



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0018995
(43) 공개일자 2020년02월21일

<p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C22C 38/58 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01) C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류 C22C 38/58 (2013.01) C22C 38/001 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2018-0094523 (22) 출원일자 2018년08월13일 심사청구일자 2018년08월13일</p>	<p>(71) 출원인 주식회사 포스코 경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)</p> <p>(72) 발명자 이재화 경상북도 포항시 남구 지곡로 155(지곡동, 교수아파트) 9동 101호</p> <p>조규진 경상북도 포항시 남구 연일읍 유강길10번길 49(유강 코아루 1단지) 102동 604호</p> <p>김영태 경상북도 포항시 북구 학전로 35(학산동, 우방청운타운) 101동 1005호</p> <p>(74) 대리인 특허법인세립</p>
--	---

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강

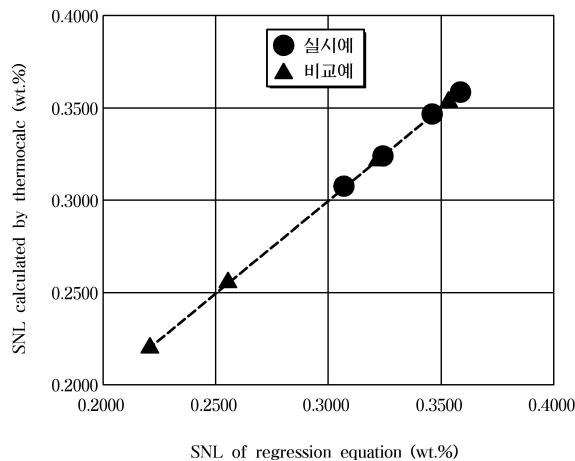
(57) 요약

도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강이 개시된다. 개시된 오스테나이트계 스테인리스강은 중량 %로, C: 0.02 내지 0.14%, Si: 0.2 내지 0.6%, P: 0.1% 미만, S: 0.01% 미만, Mn: 2.0 내지 4.5%, Ni: 2.5 내지 5.0%, Cr: 19.0 내지 22.0%, Cu: 1.0 내지 3.0%, Mo: 1.0% 미만, N: 0.25 내지 0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식(1)로 표현되는 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값이 N의 함량을 초과하는 것을 특징으로 한다.

$$\text{식(1): } \text{SNL} = -0.188 - 0.0423 \times \text{C} - 0.0517 \times \text{Si} + 0.012 \times \text{Mn} + 0.0048 \times \text{Ni} + 0.0252 \times \text{Cr} - 0.00906 \times \text{Cu} + 0.00021 \times \text{Mo}$$

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

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22C 38/02 (2013.01)

C22C 38/42 (2013.01)

C22C 38/44 (2013.01)

C21D 2211/001 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, C: 0.02 내지 0.14%, Si: 0.2 내지 0.6%, S: 0.01% 미만, Mn: 2.0 내지 4.5%, Ni: 2.5 내지 5.0%, Cr: 19.0 내지 22.0%, Cu: 1.0 내지 3.0%, Mo: 1.0% 미만, N: 0.25 내지 0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고,

하기 식(1)로 표현되는 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값이 N의 함량 이상인 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

$$\text{식(1): SNL} = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times \text{Si} + 0.012 \times \text{Mn} + 0.0048 \times \text{Ni} + 0.0252 \times \text{Cr} - 0.00906 \times \text{Cu} + 0.00021 \times \text{Mo}$$

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

청구항 2

제1항에 있어서,

C+N: 0.5% 이하(0은 제외)인 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 3

제1항에 있어서,

B: 0.001 내지 0.005% 및 Ca: 0.001 내지 0.003% 중에서 1종 이상을 더 포함하는 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 4

제1항에 있어서,

하기 식(2)로 표현되는 Md_{30} 값이 -50 이하를 만족하는 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

$$\text{식(2): } Md_{30} = 551 - 462 \times (C + N) - 9.2 \times \text{Si} - 8.1 \times \text{Mn} - 13.7 \times \text{Cr} - 29 \times (\text{Ni} + \text{Cu}) - 8.5 \times \text{Mo}$$

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

청구항 5

제1항에 있어서,

하기 식(3)을 만족하는 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

$$\text{식(3): } C_{req}/N_{ieq} \leq 1.8$$

(여기서, $C_{req} = C + Mo + 1.5 \times Si$, $N_{ieq} = Ni + 0.5 \times Mn + 30 \times (C + N) + 0.5 \times Cu$ 이다.)

청구항 6

제1항에 있어서,

하기 식(4)로 표현되는 내공식지수 값이 22 이상을 만족하는 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

$$\text{식(4): 내공식지수(PREN)} = 16 + 3.3Mo + 16N - 0.5Mn$$

(여기서, Mo, N, Mn은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.)

청구항 7

제1항에 있어서,

항복강도(0.2 off-set)는 400 내지 450 MPa, 인장강도는 700 내지 850 MPa인 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

청구항 8

제1항에 있어서,

연신율이 35% 이상인 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것으로, 특히 연신율 및 내식성을 확보하면서도 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 스테인리스강(Stainless Steel)은 탄소강의 약점인 부식이 억제되어 강한 내식성을 보유한 강재를 칭한다. 일반적으로 스테인리스강은 화학성분이나 금속조직에 따라 분류한다. 금속조직에 따를 경우, 스테인리스강은 오스테나이트(Austenite)계, 페라이트(Ferrite)계, 마르텐사이트(Martensite)계 그리고 이상(Dual Phase)계로 분류할 수 있다.

[0003] 그 중에서도 오스테나이트계 스테인리스강은 크롬(Cr)과 니켈(Ni)을 다량 함유하는 강으로, 가장 일반적으로 사용되고 있다. 예를 들어 316L 스테인리스강의 경우, 16~18%의 Cr, 10~14%의 Ni 그리고 2~3%의 몰리브덴(Mo)을 기반으로 한 성분계로 내식성 및 성형특성을 확보함으로써 다양한 산업분야에 적용되고 있다.

[0004] 하지만 Ni 및 Mo의 경우 높은 소재 가격으로 인하여 가격경쟁력 측면에서 문제가 있고, 소재 가격의 극심한 변동에 의해 원료수급이 불안정할 뿐만 아니라 공급가의 안정성 확보가 어려운 상황이다.

[0005] 따라서, Ni 및 Mo의 함량을 줄이면서도 종래 316L 스테인리스강 수준의 내식성 및 성형성을 확보하기 위한 연구가 진행되었다. 이러한 316L 스테인리스강의 대체강으로써 Ni을 줄이고 Mn의 함량을 증가시킨 200계 스테인리스강, 예를 들어 216강이 개발되었다.

[0006] 216 스테인리스강은 기본적으로 Ni 함량을 일정량 이하로 감소시켜 소재가격을 낮춤과 동시에 Ni 감소분에 따른 오스테나이트상의 안정도 확보를 위해 7% 이상 다량의 Mn을 첨가한 강으로, 중량 %로 17.5~22% Cr, 5~7% Ni, 7.5~9% Mn 그리고 2~3% Mo을 함유한다.

[0007] 이러한 성분계 설계에 의해, 216 스테인리스강은 316L 스테인리스강과 유사한 수준의 내식성을 확보할 수 있지만, 다량의 Mn 첨가에 의해 제강과정 중 다량의 Mn 흡 발생으로 인하여 환경적 측면에서 개선이 요구될 뿐만 아니라 제강성 개재물(MnS) 생성 시 제조공정상의 생산성 저하 및 최종 소재의 표면 품질 저하를 초래한다.

[0008] 한편, 316L 스테인리스강 대체강으로써 듀플렉스 스테인리스강(Duplex Stainless steel)을 들 수 있다.

[0009] 듀플렉스 스테인리스강은 오스테나이트 상과 페라이트 상이 혼합된 미세조직을 갖는 스테인리스강으로, 구체적으로 오스테나이트상과 페라이트상이 각각 부피분율로 약 35~65% 존재하여 오스테나이트계 스테인리스강과 페라이트계 스테인리스강의 특징을 모두 나타낸다.

[0010] 듀플렉스 스테인리스강은 316L 스테인리스강과 동등한 내식성을 확보하면서 Ni 함량이 적어 경제적이면서도 고강도의 확보가 용이하여 내식성을 요하는 담수설비, 펄프, 제지, 화학설비 등의 산업설비용 강재로 각광을 받고 있다.

[0011] 특히, 듀플렉스 스테인리스강 중에서도 Ni 및 Mo 등의 고가의 합금원소를 감소시켜 19~23%의 Cr, 1.8~3.5%의 Ni, 0~2%의 Mn 그리고 0.5~1.0%의 Mo로 제한하고 0.16~0.3%의 고질소 첨가를 통해서 낮은 합금 비용의 장점을 더욱 부각시킨 린 듀플렉스(Lean Duplex) 스테인리스강에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0012] 하지만 린 듀플렉스 스테인리스강의 경우, 오스테나이트와 페라이트간의 상계면 형성에 기인하여 성형성 및 인미성이 열위해지는 문제가 있다. 따라서, Ni, Mo등을 저감하면서 연신율 및 내식성을 확보하면서도 강도가 향상

된 오스테나이트계 스테인리스강의 개발이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명의 실시예들은 기존 316L 스테인리스강 수준의 연신율 및 내식성을 확보하면서도 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강 은, 중량%로, C: 0.02 내지 0.14%, Si: 0.2 내지 0.6%, S: 0.01% 미만, Mn: 2.0 내지 4.5%, Ni: 2.5 내지 5.0%, Cr: 19.0 내지 22.0%, Cu: 1.0 내지 3.0%, Mo: 1.0% 미만, N: 0.25 내지 0.40%, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식(1)로 표현되는 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값이 N의 함량 이상이다.

[0015] 식(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times Mo$

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

[0017] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, C+N: 0.5% 이하(0은 제외)일 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, B: 0.001 내지 0.005% 및 Ca: 0.001 내지 0.003% 중에서 1종 이상을 더 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하기 식(2)로 표현되는 Md_{30} 값이 -50 이하를 만족할 수 있다.

[0020] 식(2): $Md_{30} = 551 - 462 \times (C + N) - 9.2 \times Si - 8.1 \times Mn - 13.7 \times Cr - 29 \times (Ni + Cu) - 8.5 \times Mo$

[0021] (여기서, C, N, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Mo은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.)

[0022] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하기 식(3)을 만족할 수 있다.

[0023] 식(3): $C_{req}/N_{ieq} \leq 1.8$

[0024] (여기서, $C_{req} = Cr + Mo + 1.5 \times Si$, $N_{ieq} = Ni + 0.5 \times Mn + 30 \times (C + N) + 0.5 \times Cu$ 이다.)

[0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하기 식(4)로 표현되는 내공식지수 값이 22 이상을 만족할 수 있다.

[0026] 식(4): 내공식지수(PREN) = $16 + 3.3Mo + 16N - 0.5Mn$

[0027] (여기서, Mo, N, Mn은 각 원소의 함량(중량%)을 의미한다.)

[0028] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 오스테나이트계 스테인리스강의 항복강도(0.2 off-set)는 400 내지 450 MPa, 인장강도는 700 내지 850 MPa일 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 오스테나이트계 스테인리스강의 연신율은 35% 이상일 수 있다.

발명의 효과

[0030] 본 발명의 실시예에 따르면, 기존 316L 스테인리스강 수준의 연신율 및 내식성을 확보하면서도 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강의 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값 도출을 위한 성분별 Thermocalc. 계산결과 및 회귀식 적용 값과의 상관관계를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하에서는 본 발명의 실시 예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 이하의 실시 예는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상을 충분히 전달하기 위해 제시하는 것이다. 본 발명은

여기서 제시한 실시 예만으로 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.

- [0033] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0034] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0035] 이하에서는 본 발명에 따른 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0036] 본 발명의 일 측면에 따른 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강은, 중량%로, C: 0.02 내지 0.14%, Si: 0.2 내지 0.6%, P: 0.1% 미만, S: 0.01% 미만, Mn: 2.0 내지 4.5%, Ni: 2.5 내지 5.0%, Cr: 19.0 내지 22.0%, Cu: 1.0 내지 3.0%, Mo: 1.0% 미만, N: 0.25 내지 0.40%를 포함하고, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함한다.
- [0037] 이하, 본 발명의 실시예에서의 합금성분 함량의 수치 한정 이유에 대하여 설명한다. 이하에서는 특별한 언급이 없는 한 단위는 중량%이다.
- [0038] C의 함량은 0.02 내지 0.14%이다.
- [0039] 탄소(C)는 오스테나이트상 안정화에 효과적인 원소이나, 함량이 낮을 경우 추가적인 오스테나이트 안정화 원소의 첨가가 요구됨에 따라 0.02% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, 고용강화 효과에 의해 가공성을 저하시킬 뿐만 아니라 용접부 열영향부 및 열연 코일링 후 잠열에 기인한 Cr탄화물의 입계 석출을 유도하여 연성, 인성, 내식성 등에 악영향을 미칠 수 있으므로 그 상한을 0.14%로 한정할 수 있다.
- [0040] Si의 함량은 0.2 내지 0.6%이다.
- [0041] 실리콘(Si)은 제강공정 중 탈산제의 역할을 함과 동시에 내식성을 향상시키는데 효과적인 원소로 0.2% 이상 첨가할 수 있다. 그러나 Si은 페라이트상 안정화에 효과적인 원소로써 과잉 첨가 시 주조 슬라브 내 델타 페라이트 형성을 조장하여 열간가공성을 저하시킬 뿐만 아니라 고용강화 효과에 의한 강재의 연성/인성을 저하시킬 수 있으므로 그 상한을 0.6%로 한정할 수 있다.
- [0042] Mn의 함량은 2.0 내지 4.5%이다.
- [0043] 망간(Mn)은 본 발명에서 니켈(Ni) 대신 첨가되는 오스테나이트상 안정화 원소로, 가공유기 마르텐사이트 생성을 억제하여 냉간 압연성을 향상시키는데 효과적이고, 후술할 제강 공정 중 질소(N)의 용해도를 증가시키는 원소로 2.0% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, S계 개재물(MnS)의 증가를 초래함에 따라 강재의 연성, 인성 및 내식성을 저하시킬 수 있으므로 그 상한을 4.5%로 한정할 수 있다.
- [0044] Ni의 함량은 2.5 내지 5.0%이다.
- [0045] 니켈(Ni)은 강력한 오스테나이트상 안정화 원소로써 양호한 열간 가공성 및 냉간 가공성을 확보하기 위해서는 필수적이다. 특히 일정량 이상의 Mn을 첨가함에도 2.5% 이상의 첨가는 필수적이다. 그러나 Ni은 고가의 원소임에 따라 다량의 첨가 시 원료비용의 상승을 초래한다. 이에, 강재의 비용 및 효율성을 모두 고려하여 그 상한을 5.0%로 한정할 수 있다.
- [0046] Cr의 함량은 19 내지 22%이다.
- [0047] 크롬(Cr)은 페라이트 안정화 원소이지만 마르텐사이트상 생성 억제에 있어서 효과적이며, 스테인리스강에 요구되는 내식성을 확보하는 기본 원소이다. 또한, 후술할 제강 공정 중 질소(N)의 용해도를 증가시키는 원소로 19% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, 제조비용이 상승하고, 슬라브 내 델타(δ) 페라이트를 형성하여 열간가공성의 저하를 초래함에 따라 Ni, Mn 등의 오스테나이트 안정화 원소의 추가적 투입이 요구되는 문제가 있어 그 상한을 22%로 한정할 수 있다.
- [0048] P의 함량은 0.1% 미만이다.
- [0049] 인(P)은 내식성이나 열간가공성을 저하시킴에 따라 그 상한을 0.1%로 한정할 수 있다.
- [0050] S의 함량은 0.01% 미만이다.
- [0051] 황(S)은 내식성이나 열간가공성을 저하시킴에 따라 그 상한을 0.01%로 한정할 수 있다.

- [0052] Cu의 함량은 1.0 내지 3.0%이다.
- [0053] 구리(Cu)는 본 발명에서 니켈(Ni) 대신 첨가되는 오스테나이트상 안정화 원소로, 환원 환경에서의 내식성을 향상시키고 적층 결함 에너지(Stacking Fault Energy, SFE)를 감소시켜 성형성을 향상시킨다. 이러한 효과를 충분히 발현시키기 위해 1.0% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, 소재비용의 상승뿐만 아니라 열간 가공성을 저하시킬 수 있으므로 그 상한을 3.0%로 한정할 수 있다.
- [0054] Mo의 함량은 1.0% 미만이다.
- [0055] 몰리브덴(Mo)은 부동태 피막(Passive Film)을 개질하여 스테인리스강의 내식성을 향상시키는데 효과적인 원소이다. 그러나 Mo는 고가의 원소임에 따라 다량의 첨가 시 원료비용의 상승을 초래할 뿐만 아니라 열간가공성을 저하시키는 문제점이 있다. 이에 강재의 비용-효율성을 및 열간가공성을 고려하여 그 상한을 1.0%로 한정할 수 있다.
- [0056] N의 함량은 0.25 내지 0.40%이다.
- [0057] 질소(N)는 내식성 향상에 효과적인 원소로, 강력한 오스테나이트 안정화 원소이다. 따라서 질소 합금화는 Ni, Cu, Mn의 보다 낮은 사용을 가능하게 함으로써 소재비용을 절감할 수 있다. 이러한 효과를 충분히 발현시키기 위해 0.25% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, 고용강화 효과에 의해 가공성 및 성형성을 저하시킬 수 있으므로 그 상한을 0.40%로 한정할 수 있다.
- [0058] C+N의 함량은 0.5% 이하이다.
- [0059] C 와 N은 강도 향상에 효과적인 원소이나, 그 함량이 과도할 경우, 가공성을 저하시키는 문제가 있어, 그 합계의 상한을 0.5%로 한정할 수 있다.
- [0060] 또한 본 발명의 일 실시예에 따른 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강은, B: 0.001 내지 0.005 및 Ca: 0.001 내지 0.003% 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
- [0061] B의 함량은 0.001 내지 0.005%이다.
- [0062] 붕소(B)는 주조 중의 크랙 발생을 억제하여 양호한 표면 품질을 확보하는데 효과적인 원소로, 0.001% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, 소둔/산세 공정 중 제품 표면에 질화물(BN)을 형성시켜 표면품질을 저하시킬 수 있어 그 상한을 0.005%로 한정할 수 있다.
- [0063] Ca의 함량은 0.001 내지 0.003%이다.
- [0064] 칼슘(Ca)은 고 Mn 함유 시 입계에 생성되는 MnS 제강성 개재물의 형성을 억제하여 제품의 청정도를 향상시키는 원소로, 0.001% 이상 첨가할 수 있다. 다만 그 함량이 과도할 경우, Ca계 개재물 형성에 기인한 열간가공성 저하 및 제품 표면품질 저하를 초래할 수 있어 그 상한을 0.003%로 한정할 수 있다.
- [0065] 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.
- [0066] 오스테나이트 스테인리스강의 가격경쟁력을 확보하기 위해서는 Ni, Mn 등 고가의 오스테나이트 안정화 원소의 함량을 줄여야 하고, 이를 보상할 수 있는 N 첨가량을 예측하는 것이 요구된다. 이를 위해, 각 합금성분을 고려하여 N의 용해한도 계산을 통한 최적의 N 함량 설정이 필요하다.
- [0067] 이에, 상태도 예측 프로그램인 Thermocalc.를 활용하여 각 합금 원소(C, Si, Mn, Ni, Cr, Cu, Mo)의 첨가량에 따라 1150℃에서의 용탕 온도내에 용해될 수 있는 N의 함량을 도출하였다.
- [0068] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 오스테나이트계 스테인리스강의 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값 도출을 위한 성분별 Thermocalc. 계산결과 및 회귀식 적용 값과의 상관관계를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0069] 도 1을 참조하면, 용탕 내 질소가 고용되는 한계값을 계산하여 "N용해한(The.)"로 표기하였다.
- [0070] 이러한 성분변화에 따른 Thermocalc.의 계산값을 바탕으로 하기 식(1)의 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid) 회귀식을 도출하였다.
- [0071] 식(1): $SNL = -0.188 - 0.0423 \times C - 0.0517 \times Si + 0.012 \times Mn + 0.0048 \times Ni + 0.0252 \times Cr - 0.00906 \times Cu + 0.00021 \times$

Mo

- [0072] 도출된 회귀식을 적용할 경우 R(sq)값이 100%로 높은 상관관계에 해당함을 확인하였으며, N 용융 한계값인 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid) 도출을 위한 성분별 Thermocalc. 계산결과와 회귀식의 관계에서 적합성의 확보가 가능함을 확인하였다.
- [0073] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강은, SNL 값이 N 함량 이상이다. 이와 같이, SNL 값을 N 함량 보다 높게 설정하여 질소 고용한도를 높일 경우, 목표하는 합금성분의 제강조업이 양호하게 실시되는 것을 확인하였다.
- [0074] 오스테나이트계 스테인리스강의 경우 미려한 표면을 요구하는 제품에 적용된다. 미려한 표면을 요구하는 제품의 경우 냉간압연재를 광휘소둔(Bright Annealing)하는 것이 일반적이다. 이러한 광휘소둔은 스테인리스 냉간압연재를 질소(N₂), 수소(H₂) 등을 이용한 환원성 분위기(Dew point -40 ~ -60℃) 하에서 열처리를 수행하여 스테인리스 냉간압연재의 열처리 과정에서 발생하는 재산화를 방지함으로써, 표면의 색상 및 성상 변화 없이 표면을 밝고 미려하게 유지하는 열처리기술이다. 이러한 광휘소둔에 사용되는 분위기 가스로 수소를 이용한 광휘소둔이 가장 일반적이며, 이는 높을 열용량 뿐만 아니라 표면의 변색을 억제하기 위해서 가장 널리 사용되기 때문이다.
- [0075] 일반적인 오스테나이트계 스테인리스강 대비 본 발명과 같이 Ni, Mn 등의 오스테나이트 안정화 원소를 감소시킨 스테인리스강에 있어서, 수소분위기의 광휘소둔 적용 시 고려해야 할 점이 있다.
- [0076] 이는 광휘소둔 시 수소의 침투에 의해 최종 소재가 수소취성 결함에 따른 가공성 열위의 문제점이 발생할 가능성이 높다는 점이다. 상기의 Ni, Mn 등 오스테나이트 안정화 원소가 감소된 스테인리스강의 경우, 최종 광휘소둔 이전 냉간압연 시 응력유기 또는 가공유기 마르텐사이트가 표층부를 중심으로 형성되며, 이러한 표층부에 형성된 마르텐사이트상은 광휘소둔 시 열처리에 의해 오스테나이트상으로 변태되기 이전에 불활성 가스인 수소원자와 접하게 되고, 이러한 수소원자는 일부 마르텐사이트상 내부로 침투하게 된다. 광휘소둔에 의해 기존의 응력유기 또는 가공유기 마르텐사이트가 오스테나이트상으로 상변태함에 따라 내부에 침투된 수소원자는 바깥으로 배출되지 못하고 표층부에서 원자 상태로 갇혀버리게 된다.
- [0077] 이렇게 표층부에 침투한 수소원자는 일반적인 BCC 및 BCT 구조인 페라이트 혹은 마르텐사이트 상에 대해서는 상온에서 일정시간이 경과한 후 자연적으로 베이크 아웃(bake-out)되어 물성에 큰 영향을 미치지 않게 된다.
- [0078] 반면, 표층부 마르텐사이트상이 광휘소둔에 의해서 오스테나이트상으로 상변태 하였을 경우, 즉 FCC의 격자구조 내에 수소원자가 존재할 경우에는, 상온에서 상당 시간이 경과할지라도 수소원자의 자연적 베이크 아웃이 원활하지 못하고 장기간 소재 내에 존재하게 된다.
- [0079] 이러한 수소원자는 수소취성을 일으키는 인자로 알려져 있으며, 일부 가공 또는 변형에 의해서 소재 내에 갇혀 있던 수소원자들은 수소분자(gas)의 상태로 변화하게 되고, 일정 압력에 도달할 경우, 일정 하중 하에서 크랙의 기점으로 작용하여 연신율의 저하를 일으킨다.
- [0080] 따라서 Ni 및 Mn이 상대적으로 낮은 오스테나이트계 스테인리스강의 경우, 합금성분과 함께 추가적으로 가공경화에 의해 표면에 형성되는 마르텐사이트상의 생성량을 제어해야만 광휘소둔을 통해 미려한 표면품질 및 가공성을 확보할 수 있다.
- [0081] 이에, 본 발명의 일 실시예에 따른 강도가 향상된 오스테나이트계 스테인리스강은 하기 식 (2) 로 표현되는 Md₃₀ 값이 -50℃ 이하의 범위를 만족한다.
- [0082] 식(2): $Md_{30} = 551 - 462 \times (C + N) - 9.2 \times Si - 8.1 \times Mn - 13.7 \times Cr - 29 \times (Ni + Cu) - 8.5 \times Mo$
- [0083] 오스테나이트계 스테인리스강은, 마르텐사이트 변태 개시온도(Ms) 이상의 온도에서 소성가공에 의해 마르텐사이트 변태가 발생한다. 이러한 가공에 의해 상변태를 일으키는 상한 온도는 Md 값으로 나타내며, 가공에 의해 상변태가 일어나는 정도를 나타내는 척도이다.
- [0084] 특히, 30% 변형을 부여할 때 마르텐사이트로의 상변태가 50% 일어나는 온도(℃)를 Md₃₀ 라고 정의한다. Md₃₀ 값이 높으면 가공유기 마르텐사이트상의 생성이 쉬운 것에 반해, Md₃₀ 값이 낮으면 가공유기 마르텐사이트상의 생성이 상대적으로 어려운 강종으로 판단할 수 있다. 일반적으로 Md₃₀ 값은 통상의 오스테나이트계 스테인리스강의 오스테나이트 안정화도를 판단할 수 있는 지표로 사용되며, 상기 식(2)로 표현되는 Nohara 회귀식을 통해서 연

산될 수 있다.

[0085] 합금성분 함량 차이에 의해 다양한 종류의 상을 형성하는 것은 첨가된 각각의 합금성분이 상 밸런스에 미치는 영향이 다르기 때문이다.

[0086] 각 합금성분이 상 밸런스에 영향을 미치는 정도를 C_{req} 및 N_{ieq} 를 통해 계산할 수 있으며, 하기의 식(3)와 같이 표현되는 C_{req}/N_{ieq} 비를 통해 상온에서 생성되는 상을 예측할 수 있다.

[0087] 식(3): C_{req}/N_{ieq}

[0088] 여기서, $C_{req} = Cr + Mo + 1.5 \times Si$, $N_{ieq} = Ni + 0.5 \times Mn + 30 \times (C + N) + 0.5 \times Cu$ 이다.

[0089] 즉 C_{req}/N_{ieq} 비가 낮을 경우에는, 상대적으로 오스테나이트 안정화도가 높아 상온에서 오스테나이트 단상 형성이 가능한 반면, C_{req}/N_{ieq} 비가 높은 경우에는, 오스테나이트 안정화도가 낮아 페라이트 상이 국부적으로 형성될 가능성이 높다.

[0090] 본 발명자들은 다양한 합금성분에 대해서 C_{req}/N_{ieq} 비를 적용하여 검토한 결과, C_{req}/N_{ieq} 비가 1.8 이하인 경우 오스테나이트 단상 기지조직의 형성이 가능한 것을 확인하였다.

[0091] 스테인리스강의 내식성을 평가하는 기준으로 다양한 방법이 활용되고 있으나, 합금성분에 대한 변별력을 간단히 검토하는 방법으로 내공식지수(PREN)의 활용을 들 수 있다.

[0092] PREN은 일반적으로 Cr, Mo, N이 영향을 미치는 것으로 활용되나, Mn의 함량이 상대적으로 높은 강종의 경우 Mn의 영향도 고려할 필요가 있어, 본 발명에서는 하기 식(4) 성분 관계식을 도출하였다.

[0093] 일반적으로 사용되는 고내식 316L 스테인리스강의 합금 성분계를 하기식에 적용할 경우, 약 22의 값을 나타낸다. 이에 본 발명에서는 316L 스테인리스강 대비 동등 수준 이상의 내식성을 확보하고자, PREN 값을 22 이상으로 설정하였다.

[0094] 식(4): 내공식지수(PREN) = $16 + 3.3Mo + 16N - 0.5Mn$

[0096] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세하게 설명하고자 한다.

[0097] 하기 표 1에 나타낸 다양한 합금 성분범위에 대하여, 잉곳(Ingot) 용해를 통해 200mm 두께의 슬라브를 제조하고, 1,240℃에서 2시간 동안 가열한 후 열간압연을 실시하여 3mm 두께의 열연강판을 제조하였다.

표 1

[0098]

	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Cu	Mo	N	C+N
실시예 1	0.104	0.48	2.91	0.005	3.53	20.8	2.1	0.52	0.3	0.404
실시예 2	0.103	0.49	3.4	0.005	3.35	19.6	1.16	0.39	0.27	0.373
실시예 3	0.088	0.31	3.41	0.004	3.7	21.7	2.51	0.10	0.34	0.428
실시예 4	0.035	0.31	3.8	0.006	4.2	21	2.48	0.20	0.33	0.365
비교예 1	0.02	0.52	1.4	0.004	10.4	16.6	0.39	2.00	0.018	0.038
비교예 2	0.014	0.55	2.4	0.006	2.4	20.3	0.1	1.30	0.2	0.166
비교예 3	0.1	0.38	3.8	0.006	3.4	17.2	1.45	0.10	0.21	0.310
비교예 4	0.15	0.46	3.8	0.004	3.6	21.6	2.04	0.32	0.35	0.500

[0099] 이후 1,150℃에서 1분간 용체화 처리를 실시한 후, 미세조직 관찰 및 다양한 기계적 물성에 대한 평가를 진행하였다.

[0100] 기계적 특성은 일본 공업규격 JIS Z 2201에 규정되어 있는 5호 시험편을 이용하여 측정하였다. 구체적으로, JIS Z 2201을 활용하여 인장시험을 진행하고, 그에 따라 측정된 항복강도(Yield Strength, MPa), 인장강도(Tensile Strength, MPa) 및 연신율(Elongation, %)을 하기 표 2에 기재하였다.

[0101] 또한, 상기 표 1의 실시예 4종 및 비교예 4종에 대하여 SNL 연산결과, Md30 연산결과, C_{req}/N_{ieq} 비 연산결과 및 PREN 연산결과를 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

강종	N용해한 (The.)	N 용해한 (Reg.)	Md ₃₀ (℃)	Creq/ Nieq	PREN	상 분석	기계적 특성		
							YS (MPa)	TS (MPa)	E1 (%)
실시예 1	0.3238	0.3244	-121	1.2140	25.861	Austenite	490	780	44%
실시예 2	0.3067	0.3080	-60	1.2322	23.507	Austenite	460	760	50%
실시예 3	0.3582	0.3590	-170	1.0914	25.765	Austenite	510	800	44%
실시예 4	0.3472	0.3488	-136	1.1845	25.04	Austenite	470	750	42%
비교예 1	0.2205	0.2204	-60	1.5585	22.788	Austenite	220	540	58%
비교예 2	0.3230	0.3233	76	2.6076	25.822	Duplex	480	700	45%
비교예 3	0.2552	0.2556	-5	1.1661	18.99	Austenite	380	720	54%
비교예 4	0.3544	0.3550	-180	1.0507	26.356	Austenite	530	830	32%

- [0103] 일반적인 316L 스테인리스강의 성분계에 해당하는 비교예 1의 경우, 오스테나이트상으로 구성된 조직을 나타내며, 22이상의 PREN값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 다만 0.25% 미만의 질소가 첨가되어, 기계적 특성 평가 결과 220MPa의 항복강도 및 540MPa의 인장강도를 나타내며, 이는 일반적으로 널리 사용되는 연질의 오스테나이트계 스테인리스강의 물성에 해당하여 고강도를 요구하는 소재에 적용하기 어려운 문제점이 있다.
- [0104] Creq/Nieq비가 1.8을 초과하는 비교예 2의 경우, 일정 수준이상의 Mo가 첨가됨에 따라 PREN값이 약 26 수준으로 나타나 우수한 내공식 저항성을 나타낸다. 또한, 기계적 특성 평가 결과 480MPa의 항복강도 및 700MPa의 인장강도 그리고 45%의 연신율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] 다만 Ni, N이 상대적으로 모두 낮은 수준의 합금성분계로써 상온 미세조직 관찰 시 오스테나이트상과 페라이트상이 약 5:5를 지나는 Duplex의 조직을 형성하는 것이 확인되었다. 이는 상 밸런스에서 페라이트의 안정화도가 316L 스테인리스강 대비 상대적으로 높은 값을 나타내기 때문이다. Duplex 조직에서는 오스테나이트상과 페라이트상 사이의 계면에서 크랙이 발생할 가능성이 있어, 절곡 등 성형이 요구되는 소재에 적용하기 어려운 문제점이 있다.
- [0106] 비교예 2 대비 Ni, Mn의 함량을 소폭 상승시키고 Creq/Nieq비를 1.8 이하로 설정한 비교예 3의 경우, 미세조직 관찰시 오스테나이트상으로 구성된 조직을 형성하고, 기계적 물성의 경우 비교예 1의 316L 대비 경질이며, 비교예 2의 Duplex 스테인리스 대비 연질의 물성을 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0107] 하지만 Md₃₀ 값이 -5℃ 수준으로, 향후 표면이 미려한 광휘소둔재 생산 시 수소취성 발생가능성이 높다. 또한, Cr의 함량에 크게 영향 받는 N의 용해한이 낮아 N의 첨가량이 0.21% 수준으로, PREN값의 질소 팩터를 극대화시킬 수 없어, 316L 수준의 내공식 저항성을 확보하기 어려운 문제가 있다.
- [0108] 비교예 3 대비 N, C, Cr의 함량을 높인 비교예 4의 경우, -180℃ 수준의 Md₃₀ 값을 나타냄에 따라 광휘소둔재 제조에 적합하고, Creq/Nieq비를 1.8 이하로 설정함에 따라 오스테나이트 단상 조직의 확보가 가능함을 확인할 수 있다.
- [0109] 다만, C+N 함량이 0.5%로 본 발명의 상한인 0.47%를 초과하여, 경질의 기계적 물성을 나타내고, 연신율이 35% 미만으로 나타남을 알 수 있다.
- [0110] 상기 표 2를 참조하면, 본 발명의 실시예 1 내지 4의 경우, -50℃ 이하의 Md₃₀값의 확보가 가능하여 광휘소둔 시 수소취성의 발생가능성이 낮을 뿐만 아니라, 니켈당량(Nieq)과 크롬당량(Creq)의 비(Creq/Nieq)는 모두 1.8이하의 범위를 만족하여 상온에서 오스테나이트 단상 조직의 형성이 가능하다.
- [0111] 뿐만 아니라, Ni 및 Mo 함량이 상대적으로 낮아 가격 경쟁력을 확보하면서도 22이상의 PREN값을 나타내는 것이 확인되었으며, 기계적 특성 평가 결과 316L 대비 고강도 특성 구현이 가능함과 동시에 35% 이상의 양호한 연신율 확보가 가능함을 확인하였다.
- [0112] 이상의 결과로부터 중량%로, C: 0.02 내지 0.14%, Si: 0.2 내지 0.6%, P: 0.1% 미만, S: 0.01% 미만, Mn: 2.0 내지 4.5%, Ni: 2.5 내지 5.0%, Cr: 19.0 내지 22.0%, Cu: 1.0 내지 3.0%, Mo: 1.0% 미만, N: 0.25 내지 0.40%를 포함하고, 나머지는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 오스테나이트계 스테인리스강에 대하여 본 발명에 의해 새로이 제안된 가격 경쟁력 및 제강용이성 확보를 위한 SNL(Solubility of Nitrogen in Liquid)값 제어, 오

스테나이트상 안정화도 확보를 위한 Md_{30} 값 제어, 미세조직내 오스테나이트상 형성을 위한 C_{req}/Ni_{eq} 비 제어 그리고 내식성 확보를 위한 내공식지수(PREN)의 제어를 통하여 기존 316L 스테인리스강 수준의 가공성 및 내식성을 확보하면서도, 가격 경쟁력 및 강도를 향상시킬 수 있는 스테인리스강을 제조할 수 있음을 알 수 있다.

[0113]

상술한 바에 있어서, 본 발명의 예시적인 실시예들을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 다음에 기재하는 특허청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변경 및 변형이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

도면

도면1

