃)	페라이트 분율(%)	오스테나이트 분율(%)	한계 드로잉 비	자연파괴 생유무	발 Md_SIM10
비교강 1	950	70	30	1.9	발생	5
	1000	78	22	2	발생	10
	1100	83	17	2	발생	12
비교강 2	950	45	55	2.04	발생	10
	1000	32	68	2.06	발생	20
	1100	35	65	2.06	발생	22
발명강 1	950	31	69	2.18	미발생	-22
				2.2	발생	
	1000	35	65	2.18	미발생	-15
				2.22	발생	
	1100	36	64	2.18	미발생	-6
				2.2	발생	
발명강 2	950	33	67	2.18	미발생	-18
				2.2	발생	
	1000	37	63	2.24	발생	-10
				2.18	미발생	
	1100	41	59	2.18	미발생	-2
				2.2	발생	

발명강 3	950	42	58	2.18	미발생	-10
				2.2	발생	
	1000	40	60	2.18	미발생	-8
				2.2	발생	
	1100	43	57	2.18	미발생	-8
				2.2	발생	
발명강 4	950	38	62	2.18	미발생	-25
				2.2	발생	
	1000	53	47	2.18	미발생	-18
				2.2	발생	
	1100	48	52	2	미발생	-18
				2.2	발생	
	1200	52	48	2.12	미발생	-30

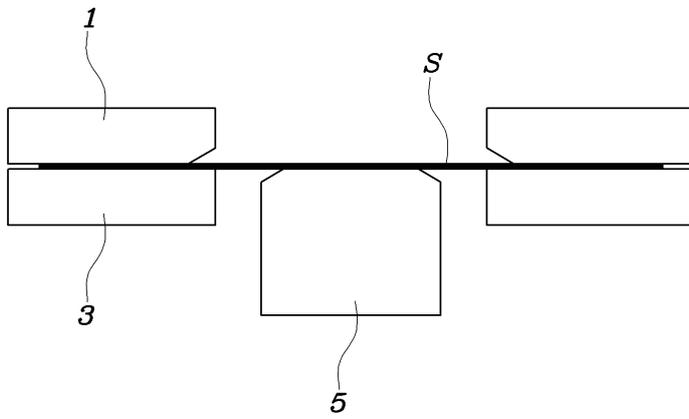
- [0077] 표 2에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 드로잉성이 우수한 린 듀플렉스 스테인리스강은 합금성분, 열처리 온도에 따라 상분율이 변화됨을 알 수 있다.
- [0078] 발명강들의 경우 950 ~ 1200℃ 범위에서 열처리한 경우, 페라이트 상분율은 30~60%, 오스테나이트 상분율은 70~40% 범위임을 알 수 있다.
- [0079] 발명강4를 각각 950℃, 1000℃, 1100℃ 및 1200℃로 열처리하였을 경우의 페라이트와 오스테나이트 상분율을 나타낸 것이다. 발명강1 ~ 발명강4의 경우 페라이트의 상분율은 약 30~60%, 오스테나이트 상분율은 70~40%의 범위 내에 포함됨을 알 수 있다.
- [0080] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, Md_SIM10의 값이 -30 ~ 0℃ 범위일 때, 한계 드로잉값은 304강의 한계 드로잉값에 해당하는 2.08을 초과함을 알 수 있으며, 지연파괴 역시 발생하지 않음을 알 수 있었다.
- [0081] 더 나아가 Md_SIM10의 값이 -30 ~ 0℃ 범위일 때, 한계 드로잉값은 2.12 ~ 2.18 사이에 해당하는바, 304강 대비 개선된 한계 드로잉값을 얻을 수 있었으며, 지연파괴 역시 발생하지 않음을 알 수 있었고, Md_SIM10값이 -30 미만이 경우에 비하여 소재의 강도 및 연신율이 더욱 개선됨을 알 수 있었다.
- [0082] 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. 전술한 발명에 대한 권리범위는 이하의 특허청구범위에서 정해지는 것으로서, 명세서 본문의 기재에 구속되지 않으며, 청구범위의 균등 범위에 속하는 변형과 변경은 모두 본 발명의 범위에 속할 것이다.

부호의 설명

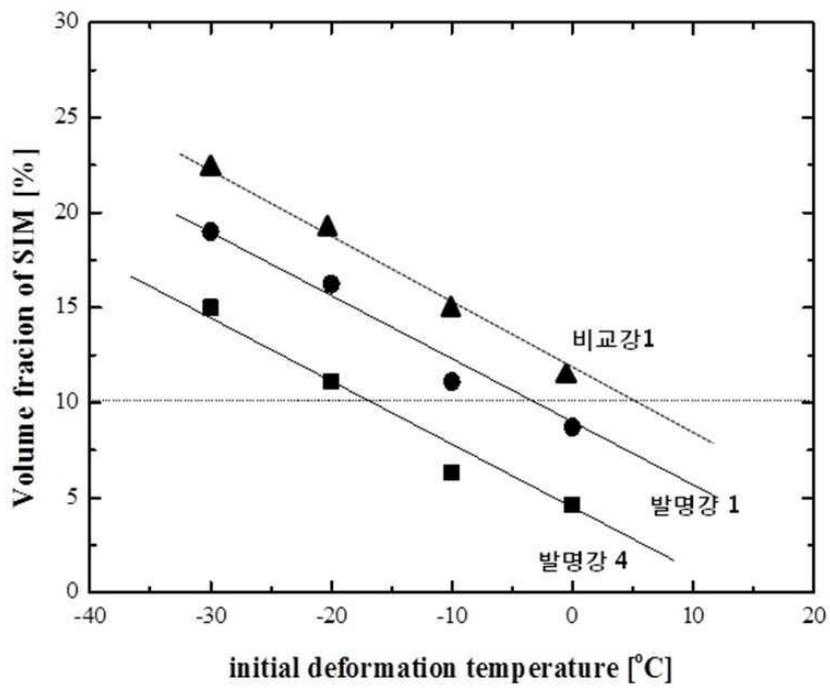
- [0083] 1 : 다이 3 : 홀더
5 : 펀치 S : 소재

도면

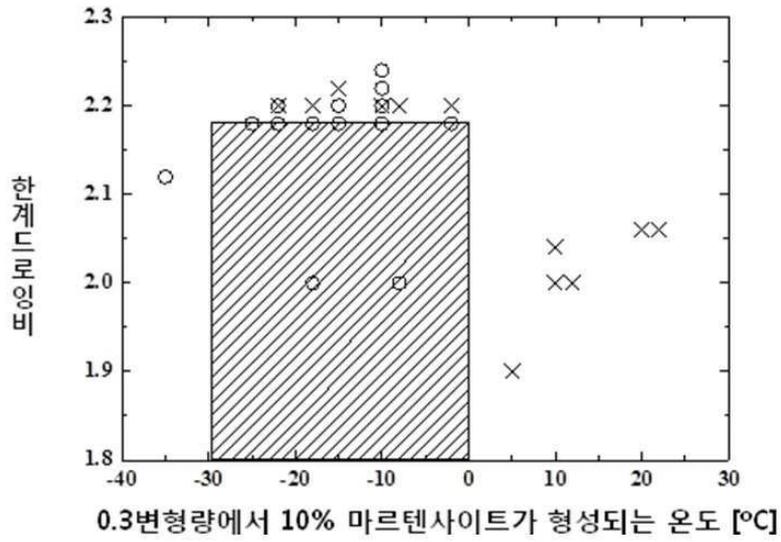
도면1



도면2



도면3



도면4

