



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월08일

(11) 등록번호 10-2261663

(24) 등록일자 2021년06월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/58 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)

C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/58 (2013.01)

C21D 8/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-7028249

(22) 출원일자(국제) 2017년10월31일

심사청구일자 2019년09월26일

(85) 번역문제출일자 2019년09월26일

(65) 공개번호 10-2019-0122755

(43) 공개일자 2019년10월30일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2017/039451

(87) 국제공개번호 WO 2019/087318

국제공개일자 2019년05월09일

(56) 선행기술조사문헌

JP2017115239 A*

JP2011214099 A*

KR1020150020258 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

닛폰세이테츠 가부시카이가샤

일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2조메 6방 1고

(72) 발명자

가가야 다카유키

일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2조메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시카이가샤 내

가시마 가즈유키

일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2조메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시카이가샤 내

(74) 대리인

양영준, 최인호, 성재동

전체 청구항 수 : 총 7 항

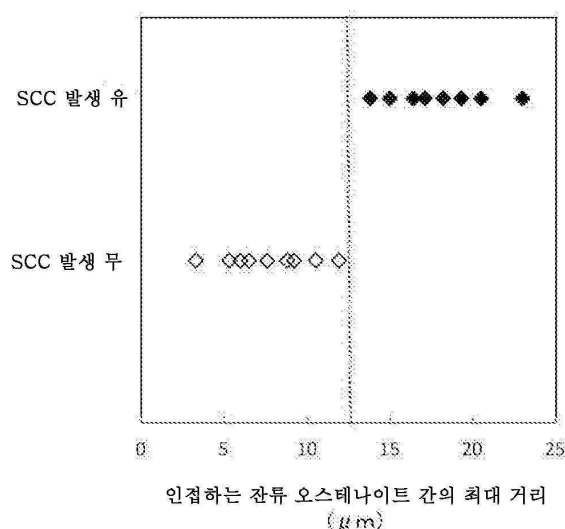
심사관 : 정현복

(54) 발명의 명칭 저온용 니켈 함유 강판 및 그것을 사용한 저온용 탱크

(57) 요약

소정의 화학 조성을 갖고, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트 체적 분율이 3.0 내지 20.0체적%이고, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하이고, 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 2.5 μ m 이하인 저온용 니켈 함유 강판 및 그것을 사용한 저온용 탱크.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22C 38/42 (2013.01)

C22C 38/60 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량%로,

C: 0.010 내지 0.150%,

Si: 0.01 내지 0.60%,

Mn: 0.20 내지 2.00%,

P: 0.010% 이하,

S: 0.010% 이하,

Ni: 5.00 내지 9.50%,

Al: 0.005 내지 0.100%,

N: 0.0010 내지 0.0100%,

Cu: 0 내지 1.00%,

Sn: 0 내지 0.80%,

Sb: 0 내지 0.80%,

Cr: 0 내지 2.00%,

Mo: 0 내지 1.00%,

W: 0 내지 1.00%,

V: 0 내지 1.00%,

Nb: 0 내지 0.100%,

Ti: 0 내지 0.100%,

Ca: 0 내지 0.0200%

B: 0 내지 0.0500%

Mg: 0 내지 0.0100%,

REM: 0 내지 0.0200%, 그리고

잔부: Fe 및 불순물이고,

표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트 체적 분율이 3.0 내지 20.0체적%이고,

표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하이고,

표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 2.5 μ m 이하인 저온용 니켈 함유 강판.

청구항 2

제1항에 있어서, 질량%로,

Ni의 함유량이, 질량%로, 8.00 내지 9.50%인 저온용 니켈 함유 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 항복 강도가 590 내지 800MPa, 인장 강도가 690 내지 830MPa, -196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지가 150J 이상인 저온용 니켈 함유 강판.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 판 두께가 6 내지 50mm인 저온용 니켈 함유 강판.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 기재된 저온용 니켈 함유 강판을 사용하여 제작된 저온용 탱크.

청구항 6

제3항에 기재된 저온용 니켈 함유 강판을 사용하여 제작된 저온용 탱크.

청구항 7

제4항에 기재된 저온용 니켈 함유 강판을 사용하여 제작된 저온용 탱크.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는, 저온용 니켈 함유 강판과 그것을 사용한 저온용 탱크에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 본 개시는, 액화 천연 가스(비점: -164°C , 이하, LNG라고 칭함)를 저조(貯槽)하기 위한 저조 탱크를 주된 용도로 한다. 저조 탱크에 사용되는 저온용 니켈 함유 강판(이하, 저온용 Ni 강판이라고 함)에는, 우수한 저온 인성이 요구된다. 이러한 강판으로서, 예를 들어 5.00 내지 9.50%의 범위의 Ni를 함유하는 강(이하, 5 내지 9% Ni 강이라고 부름)이 있다.

[0003] 저조 탱크에 사용되는 저온용 니켈 함유 강판의 종래 기술로서는, 특허문헌 1, 2에 판 두께 40mm 이상, Ni 함유량 9% 클래스의 강이 개시되어 있다. 특허문헌 1에서는 Si의 저감과 동시에 Mo를 적량 첨가함으로써 HAZ 특성을 개선하고 있고, 특허문헌 2에서는, Si 함유량의 저감, 적절한 누적 압하율 제어에 의해 안정된 잔류 오스테나이트의 석출을 얻어, 저온 인성의 향상을 도모하는 것이다.

[0004] 특허문헌 3에는 Ni를 많이 함유하고, 높은 강도와 인성, 그리고 해수 등에 대한 내용력 부식 균열성이 요구되는 강판에 대해서는 11.0초과 내지 13.0%의 Ni를 함유하는 강판이 제안되어 있다.

[0005] 지금까지, 육상 LNG 탱크 용도에는 5 내지 9% Ni 강이 폭넓게 사용되어 오고 있지만, 선박용으로서의 사용 실적은 거의 없는 것이 현 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 평04-371520호 공보
(특허문헌 0002) 일본 특허 공개 평06-184630호 공보
(특허문헌 0003) 일본 특허 공개 평09-137253호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 선박용으로서의 5 내지 9% Ni 강의 사용 실적이 거의 없는 원인의 하나로서, 염화물 환경에 있어서의 응력 부

식 균열의 우려를 들 수 있다. 선박용 탱크(예를 들어, 선박용 LNG 탱크)에 있어서는, 취향으로부터 약 25년 경과한 선박에 있어서 5 내지 9% Ni 강재 탱크에 균열이 발생한 사례가 과거에 있었다.

[0008] 현 상황은 알루미늄 합금이나 스테인리스강이 주로서 사용되고 있다. 향후, 저온용 Ni 강을 선박용으로 사용하기 위해서는 응력 부식 균열 대책이 중요한 과제로 되고 있다. 과거에 5 내지 9% Ni 강재 탱크에 응력 부식 균열이 발생한 사례에 대해서는, 이미 조사 보고서가 공표되어 있다. 구체적으로는, 탱크에 있어서의 응력 부식 균열의 발생 원인으로서, (1) 설비 트러블에 의해 탱크 내가 결로되었다, (2) 균열이 발생한 용접 열 영향 부(HAZ)에서는 경도가 420HV 정도로 높았다라는 기재가 있고, 수소에 의한 균열이라는 견해가 설명되어 있다.

[0009] 그러나, 부식 생성물에 S(황)분의 흔적이 보이지 않는다는 점에서, 황화수소의 영향이라고 할 만 한 근거도 없다는 기재도 있다. 이와 같이, 실제로 발생한 응력 부식 균열의 원인에 대해서는 불분명한 점이 많다.

[0010] 본 개시에서는, 모재 강도 및 모재 인성을 손상시키는 일 없이, 내응력 부식 균열 특성이 우수한 저온용 니켈 함유 강판 및 그것을 사용한 저온용 탱크를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 과제의 해결 수단에는, 이하의 양태가 포함된다.

[0012] <1>

[0013] 질량%로,

[0014] C: 0.010 내지 0.150%,

[0015] Si: 0.01 내지 0.60%,

[0016] Mn: 0.20 내지 2.00%,

[0017] P: 0.010% 이하,

[0018] S: 0.010% 이하,

[0019] Ni: 5.00 내지 9.50%,

[0020] Al: 0.005 내지 0.100%,

[0021] N: 0.0010 내지 0.0100%,

[0022] Cu: 0 내지 1.00%,

[0023] Sn: 0 내지 0.80%,

[0024] Sb: 0 내지 0.80%,

[0025] Cr: 0 내지 2.00%,

[0026] Mo: 0 내지 1.00%,

[0027] W: 0 내지 1.00%,

[0028] V: 0 내지 1.00%,

[0029] Nb: 0 내지 0.100%,

[0030] Ti: 0 내지 0.100%,

[0031] Ca: 0 내지 0.0200%

[0032] B: 0 내지 0.0500%

[0033] Mg: 0 내지 0.0100%,

[0034] REM: 0 내지 0.0200%, 그리고

[0035] 잔부: Fe 및 불순물이고,

- [0036] 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트 체적 분율이 3.0 내지 20.0체적%이고,
- [0037] 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하이고,
- [0038] 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 2.5 μ m 이하인 저온용 니켈 함유 강판.
- [0039] <2>
- [0040] 질량%로,
- [0041] Ni의 함유량이, 질량%로, 8.00 내지 9.50%인 <1>에 기재된 저온용 니켈 함유 강판.
- [0042] <3>
- [0043] 항복 강도가 590 내지 800MPa, 인장 강도가 690 내지 830MPa, -196℃에서의 샤르피 충격 흡수 에너지가 150J 이상인 <1> 또는 <2>에 기재된 저온용 니켈 함유 강판.
- [0044] <4>
- [0045] 판 두께가 6mm 이상 50mm 이하인 <1> 내지 <3> 중 어느 한 항에 기재된 저온용 니켈 함유 강판.
- [0046] <5>
- [0047] <1> 내지 <4> 중 어느 한 항에 기재된 저온용 니켈 함유 강판을 사용하여 제작된 저온용 탱크.

발명의 효과

- [0048] 본 개시에 의하면, 모재 강도 및 모재 인성을 손상시키는 일 없이, 내응력 부식 균열 특성이 우수한 저온용 니켈 함유 강판 및 그것을 사용한 저온용 탱크 및 그것을 사용한 저온용 탱크를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0049] 도 1은, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리와 응력 부식 균열(도면 중 「SCC」라고 표기) 발생의 유무의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 2는, 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경과 -196℃에서의 샤르피 충격 흡수 에너지(도면 중 「vE₋₁₉₆」이라고 표기)의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 3은, 최종 면압 S와 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 4는, 템퍼링 시의 승온 속도와 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 5는, 염화물 응력 부식 균열 시험 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 6은, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리의 예시를 도시하는 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0050] 이하에, 본 개시의 일례인 저온용 니켈 함유 강판(이하, 「저온용 Ni 강판」이라고도 칭함)에 대하여 설명한다.
- [0051] 또한, 본 개시에 있어서, 화학 조성의 각 원소의 함유량의 「%」 표시는, 「질량%」를 의미한다.
- [0052] 또한, 각 원소의 함유량의 %는, 특별히 설명이 없는 경우, 질량%를 의미한다.
- [0053] 또한, 「내지」를 사용하여 표시되는 수치 범위는, 「내지」의 전후에 기재되는 수치를 하한값 및 상한값으로서 포함하는 범위를 의미한다.
- [0054] 또한, 「강판의 두께 방향」을 「판 두께 방향」이라고도 칭한다.

- [0055] 본 개시의 저온용 Ni 강판은, 후술하는 소정의 화학 조성을 갖고, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트의 체적 분율이 3.0 내지 20.0체적%이고, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하이고, 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 2.5 μ m 이하이다.
- [0056] 여기서, 저온용 Ni 강판은, 두꺼운 강판, 또는 얇은 강판이어도 되고, 판 형상 등의 단조품이어도 된다. 저온용 Ni 강판의 판 두께는, 주로 6 내지 80mm로 하지만, 6mm 미만(예를 들어, 판 두께 4.5mm 또는 3mm)이어도, 80mm 초과(예를 들어 100mm)여도 된다.
- [0057] 본 개시의 저온용 Ni 강판은, 상기 구성에 의해, 모재 강도 및 모재 인성을 손상시키는 일 없이, 내응력 부식 균열 특성이 우수한 강판이 된다. 본 개시의 저온용 Ni 강판은, 다음 지건에 의해 알아내게 되었다.
- [0058] 먼저, 본 발명자들은, 저온용 Ni 강판의 모재 강도 및 모재 인성을 확보하면서, 내응력 부식 균열성을 확보시키기 위하여 검토를 행하였다.
- [0059] 구체적으로는, 본 발명자들은, 선박용 탱크(예를 들어, 선박용 LNG 탱크) 등에 사용할 수 있는 저온용 Ni 강판에 대하여 검토하였다.
- [0060] 먼저, 선박용 탱크의 건조로부터 운용까지의 공정을 고려하고, 부식 환경과 작용하는 응력에 대하여 정리하여, 응력 부식 균열 발생의 원인에 대하여 검토하였다. 그 결과, 본 발명자들은 다음 지건을 얻었다. 실제로 응력 부식 균열이 발생한 사례에 대해서는 건조후 약 25년이라고 하는 장기간 경과하고 나서 발생한 것이다. 또한, 선박용 탱크에 있어서는 정기적(약 5년에 1회)인 개방 점검이 실시된다. 한편으로, 개방 점검이 없는 육상용 탱크(예를 들어 LNG 탱크)에 있어서는 이러한 응력 부식 균열의 문제가 없다. 이러한 점에서, 응력 부식 균열 발생은, 개방 점검 시에 바다로부터 비래하는 염분(즉, 염화물)의 부착과 탱크 내의 결로가 원인이라고 생각할 수 있다.
- [0061] 그래서, 본 발명자들은, 용접부의 잔류 응력을 모의하여 응력을 부가한 시험에 의해, 염화물에 의한 응력 부식 균열(이하 「염화물 응력 균열」이라고도 칭함)을 재현 가능한 시험 방법을 확립하고, 재료면에서의 대책에 대하여 검토하였다. 그 결과, 본 발명자 등은, 이하의 (a) 내지 (c)에 나타내는 지건을 얻었다.
- [0062] (a) 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트 체적 분율을 3.0 내지 20.0체적%로 한 경우, 상기 기계적 강도를 확보하면서, 염화물 응력 부식 균열의 발생이 현저하게 억제된다.
- [0063] (b) 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리를 12.5 μ m 이하로 했을 경우, 상기 기계적 강도를 확보하면서, 염화물 응력 부식 균열의 발생이 현저하게 억제된다.
- [0064] (c) 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경을 2.5 μ m 이하로 했을 경우, 상기 기계적 강도를 확보하면서, 염화물 응력 부식 균열의 발생이 현저하게 억제된다.
- [0065] 이상의 지건에 의해, 본 개시의 저온용 Ni 강판은, 모재 강도 및 모재 인성을 손상시키는 일 없이, 내응력 부식 균열 특성(즉, 내염화물 응력 부식 균열 특성)이 우수한 강판이 된다는 것을 알아내었다.
- [0066] 그리고, 본 개시의 저온용 Ni 강판을 사용하여 제작된 저온용 탱크는, 저온용 탱크의 개방 점검 시에 비래 염화물의 관리를 할 수 없는 경우에도, 또한 탱크 내의 습도 관리에 불비가 있고 탱크 내가 결로된 경우에도, 염화물 응력 부식 균열을 방지할 수 있다. 그 때문에, 특히 저온용 탱크는, 선박용 탱크(예를 들어, 선박용 LNG 탱크)에 적합하다. 따라서, 본 개시의 저온용 Ni 강판은, 산업상의 공헌이 매우 현저하다.
- [0067] 또한, 저온용 탱크는, 적어도 본 개시의 저온용 Ni 강판을 포함하는 복수의 강판을 용접해서 제작된다. 저온용 탱크에는, 원통 탱크, 구상 탱크 등, 여러가지 탱크를 예시할 수 있다.
- [0068] 이하, 본 개시의 저온용 Ni 강판에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0069] (A) 화학 조성
- [0070] 이하, 본 개시의 저온용 Ni 강판의 화학 조성(이하 「본 개시의 화학 조성」이라고도 칭함)의 한정 이유에 대하여 설명한다.
- [0071] C: 0.010 내지 0.150%

- [0072] C는, 강도 확보를 위하여 필요한 원소이고, 잔류 오스테나이트를 안정화시키는 원소이기도 하다. 또한, 자신량이 0.010% 미만이면, 강도가 저하되고, 잔류 오스테나이트의 양이 저하되어 내염화물 응력 부식 균열 특성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, C량을 0.010% 이상으로 한다. 바람직하게는 C량을 0.030% 이상, 0.040% 이상 또는 0.050% 이상으로 한다. 한편, C량이 0.150%를 초과하면, 인장 강도가 과대해지고 모재 인성 저하가 현저해진다. 또한 표층 경도가 상승하기 쉬워져, 내염화물 응력 부식 균열 특성이 저하된다. 따라서, C량을 0.150% 이하로 한다. 바람직하게는 C량을 0.120% 이하, 0.100% 이하 또는 0.080% 이하로 한다.
- [0073] Si: 0.01 내지 0.60%
- [0074] Si는, 탈산제 또한 강도 확보를 위한 원소이다. 또한, Si는, 템퍼링 공정에서, 과포화에 고용하고 있는 마르텐 사이트 중에서의 시멘타이트로의 분해 석출 반응을 억제하는 원소이다. 시멘타이트가 억제됨으로써, 잔류 오스테나이트 중의 탄소 농도가 상승하여 잔류 오스테나이트가 안정화된다. 그 결과, 잔류 오스테나이트양이 증가함으로써 내염화물 응력 부식 균열 특성이 향상된다. 따라서, Si양을 0.01% 이상으로 한다. 바람직하게는 Si양을 0.02% 이상, 보다 바람직하게는 0.03% 이상으로 한다. 한편, Si양이 0.60%를 초과하면, 인장 강도가 과대해져 모재 인성이 저하된다. 따라서, Si양을 0.60% 이하로 한다. 바람직하게는 Si양을 0.50% 이하로 한다. 인성 향상을 위하여, Si양의 상한을 0.35%, 0.25%, 0.20% 또는 0.15%로 해도 된다.
- [0075] Mn: 0.20 내지 2.00%
- [0076] Mn은, 탈산제이고, 또한, 퀀칭성을 향상시켜 강도를 확보하기 위하여 필요한 원소이다. 따라서, 모재의 항복, 인장 강도를 확보하기 위해서, Mn양을 0.20% 이상으로 한다. 바람직하게는 Mn양을 0.30% 이상, 보다 바람직하게는 0.50% 이상 또는 0.60% 이상으로 한다. 한편, Mn양이 2.00%를 초과하면, 중심 편석에 기인하여 판 두께 방향에서의 모재 특성이 불균일해져, 모재 인성이 저하된다. 그 외에, 강판 중의 부식의 기점이 되는 MnS를 형성하고, 내식성을 저하시켜, 내염화물 응력 부식 균열 특성이 저하된다. 따라서, Mn양을 2.00% 이하로 한다. 바람직하게는 Mn양을 1.50% 이하, 1.20% 이하, 1.00% 이하 또는 0.90% 이하로 한다.
- [0077] P: 0.010% 이하
- [0078] P는 불순물이고, 입계에 편석하여 모재 인성을 저하시킨다. 따라서, P양을 0.010% 이하로 제한한다. 바람직하게는 P양을 0.008% 이하 또는 0.005% 이하로 한다. P양은 적을수록 바람직하다. P양의 하한은 0%이다. 그러나, 제조 비용의 관점에서, P를 0.0005% 이상 또는 0.001% 이상 함유하는 것을 허용해도 된다.
- [0079] S: 0.010% 이하
- [0080] S는 불순물이고, 강판 중의 부식의 기점이 되는 MnS를 형성하고, 내식성을 저하시켜, 내염화물 응력 부식 균열 특성이 저하된다. 또한 중심 편석을 조장하거나, 취성 파괴의 기점이 되는 연신 형상의 MnS가 생성되고, 모재 인성이 저하되는 원인이 되는 경우가 있다. 따라서, S양을 0.010% 이하로 제한한다. 바람직하게는 S양을 0.005% 이하 또는 0.004% 이하로 한다. S양은 적을수록 바람직하다. S양의 하한은 0%이다. 그러나, 제조 비용의 관점에서, S를 0.0005% 이상 또는 0.0001% 이상 함유하는 것을 허용해도 된다.
- [0081] Ni: 5.00 내지 9.50(바람직하게는 8.00 내지 9.50%)% 이하
- [0082] Ni는, 중요한 원소이다. Ni양이 많을수록 저온에서의 인성은 향상된다. 따라서, 필요한 인성을 확보하기 위해서, Ni양을 5.00% 이상으로 한다. 바람직하게는 Ni양을 5.50% 이상, 보다 바람직하게는 6.00% 이상으로 한다. 특히, 저온용 Ni 강판으로서 안정적으로 모재 인성을 확보하기 위해서는, 바람직하게는 Ni양을 8.00% 이상, 보다 바람직하게는 8.20% 이상, 더욱 바람직하게는 8.50% 이상으로 한다. Ni양이 많을수록 높은 저온 인성이 얻어지지만, 비용이 높아질 뿐만 아니라 염화물 환경 하에 있어서의 내식성이 현저하게 높아진다. 한편, 내식성이 높기 때문에 국소적인 부식 자국(국소 피트)을 형성하기 쉽고, 국소 피트부에서의 응력 집중에 의해 염화물 응력 부식 균열이 발생하기 쉬워진다. 따라서, Ni양을 9.50% 이하로 한다. 바람직하게는 Ni양을 9.40% 이하로 한다.
- [0083] Al: 0.005 내지 0.100%
- [0084] Al은 탈산제이고, 탈산 부족에 의한 알루미늄 등의 개재물 증가, 모재 인성 저하를 방지하는 원소이다. 또한, Al은, 시멘타이트의 생성을 억제하는 원소이기도 하다. 시멘타이트가 억제됨으로써, 잔류 오스테나이트 중의 탄소 농도가 상승하여 잔류 오스테나이트가 안정화된다. 그 결과, 잔류 오스테나이트양이 증가함으로써 내염화물 응력 부식 균열 특성이 향상된다. 따라서, Al양을 0.005% 이상으로 한다. 바람직하게는 Al양을 0.010% 이상, 0.015% 이상 또는 0.020% 이상으로 한다. 한편, Al양이 0.100%를 초과하면, 개재물에 기인하여 모재

인성이 저하된다. 따라서, Al 양을 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는 Al 양을 0.070% 이하, 0.060% 이하 또는 0.050% 이하로 한다.

[0085] N: 0.0010 내지 0.0100%

[0086] N은 Al과 결합하고, AlN을 형성함으로써 결정립을 미세화시켜, 모재 인성을 향상시키는 원소가 있다. 따라서, N 양을 0.0010% 이상으로 한다. 바람직하게는 N 양을 0.0015% 이상으로 한다. 그러나, N 양이 0.0100%를 초과하면 도리어 모재 인성이 저하되는 원인이 된다. 따라서, N 양을 0.0100% 이하로 한다. 바람직하게는 N 양을 0.0080% 이하, 0.0060% 이하 또는 0.0050% 이하로 한다.

[0087] 본 개시의 저온용 Ni 강관은, 상기의 성분 이외에, 잔부가 Fe와 불순물로 이루어지는 것이다. 여기서, 불순물이란, 저온용 Ni 강관을 공업적으로 제조할 때에, 광석, 스크랩 등과 같은 원료를 비롯하여, 제조 공정의 여러 가지 요인에 의해 혼입되는 성분이며, 본 개시에 악영향을 주지 않는 범위에서 허용되는 것을 의미한다.

[0088] 또한, 본 개시의 저온용 Ni 강관은, 필요에 따라, Cu, Sn, Sb, Cr, Mo, W, V, Nb, Ca, Ti, B, Mg 및 REM의 1종 또는 2종 이상을 함유해도 된다. 즉, 이들 원소는, 본 개시의 저온용 Ni 강관에 함유하지 않아도 되고, 이들 원소의 함유량의 하한은 0%이다.

[0089] Cu: 0 내지 1.00%

[0090] Cu는, 염화물 환경에 있어서 생성한 부식 생성물의 보호성을 높이고, 균열이 발생한 경우, 균열의 선단에 있어서의 용해를 억제하고, 균열의 진전을 억제하는 효과를 갖는다. Cu의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Cu 양은 0.01% 이상이 바람직하다. 보다 바람직하게는 Cu 양을 0.03% 이상, 더욱 바람직하게는 0.05% 이상으로 한다. 한편, Cu 양이 1.00%를 초과하면 효과가 포화되고, 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, Cu 양을 1.00% 이하로 한다. 보다 바람직하게는 Cu 함유량을 0.80% 이하, 더욱 바람직하게는 0.60% 이하 또는 0.30% 이하로 한다.

[0091] Sn: 0 내지 0.80%

[0092] Sn은, 부식 환경에 있어서 균열이 발생한 경우, 균열의 선단에 있어서 이온으로서 용출하고, 인히비터 작용에 의해, 용해 반응을 억제함으로써, 균열의 진전을 현저하게 억제하는 효과를 갖는 원소이다. Sn을 0% 초과로 함유시킴으로써 효과가 얻어지기 때문에, Sn 양을 0% 초과로 해도 된다. 한편, Sn을 0.80% 초과로 함유시키면, 모재 인성이 현저하게 저하되는 경우가 있다. 따라서, Sn 양을 0.80% 이하로 한다. 바람직하게는 Sn 양을 0.40% 이하, 보다 바람직하게는 0.30% 이하, 0.10% 이하, 0.03% 이하 또는 0.003% 이하로 한다.

[0093] Sb: 0 내지 0.80%

[0094] Sb는, Sn과 마찬가지로, 부식 환경에 있어서 균열이 발생한 경우, 균열의 선단에 있어서 이온으로서 용출하고, 인히비터 작용에 의해, 용해 반응을 억제함으로써, 균열의 진전을 현저하게 억제하는 효과를 갖는 원소이다. Sb를 0% 초과로 함유시킴으로써 효과가 얻어지기 때문에, Sb 양을 0% 초과로 해도 된다. 한편, Sb를 0.80% 초과로 함유시키면, 모재 인성이 현저하게 저하되는 경우가 있다. 따라서, Sb 양을 0.80% 이하로 한다. 바람직하게는 Sb 양을 0.40% 이하, 보다 바람직하게는 0.30% 이하, 0.10% 이하, 0.03% 이하 또는 0.003% 이하로 한다.

[0095] Cr: 0 내지 2.00%

[0096] Cr은, 강도를 높이는 작용이 있는 원소이다. 또한, Cr은, 염화물이 존재하는 박막수 환경에 있어서 강관의 내식성을 저하시켜서 국소 피트의 형성을 억제하고, 염화물 응력 부식 균열의 발생을 억제하는 작용을 갖는 원소이기도 하다. Cr의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Cr 양을 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Cr 양이 2.00%를 초과하면 효과가 포화될 뿐만 아니라 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, Cr 양을 2.00% 이하로 한다. 바람직하게는 Cr 양을 1.20% 이하, 0.50% 이하, 0.25% 이하 또는 0.10% 이하로 한다.

[0097] Mo: 0 내지 1.00%

[0098] Mo는, 강도를 높이는 작용이 있는 원소이다. 또한, Mo는, 부식 환경에 있어서 용출된 Mo가 몰리브덴산 이온을 형성한다. 저온용 Ni 강관의 염화물 응력 부식 균열은 균열 선단에서의 강관의 용해에 의해 균열이 진전된다. 그러나, 몰리브덴산 이온이 있음으로써 그 인히비터 작용에 의해 균열 선단에서의 용해가 억제되고, 균열 저항성이 대폭 높아진다. Mo의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Mo 양을 0.01% 이상으로 해도 된다. Mo 양을 0.20% 이상으로 해도 된다. Mo 양이 1.00%를 초과하면 용해 억제의 효과가 포화될 뿐만 아니라 모재 인성이

현저하게 저하되는 경우가 있다. 따라서, Mo양을 1.00% 이하로 한다. 바람직하게는 Mo양을 0.50% 이하, 0.15% 이하 또는 0.08% 이하로 한다.

[0099] W: 0 내지 1.00%

[0100] W도 Mo와 마찬가지로의 작용을 갖는 원소이다. 또한, 부식 환경에 있어서 부식 환경에 있어서 용출된 W가 텅스텐 산 이온을 형성함으로써 균열 선단에서의 용해를 억제하고, 내염화물 응력 부식 균열 특성을 향상시킨다. W의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, W양을 0.01% 이상으로 해도 된다. W양이 1.00%를 초과하면 효과가 포화될 뿐만 아니라 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, W양을 1.00% 이하로 한다. 바람직하게는 W양을 0.50% 이하, 0.10% 이하, 또는 0.02% 이하로 한다.

[0101] V: 0 내지 1.00%

[0102] V도 Mo와 마찬가지로의 작용을 갖는다. 부식 환경에 있어서 부식 환경에 있어서 용출된 V가 바나듐산 이온을 형성함으로써 균열 선단에서의 용해를 억제하고, 내염화물 응력 부식 균열 특성을 향상시킨다. V의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, V양을 0.01% 이상으로 해도 된다. V양이 1.00%를 초과하면 효과가 포화될 뿐만 아니라 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, V양을 1.00% 이하로 한다. 바람직하게는 V양을 0.50% 이하, 0.10% 이하 또는 0.02% 이하로 한다.

[0103] Nb: 0 내지 0.100%

[0104] Nb는, 조직을 미세화하여 강도나 모재 인성을 향상시키는 것 외에, 대기 중에서 형성되는 산화 피막을 강화함으로써, 염화물 응력 부식 균열의 발생을 억제하는 효과를 갖는 원소이다. Nb의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Nb양을 0.001% 이상으로 해도 된다. 한편, Nb를 과잉으로 첨가하면 조대한 탄화물 또는 질화물을 형성하고, 모재 인성을 저하시키는 경우가 있다. 따라서, Nb양을 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는 Nb양을 0.080% 이하, 0.020% 이하 또는 0.005% 이하로 한다.

[0105] Ti: 0 내지 0.100%

[0106] Ti는, 탈산에 이용하면, Al, Ti 및 Mn으로 이루어지는 산화물상을 형성하고, 조직을 미세화하여, 모재 강도 및 모재 인성을 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 그 외에, 강판 중의 S와 결합하여 황화물을 형성함으로써 부식의 기점이 되는 MnS를 현저하게 감소시켜, 염화물 응력 부식 균열의 발생을 억제하는 효과를 갖는 원소이다. 따라서, Ti의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Ti양을 0.001% 이상으로 해도 된다.

[0107] 한편, Ti양이 0.100%를 초과하면, Ti 산화물 또는 Ti-Al 산화물이 형성되어서 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, Ti양을 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는 Ti양을 0.080% 이하, 0.020% 이하 또는 0.010% 이하로 한다.

[0108] Ca: 0 내지 0.0200%

[0109] Ca는, 강 중의 S와 반응하여 용강 중에서 산 황화물(옥시슬파이드)을 형성한다. 이 산 황화물은, MnS 등과 상이하여 압연 가공에 의해 압연 방향으로 신장하는 일이 없으므로, 압연 후도 구형이다. 이 구형의 산 황화물은, 균열이 발생한 경우, 균열의 선단에서의 용해를 억제하고, 내염화물 응력 부식 균열성을 향상시킨다. 따라서, Ca의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Ca양을 0.0003% 이상으로 해도 된다. 보다 바람직하게는 Ca양을 0.0005% 이상, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이상으로 한다.

[0110] 한편, Ca의 함유량이 0.0200%를 초과하면, 인성의 열화를 초래하는 경우가 있다. 따라서, Ca양은 0.0200% 이하로 한다. 보다 바람직하게는 Ca양을 0.0040% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0030% 이하 또는 0.0020% 이하로 한다.

[0111] B: 0 내지 0.0500%

[0112] B는, 모재의 강도를 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 따라서, B의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, B양을 0.0003%로 해도 된다. 한편, B양이 0.0500%를 초과하면, 조대한 붕소 화합물의 석출을 초래하여 모재 인성을 열화시키는 경우가 있다. 따라서, B양은 0.0500% 이하로 한다. 바람직하게는 B양을 0.0400% 이하, 보다 바람직하게는 0.0300% 이하 또는 0.0200% 이하로 한다.

[0113] Mg: 0 내지 0.0100%

[0114] Mg는, 미세한 Mg 함유 산화물을 생성하고, 잔류 오스테나이트의 입경(원 상당 직경)을 미세화하는 효과를 갖는

원소이다. 따라서, Mg의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, Mg양을 0.0002% 이상으로 해도 된다. 한편, Mg양이 0.0100%를 초과하면, 산화물이 너무 많아져서 모재 인성이 저하되는 경우가 있다. 따라서, Mg양을 0.0100% 이하로 한다. 보다 바람직하게는 0.0050% 이하 또는 0.0010% 이하로 한다.

[0115] REM: 0 내지 0.0200%

[0116] REM은, 알루미늄, 황화망간 등의 개재물의 형태를 제어함으로써, 인성의 향상에 유효한 원소이다. 따라서, REM의 효과를 안정적으로 얻기 위해서는, REM양을 0.0002%로 해도 된다.

[0117] 한편, REM을 과잉으로 함유시키면, 개재물이 형성되어서 청정도가 저하되는 경우가 있다. 따라서, REM양을 0.0200% 이하로 한다. 바람직하게는 REM양을 0.0020%로 하고, 보다 바람직하게는 0.0010%로 한다.

[0118] 또한, REM이란, 란타노이드의 15 원소에 Y 및 Sc를 합친 17 원소의 총칭이다. 그리고, REM양은, 이들의 원소의 합계 함유량을 의미한다.

[0119] (B) 금속 조직

[0120] B-1. 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트의 체적 분율(이하 「잔류 오스테나이트량」이라고도 칭함)이 3.0 내지 20.0체적%

[0121] 강판 중의 잔류 오스테나이트는 균열의 진전을 억제하고, 내염화물 응력 부식 균열을 현저하게 향상시킨다. 잔류 오스테나이트는 Ni를 많이 함유하기 때문에, 염화물 박막수 환경에 있어서의 용해가 대폭으로 억제된다. 염화물 응력 부식 균열은 강판 표면에서 일어나는 현상이기 때문에, 강판 표층의 잔류 오스테나이트량이 중요하다.

[0122] 한편, 잔류 오스테나이트량이 많을수록 내염화물 응력 부식 균열 특성이 향상되지만, 너무 많으면 강도가 저하되기 때문에 필요한 강도를 확보할 수 없다.

[0123] 그 때문에, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트 체적 분율을 3.0 내지 20.0체적%로 한다.

[0124] 잔류 오스테나이트량은, 내염화물 응력 부식 균열을 향상시키는 관점에서, 바람직하게는 4.0체적% 이상으로 하고, 보다 바람직하게는 5.0체적% 이상으로 하는 것이 좋다. 한편, 잔류 오스테나이트량은, 강도의 저하 억제의 관점에서, 20.0체적% 이하로 한다. 바람직하게는 15체적% 이하로 하고, 보다 바람직하게는 12.0체적% 이하, 10.0체적% 이하 또는 8.0체적% 이하로 해도 된다.

[0125] 잔류 오스테나이트량(체적 분율)은, 다음의 방법에 의해 측정한다.

[0126] 강판의 표면으로부터 판 두께 방향으로 1.5mm의 위치를 관찰면으로 하는 시험편(판 두께 방향 1.5mm×폭 방향 25mm×길이 압연 방향 25mm로 하고, 관찰면은 한변이 25mm인 정사각형의 면으로 함)을 채취한다. 시험편에 대해서, X선 회절 측정으로 BCC 구조 α 상의 (110) (200) (211)면과 FCC 구조 γ 상의 (111) (200) (220)면의 적분 강도로부터 잔류 오스테나이트상의 체적 분율을 정량하여 구한다.

[0127] B-2. 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하

[0128] 염화물 응력 부식 균열의 균열은, 구 오스테나이트 입계를 우선적으로 진행한다. 잔류 오스테나이트는 균열 진전의 저항이 되기 때문에, 구 오스테나이트 입계에 밀하게 존재하는, 즉 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 거리를 단축함으로써 내염화물 응력 부식 균열 특성을 높일 수 있다.

[0129] 구체적으로는, 구 오스테나이트 입계에 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리를 12.5 μ m 이하로 했을 경우, 염화물 응력 부식 균열이 억제된다. 그리고, 염화물 응력 부식 균열은 강판 표면에서 일어나는 현상이기 때문에, 강판 표층의 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 중요해진다.

[0130] 결정립이 미세해져 입계가 증가되면, 진전 경로가 증가되고, 균열 진전이 용이해지는 점에서, 평균 구 오스테나이트 입경(EBSD(전자선 후방 산란 회절법) 측정으로 관찰한 구 오스테나이트 입자의 원 상당 직경의 평균값)을 8 μ m 초과, 9 μ m 이상, 또는 10 μ m 이상으로 해도 된다. 한편, 저온 인성의 향상이라는 점에서, 평균 구 오스테나이트 입경을 50 μ m 이하, 40 μ m 이하, 또는 30 μ m 이하로 해도 된다.

[0131] 마찬가지로의 이유로, 유효 결정립 직경(EBSD(전자선 후방 산란 회절법) 측정에 있어서, 방위차 15° 이상의 대각 입계로 둘러싸인 조직 단위의 원 상당 직경 평균값)을 5.5 μ m 초과, 6.0 μ m 이상, 또는 7.0 μ m 이상으로 해도

된다. 한편, 저온 인성의 향상을 위하여, 유효 결정립 직경을 $40\mu\text{m}$ 이하, $30\mu\text{m}$ 이하, 또는 $20\mu\text{m}$ 이하로 해도 된다.

- [0132] 여기서, 도 1에, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리와 응력 부식 균열(도면 중, 「SCC」라고 표기) 발생의 유무의 관계를 나타낸다. 도 1에 도시한 바와 같이, 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 $12.5\mu\text{m}$ 이하이면 응력 부식 균열의 발생이 없어진다.
- [0133] 그 때문에, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리를 $12.5\mu\text{m}$ 이하로 한다.
- [0134] 내응력 부식 균열을 향상시키는 관점에서, 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리는, 바람직하게는 $10.0\mu\text{m}$ 이하로 하고, 보다 바람직하게는 $9.0\mu\text{m}$ 이하, $8.0\mu\text{m}$ 이하 또는 $7.0\mu\text{m}$ 이하로 한다.
- [0135] 단, 잔류 오스테나이트끼리 연결되어 조대화되고, 모재 인성의 저하를 억제하는 관점에서, 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리의 하한은 $0\mu\text{m}$ 지만, $0\mu\text{m}$ 가 되는 경우는 적다. 필요에 따라, 그 하한을 $1.0\mu\text{m}$, $2.0\mu\text{m}$, $3.0\mu\text{m}$ 또는 $4.0\mu\text{m}$ 로 해도 된다.
- [0136] 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리는, 다음의 방법에 의해 측정한다.
- [0137] 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 $1/4$ 위치의 강판에 있어서의 「압연 방향 및 두께 방향에 수직인 단면」에 대하여, EBSD(전자선 후방 산란 회절법) 측정에 의해, 구 오스테나이트 입계에 있어서의 잔류 γ 를 관찰하였다. 구 오스테나이트의 방위와 페라이트상의 방위 간에는 Kurdjumov-Sachs의 관계가 성립하고 있고, 페라이트상의 결정 방위를 해석함으로써 변태 전의 오스테나이트상의 결정 방위를 구하고, 그것들로부터 구 오스테나이트 입계를 식별하였다. 그 구 오스테나이트 입계 상의 각각의 잔류 오스테나이트의 중심 간 거리(구 오스테나이트 입자의 입계를 통하는 경로에서의 거리)를 산출하였다. 관찰 시야는, 한번이 $150\mu\text{m}$ 인 정사각형으로, 20 시야 이상으로 하였다.
- [0138] 그리고, 20 시야 이상에서, 구 오스테나이트 입자를 관찰하고, 인접하는 각각의 잔류 오스테나이트의 중심 간 거리를 측정하여, 그 최댓값(즉, 측정한 잔류 오스테나이트 간의 거리의 최댓값)을 구한다.
- [0139] 여기서, 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리의 예시를 도 6에 나타낸다. 예를 들어, 도 6에 도시하는 바와 같이, 인접하는 잔류 오스테나이트 간에 있어서의 구 오스테나이트 입자의 입계가 직선형인 경우, 거리 A를 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리로 한다. 또한, 인접하는 잔류 오스테나이트 간에 있어서의 구 오스테나이트 입자의 입계가 굴곡되어 있는 경우, 거리 B와 거리 C의 합계를 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리로 한다.
- [0140] 도 6중, 100은 잔류 오스테나이트를 나타내고, 102는 구 오스테나이트 입자의 입계를 나타내고 있다.
- [0141] 또한, 구 오스테나이트 입계의 식별은, 구체적으로는, 문헌(하타 켄고 등 저, 「강의 오스테나이트 조직의 재구성 방법의 고정밀도화에 관한 검토」, 신닛테츠 스미킨 기보, 제404호, p24-30, (2016년))에 기재된 방법에 따라서 실시한다.
- [0142] A-3. 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 $1/4$ 의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 $2.5\mu\text{m}$ 이하
- [0143] 상술한 바와 같이, 잔류 오스테나이트는 균열 진전의 저항이 되기 때문에, 구 오스테나이트 입계에 밀하게 존재하는 것은 바람직하다. 그러나, 너무 밀하게 존재한 경우, 잔류 오스테나이트끼리가 연결하여 조대화되기 쉬워진다. 조대화된 잔류 오스테나이트는 불안정하고, 인성에 악영향을 끼친다.
- [0144] 여기서, 도 2에, 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 $1/4$ 의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경과 -196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지(도면 중 「 vE_{-196} 」이라고 표기)의 관계를 나타낸다. 도 2에 도시하는 바와 같이, 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경이 $2.5\mu\text{m}$ 이하이면, 샤르피 충격 흡수 에너지(3개의 시험편의 평균값)가 150J 이상이 되고, 모재 인성이 높아진다.
- [0145] 그 때문에, 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 $1/4$ 의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경(평균 원 상당 직경)은, $2.5\mu\text{m}$ 이하로 한다.
- [0146] 모재 인성의 저하를 억제하는 관점에서, 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경은, 바람직하게는 $2.2\mu\text{m}$ 이하로

하고, 보다 바람직하게는 $2.0\mu\text{m}$ 이하 또는 $1.8\mu\text{m}$ 이하로 한다.

- [0147] 인성 향상을 위해서는 잔류 오스테나이트는 미세한 쪽이 바람직하지만, 실제의 원 상당 직경으로부터, 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경의 하한을 $0.1\mu\text{m}$ 로 해도 된다. 필요에 따라, 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경의 하한을 $0.2\mu\text{m}$, $0.4\mu\text{m}$ 또는 $0.5\mu\text{m}$ 로 해도 된다.
- [0148] 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경은, 다음의 방법에 의해 측정한다. 또한, 원 상당 직경이란, 측정 대상물(잔류 오스테나이트)을 원으로 간주하고, 대상물의 면적으로부터 산출되는 원의 직경이다.
- [0149] 표면으로부터 판 두께 방향으로 1.5mm 위치의 강판에 있어서의 「압연 방향 및 두께 방향에 수직인 단면」에 대하여, EBSD 측정에 의해, 잔류 오스테나이트를 관찰하고, 각 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경을 구한다. 관찰 시야는, 한변이 $150\mu\text{m}$ 인 정사각형으로, 20 시야 이상으로 하였다. 그리고, 20 시야 이상 관찰한 각각의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경의 평균값을 구한다.
- [0150] 여기서, 저온용 탱크가, 선박 상에 있어서의 흔들림 또는 거대 지진에 대하여 충분한 내과피 특성을 갖기 때문에, 본 개시의 저온용 강철판은, 모재 강도(항복 강도가 590 내지 800MPa, 인장 강도가 690 내지 830MPa), 모재 인성(-196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지(3개의 시험편의 평균값)가 150J 이상)을 갖는 것이 바람직하다. 이상과 같은 화학 조성, 금속 조직을 갖는 본 개시의 저온용 Ni 강판은, -60°C 이하의 저온 영역, 특히 -165°C 부근의 저온 환경에서의 인성이 우수하고, 나아가 내염화물 응력 부식 균열 특성이 우수하고, LPG, LNG 등의 액화 가스를 저온 영역에서 저장하는 용도에도 적합하다.
- [0151] 본 개시의 저온용 Ni 강판의 항복 강도는, 600 내지 700MPa가 바람직하다.
- [0152] 본 개시의 저온용 Ni 강판의 인장 강도는, 710 내지 800MPa가 바람직하다.
- [0153] 본 개시의 저온용 Ni 강판의 「 -196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지」는, 150J 이상이 바람직하고, 보다 바람직하게는 200J 이상이다. 그 상한을 특별히 정할 필요는 없고, 400J 이하로 해도 된다. 단, 「 -196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지」는, 3개의 시험편에 의한 샤르피 충격 흡수 에너지의 평균값이다.
- [0154] 또한, 항복 강도(YS) 및 인장 강도(TS)는, 다음과 같이 측정한다. 강판 폭 방향 일단으로부터의 거리가 판 폭의 1/4인 강판의 위치로부터 JIS Z2241(2011) 부속서 D에 정하는 4호 시험편(판 두께 20mm 초과인 경우) 또는 5호 시험편(판 두께 20mm 이하인 경우)을 채취한다. 채취한 시험편을 사용하여, JIS Z2241(2011)에 준거하여, 항복 강도(YS) 및 인장 강도(TS)를 측정한다. 항복 강도(YS) 및 인장 강도(TS)는, 상온(25°C)에서 시험편 2개를 측정된 평균값으로 한다.
- [0155] -196°C 에서의 샤르피 충격 흡수 에너지는, 다음과 같이 측정한다. 강판 폭 방향 일단으로부터의 거리가 판 폭의 1/4인 강판의 위치로부터 JIS Z2224(2005)의 V 노치 시험편을 3개 채취한다. 채취한 3개의 시험편을 사용하여, JIS Z2224(2005)에 준하여, -196°C 의 온도 조건에서, 샤르피 충격 시험을 실시한다. 그리고, 그 3개의 샤르피 충격 흡수 에너지의 평균값을, 시험 결과로 한다.
- [0156] 또한, 본 개시의 저온용 Ni 강판의 판 두께는, 4.5 내지 80mm 이하가 바람직하고, 6 내지 50mm가 보다 바람직하고, 12 내지 30mm가 더욱 바람직하다.
- [0157] 본 개시의 저온용 Ni 강판의 제조 방법의 일례에 대해서 이하에 설명한다. 강편에는, 주조 후, 균질화 열처리를 실시한다. 그 후, 강편을 재가열하여 열간 압연을 실시한 뒤, 소정의 온도에서 열처리하여 제조할 수 있다(하기, 공정 1 내지 5 참조). 이하, 상세하게 설명한다. 또한, 열간 압연에 제공하는 강편에 대해서는, 본 개시의 성분 범위라면, 각별히 그 주조 조건을 규정하는 것은 아니고, 조괴-분괴 슬래브를 강괴로서 사용해도 되고, 연속 주조 슬래브를 사용해도 된다. 제조 효율, 수율 및 에너지 절약의 관점에서는, 연속 주조 슬래브를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0158] 균질화 열처리 공정(공정 1)
- [0159] 강편을 분괴 압연 전에 균질화를 위해 가열한다. 1200 내지 1350°C 에서 10시간 이상 가열하는 것이 바람직하다. 강편 중의 불순물 원소가 적고, 모재 인성을 충분히 확보할 수 있는 경우에는 생략해도 된다.
- [0160] 열간 압연 전 가열 처리 공정(공정 2)
- [0161] 강편을 1000 내지 1250°C 로 가열한다. 이에 의해 조직 조대화를 억제하면서 압연률 부하를 저감시킬 수 있다.
- [0162] 열간 압연 공정(공정 3)

- [0163] 열간 압연에서는, 강편을 조압연한 후, 마무리 압연한다. 조압연은, 생략할 수도 있다. 열간 압연의 총 압하율은 50% 이상이 바람직하다.
- [0164] 열간 압연은, 600 내지 850℃의 마무리 압연 온도에서 종료하는 것이 바람직하다. 이에 의해 변형 저항을 억제하면서, 변형대를 적극적으로 조직 중에 도입하고, 조직을 미세화시킬 수 있다. 또한, 마무리 압연 온도란, 마무리 압연 직후의 강판 표면 온도를 가리킨다.
- [0165] 특히, 마무리 압연의 최종 3 패스에 있어서 변형을 도입함으로써, 그 후의 열처리 공정에 있어서 미세한 잔류 오스테나이트를 다량으로 석출할 수 있다.
- [0166] 마무리 압연 최종 3 패스에서의 면압(압연 시의 반력)이 중요해지고, 마무리 압연 최종 3 패스에 있어서의 각 패스의 면압으로부터 산출되는 S(이하 「최종 면압 S」라고도 칭함)가 0.045tonf/mm 이상일 때, 잔류 오스테나이트를 밀하게 생성시킬 수 있다.
- [0167] 여기서, 도 3에, 최종 면압 S와 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리의 관계를 나타낸다. 도 3에 도시한 바와 같이, 최종 면압 S가 0.045tonf/mm 이상이면, 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리가 12.5 μ m 이하가 된다. 그 결과, 내염화물 응력 부식 균열 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0168] 따라서, 최종 면압 S는, 0.045tonf/mm 이상으로 한다. 한편, 최종 면압 S가 0.300tonf/mm을 초과하는 경우, 압연기의 부하 하중이 너무 높아진다. 따라서, 최종 면압 S는 0.300tonf/mm 이하가 바람직하다.
- [0169] 여기서, 최종 면압 S는, 식: $S=S3+(1.2 \times S2)+(1.5 \times S1)$ 로부터 구해진다.
- [0170] 식 중, S3은 최종 패스로부터 세어 셋 앞의 패스의 면압, S2는 최종 패스로부터 둘 앞의 패스의 면압, S1은 최종 패스의 면압을 나타낸다. 패스의 면압은, 압연 시의 하중을 강판 폭으로 나눈 값(단위는 tonf/mm)이다.
- [0171] 퀴칭 처리 공정(공정 4)
- [0172] 마무리 압연 후에는, 강판을 냉각하여 퀴칭 처리를 행한다. 바람직하게는, 열간 압연 후에 3℃/s 이상의 냉각 속도로 200℃ 이하까지 냉각하는 공정, 또는 열간 압연 후에 일단 150℃ 이하까지 냉각했다가 720℃ 이상으로 재가열하고 나서, 3℃/sec 이상의 냉각 속도로 200℃ 이하까지 냉각한다. 이에 의해, 퀴칭 조직을 얻으면서, 조대 탄화물의 생성을 억제한다. 거기에 추가로, 미세한 조직이 되고, 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트를 3.0체적% 이상 20.0체적% 이하로 할 수 있다. 그 결과, 모재 인성이 향상된다.
- [0173] 냉각 속도는, 바람직하게는 5℃/sec 이상이다. 또한, 냉각은, 강판의 표면 및 이면에 물을 분사하여 실시하는 것이 바람직하다.
- [0174] 템퍼링 처리 공정(공정 5)
- [0175] 퀴칭 처리 후는, 강판의 템퍼링 처리를 행한다. 템퍼링 처리에서는, 바람직하게는 강판을 640℃ 이하로 가열한 후, 1℃/sec 이상의 냉각 속도로 200℃ 이하까지 냉각한다. 이에 의해 모재 인성이 향상된다.
- [0176] 그리고, 템퍼링 시의 승온 속도를 크게 함으로써 미세한 잔류 오스테나이트를 다량으로 생성할 수 있다.
- [0177] 여기서, 도 4에, 템퍼링 시의 승온 속도와 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경 사이의 관계를 나타낸다. 도 4에 도시한 바와 같이, 템퍼링 시의 승온 속도를 0.15℃/s 이상으로 하면, 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경은 2.5 μ m 이하가 된다. 그 결과, 내염화물 응력 부식 균열 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0178] 따라서, 템퍼링 시의 승온 속도는, 0.15℃/s 이상으로 한다. 한편, 템퍼링 시의 승온 속도가 2℃/s를 초과하는 경우, 잔류 오스테나이트가 증가되고, 요구되는 인장 강도 하한인 690MPa를 확보할 수 없게 된다. 따라서, 템퍼링 시의 승온 속도는 2℃/s 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0179] 템퍼링 공정에 있어서, 승온 속도를 빠르게 하기 위해서는, 예를 들어 열처리 로의 가열대에서의 설정 온도를 높이는 열처리, 또는 유도 가열 장치를 사용한 열처리를 채용할 수 있다. 이러한 방법으로 승온 속도를 빠르게 할 수 있지만, 소정의 온도를 초과해서는 안된다. 이 때문에, 단순히 이러한 방법을 적용하는 것만으로는 좋지 않고, 승온 과정에서 강판의 온도를 엄밀하게 제어할 필요가 있다.
- [0180] 또한, 전술한 공정 4와 공정 5 사이에, 중간 열처리 공정을 실시해도 된다. 중간 열처리 공정에서는, 예를 들

어 550 내지 720℃로, 강판을 가열하고, 3℃/s 이상의 냉각 속도로 200℃ 이하까지 냉각한다. 이에 의해 모재 인성이 향상된다. 단, 공정 5에서 충분한 템퍼링을 할 수 있는 경우에는 연화되어 충분한 모재 인성이 확보되었기 때문에, 중간 열처리 공정은 생략해도 된다.

[0181] 실시예

[0182] 이하, 실시예에 의해, 본 개시를 더욱 상세하게 설명한다.

[0183] 표 1에 화학 조성을 나타내는 43종류의 강판을 용해하고, 표 2에 기재된 제조 조건에서, 균질화 열처리(표 중 「균질화」라고 표기), 열간 압연 전 가열 처리(표 중 「압연 전 가열」이라고 표기), 열간 압연(표 중 「열연」이라고 표기), 켄칭 처리(표 중 「켄칭」이라고 표기), 중간 열처리(표 중 「중간 가열」이라고 표기), 템퍼링 처리(표 중 「템퍼링」이라고 표기)를 행하여, 표 2에 나타내는 판 두께 6 내지 80mm의 강판을 제작하였다.

[0184] 여기서, 균질화 열처리를 실시하는 경우, 균질화 처리 시간은, 10 내지 49시간으로 하였다.

[0185] 열간 압연은, 총 압하율 65 내지 95%로 실시하였다. 또한, 열간 압연 전의 슬래브 두께는 240mm이고, 총 압하율은 슬래브 두께와 표 2에 나타내는 판 두께로부터 산출된다.

[0186] 표 2 중, 「-」라는 표기는, 처리를 실시하지 않음을 의미하고 있다.

[0187] 얻어진 강판에 대해서, 이미 설명한 방법에 따라, 1) 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 잔류 오스테나이트의 체적 분율(표 중 「잔류 γ 체적 분율」이라고 표기), 2) 표면으로부터 두께 방향으로 1.5mm 위치의 구 오스테나이트 입계 상에 있어서의 인접하는 잔류 오스테나이트 간의 최대 거리(표 중 「잔류 γ 간 최대 거리」라고 표기), 3) 표면으로부터 두께 방향으로 두께의 1/4의 위치에 있어서의 잔류 오스테나이트의 원 상당 직경(표 중 「잔류 γ 원 상당 직경」이라고 표기)을 측정하였다.

[0188] 또한, 얻어진 강판의 기계적 특성을 표 3에 나타내었다. 평가에 있어서, 항복 강도(YS)는 590MPa 미만 또는 800MPa를 초과하는 경우, 인장 강도(TS)는 690MPa 미만 또는 830MPa를 초과하는 경우, -196℃에서의 샤르피 충격 흡수 에너지(vE-196)는 3개 측정하고, 평균값이 150J 미만인 경우를 불합격으로 하였다.

[0189] 또한, 각 강판의 기계적 특성은, 이미 설명한 방법에 따라서 측정하였다.

[0190] 얻어진 강판의 최표면으로부터, 폭 10mm, 길이 75mm, 두께 1.5mm의 응력 부식 균열 시험편을 채취하였다. 시험편을 연마지 600번까지 연마하고, 도 5에 도시하는 바와 같은, 4개의 세라믹 막대에 의한 4점 굽힘 시험 지그에 세팅하고 590MPa의 응력을 부가하였다.

[0191] 또한, 시험편은 강판의 표면측의 면이다. 다음으로 시험면에 단위 면적당 부착 염분량이 5g/m²가 되도록 염화나트륨 수용액을 도포하고, 온도 60℃, 상대 습도 80% RH의 환경에서 부식시켰다. 시험 기간은 1000시간이다. 또한, 이 방법은, 탱크 내에 염이 부착되어 강판 표면에 박막물이 형성되는 환경을 모의한 염화물 응력 부식 균열 시험이다. 시험편 표면에 수용액을 도포하고, 시험 기간 고온 고습 로에서 보유 지지하였다. 시험 후의 시험편으로부터 부식 생성물을 물리적 방법 및 화학적 방법에 의해 제거하고, 부식부 단면을 현미경 관찰함으로써 균열 유무의 평가를 행하였다.

[0192] 또한, 나이탈 에칭한 500배의 광학 현미경 사진(270 μ m \times 350 μ m)을 20 시야 관찰하고, 부식에 의한 요철을 고려하여, 표면보다 50 μ m 이상 깊이 방향으로 진전된 것을 균열 「있음」으로 보아 불합격(표 3 중 「NG」라고 표기)으로 하고, 표면보다 50 μ m 미만 깊이 방향으로 진전된 것을 균열 「없음」으로 보아 합격(표 3 중 「OK」라고 표기)으로 하였다.

[0193] 여기서, 도 5 중, 10은 시험 지그, 12는 세라믹 막대, 14는 부착 염분, 16은 시험편을 나타낸다.

표 1

화학 조성(질량%, 잔류=Fe+불순물)														
C	Si	Mn	P	S	Mo	Al	N	Co	Sr	Sn	Cr	Mg	W	V
본계시에	0.058	0.44	0.72	0.009	0.001	6.65	0.030	0.0016						
2 본계시에	0.080	0.36	0.57	0.001	0.003	6.94	0.017	0.0025						
3 본계시에	0.059	0.07	1.16	0.006	0.003	8.28	0.036	0.0024			0.25	0.14		
4 본계시에	0.054	0.02	0.84	0.004	0.004	7.00	0.047	0.0057						
5 본계시에	0.041	0.23	0.63	0.003	0.004	6.63	0.013	0.0030			0.39	0.16		
6 본계시에	0.061	0.40	0.87	0.007	0.003	6.97	0.042	0.0021	0.07					
7 본계시에	0.072	0.23	0.88	0.006	0.002	7.69	0.034	0.0030						
8 본계시에	0.072	0.12	0.78	0.007	0.005	7.53	0.053	0.0048				0.15		
9 본계시에	0.057	0.42	0.87	0.009	0.004	7.47	0.020	0.0015				0.17		
10 본계시에	0.075	0.45	0.55	0.004	0.001	5.88	0.063	0.0016	0.04				0.17	
11 본계시에	0.071	0.13	0.69	0.001	0.005	7.80	0.011	0.0045					0.26	
12 본계시에	0.047	0.40	0.50	0.004	0.005	7.80	0.027	0.0017						0.036
13 본계시에	0.012	0.25	0.54	0.006	0.001	6.68	0.060	0.0070	0.02					
14 본계시에	0.009	0.07	0.58	0.005	0.002	5.79	0.060	0.0019				0.16		
15 본계시에	0.042	0.24	0.25	0.008	0.003	7.66	0.012	0.0015						0.017
16 본계시에	0.056	0.23	0.62	0.001	0.004	5.15	0.067	0.0071						0.0030
17 본계시에	0.058	0.40	0.65	0.008	0.001	8.56	0.007	0.0025			0.17			
18 본계시에	0.060	0.17	0.69	0.006	0.002	5.59	0.030	0.0012						
19 본계시에	0.150	0.15	0.99	0.005	0.005	8.51	0.040	0.0024	0.02					
20 본계시에	0.043	0.80	0.50	0.003	0.005	8.78	0.049	0.0067		0.02				
21 본계시에	0.051	0.31	2.00	0.004	0.001	7.52	0.057	0.0015				0.16		0.026
22 본계시에	0.043	0.22	0.75	0.010	0.003	6.14	0.064	0.0035					0.40	0.018
23 본계시에	0.075	0.24	1.03	0.007	0.010	8.40	0.017	0.0040			0.19			
24 본계시에	0.013	0.24	0.70	0.001	0.005	9.50	0.054	0.0055						
25 본계시에	0.064	0.30	1.13	0.005	0.004	8.59	0.100	0.0071						
26 본계시에	0.046	0.38	0.63	0.005	0.005	6.63	0.044	0.0100						
27 본계시에	0.008	0.28	0.71	0.002	0.003	7.39	0.018	0.0060						
28 본계시에	0.071	0.006	0.73	0.007	0.001	6.89	0.011	0.0036					0.041	
29 본계시에	0.055	0.36	0.19	0.007	0.003	8.63	0.034	0.0071						
30 본계시에	0.058	0.18	0.58	0.005	0.002	4.29	0.058	0.0015			0.32			
31 본계시에	0.076	0.10	1.02	0.003	0.004	8.56	0.004	0.0078						
32 본계시에	0.076	0.42	0.98	0.007	0.001	7.11	0.035	0.0039			0.21			0.046
33 본계시에	0.061	0.28	1.13	0.005	0.005	7.55	0.031	0.0071						
34 본계시에	0.051	0.40	0.90	0.001	0.005	8.68	0.060	0.0035						
35 본계시에	0.056	0.37	0.85	0.005	0.003	7.07	0.053	0.0059						
36 본계시에	0.165	0.43	1.03	0.007	0.003	6.78	0.015	0.0055				0.47		
37 본계시에	0.048	0.66	1.05	0.003	0.003	5.56	0.013	0.0064					0.10	
38 본계시에	0.013	0.25	2.28	0.007	0.004	7.67	0.048	0.0015	0.01			0.29		
39 본계시에	0.045	0.29	0.70	0.005	0.005	5.99	0.017	0.0016				0.06		0.0055
40 본계시에	0.061	0.45	0.92	0.008	0.011	6.70	0.036	0.0018						
41 본계시에	0.078	0.35	0.68	0.002	0.005	10.55	0.021	0.0076		0.01				
42 본계시에	0.042	0.14	0.93	0.004	0.005	6.38	0.120	0.0065						
43 본계시에	0.072	0.31	0.94	0.001	0.005	6.07	0.046	0.0114						

표 2

구분	구분		열원 전 기열	열원		팬정		중기 기열		필터링		면 두께			
	기열 온도 (°C)	시간 (hr)		기열 온도 (°C)	마부리 입연 최종 면 S (mm ²)	온도 (°C)	마부리 입연 온도 (°C)	온도 (°C)	냉각 후 온도 (°C)	냉각 후 온도 (°C)	온도 (°C)		냉각 후 온도 (°C)	온도 (°C)	필터링 후 온도 (°C)
1	본 기시에	1263	10	1084	0.122	734	150°C 이하로 냉각	638	8.2	648	8.8	0.36	578	8.9	25
2	본 기시에	1211	15	1058	0.071	647	150°C 이하로 냉각	682	8.1	682	8.1	0.36	580	7.7	25
3	본 기시에	1319	10	1178	0.112	730	150°C 이하로 냉각	677	4.7	664	4.5	0.40	611	4.7	4
4	본 기시에	1228	23	1088	0.114	683	150°C 이하로 냉각	724	7.6	675	7.8	0.22	551	7.5	10
5	본 기시에	1321	17	1037	0.123	769	150°C 이하로 냉각	764	9.2	691	9.4	0.39	579	9.9	30
6	본 기시에	1341	12	1278	0.083	636	150°C 이하로 냉각	613	9.2	693	9.2	0.35	551	9.0	50
7	본 기시에	1337	23	1100	0.072	680	150°C 이하로 냉각	760	9.9	680	10.1	0.34	555	9.9	80
8	본 기시에	1337	29	1058	0.081	681	150°C 이하로 냉각	647	5.9	647	5.9	0.25	559	6.0	80
9	본 기시에	1247	35	1154	0.136	712	150°C 이하로 냉각	710	10.0	699	10.0	0.39	608	9.5	25
10	본 기시에	1318	49	1170	0.128	772	150°C 이하로 냉각	687	5.2	687	5.2	0.39	582	4.4	25
11	본 기시에	—	—	1074	0.126	665	150°C 이하로 냉각	633	10.0	699	10.5	0.36	617	9.5	25
12	본 기시에	1263	15	1060	0.111	782	150°C 이하로 냉각	728	3.6	—	—	0.42	568	3.4	25
13	본 기시에	1243	34	1213	0.093	644	150°C 이하로 냉각	730	9.9	636	8.6	0.45	565	10.0	25
14	본 기시에	1281	14	1070	0.144	778	150°C 이하로 냉각	—	—	639	8.2	0.39	584	7.2	25
15	본 기시에	1380	12	1157	0.144	778	150°C 이하로 냉각	—	—	—	—	0.21	605	5.1	25
16	본 기시에	1302	10	1070	0.093	704	150°C 이하로 냉각	—	—	653	8.9	0.37	590	6.9	25
17	본 기시에	1382	22	1189	0.136	815	150°C 이하로 냉각	—	—	653	9.9	0.31	561	9.6	25
18	본 기시에	1326	17	1200	0.134	705	150°C 이하로 냉각	—	—	667	5.9	0.32	588	7.0	25
19	본 기시에	1310	26	1084	0.091	694	150°C 이하로 냉각	770	9.2	—	—	0.32	584	10.1	25
20	본 기시에	1220	29	1043	0.075	636	150°C 이하로 냉각	—	—	686	3.5	0.39	580	4.0	25
21	본 기시에	1203	44	1075	0.101	792	150°C 이하로 냉각	—	—	656	5.5	0.34	600	5.0	25
22	본 기시에	1321	31	1086	0.110	735	150°C 이하로 냉각	806	9.7	687	8.8	0.31	591	8.1	25
23	본 기시에	1283	14	1218	0.135	684	150°C 이하로 냉각	—	—	646	6.1	0.39	586	6.1	25
24	본 기시에	1286	12	1085	0.085	634	150°C 이하로 냉각	617	5.6	—	—	0.39	598	5.6	25
25	본 기시에	1305	12	1113	0.083	602	150°C 이하로 냉각	607	8.3	—	—	0.36	602	8.5	25
26	본 기시에	1334	10	1210	0.108	763	150°C 이하로 냉각	—	—	685	3.9	0.16	608	3.7	25
27	본 기시에	1272	14	1189	0.145	709	150°C 이하로 냉각	629	6.7	660	8.4	0.26	619	8.5	25
28	본 기시에	1318	25	1023	0.072	688	150°C 이하로 냉각	—	—	687	3.7	0.37	584	3.9	25
29	본 기시에	1311	25	1178	0.076	602	150°C 이하로 냉각	—	—	656	6.9	0.34	582	8.2	25
30	본 기시에	1236	29	1184	0.134	700	150°C 이하로 냉각	—	—	704	9.6	0.31	571	9.6	25
31	본 기시에	1305	26	1070	0.097	671	150°C 이하로 냉각	638	3.6	—	—	0.30	584	3.7	25
32	본 기시에	1248	17	1030	0.144	820	150°C 이하로 냉각	847	3.5	687	3.2	0.28	613	3.7	25
33	본 기시에	1268	19	1115	0.105	712	150°C 이하로 냉각	739	9.2	719	8.5	0.32	602	7.1	25
34	본 기시에	1280	20	1101	0.105	712	150°C 이하로 냉각	—	—	689	6.6	0.32	600	7.0	25
35	본 기시에	1315	16	1189	0.072	608	150°C 이하로 냉각	—	—	—	—	0.38	588	10.6	25
36	본 기시에	1210	26	1005	0.103	646	150°C 이하로 냉각	733	4.7	—	—	0.44	589	4.8	25
37	본 기시에	1289	11	1156	0.089	633	150°C 이하로 냉각	—	—	681	8.7	0.21	589	6.4	25
38	본 기시에	1246	21	1214	0.110	684	150°C 이하로 냉각	—	—	—	—	0.18	595	7.1	25
39	본 기시에	1284	12	1098	0.113	605	150°C 이하로 냉각	—	—	681	7.2	0.36	596	6.0	25
40	본 기시에	1315	39	1189	0.072	608	150°C 이하로 냉각	—	—	—	—	0.39	586	10.6	25
41	본 기시에	1246	10	1067	0.101	708	150°C 이하로 냉각	737	5.5	—	—	0.19	585	5.8	25
42	본 기시에	1336	16	1098	0.143	837	150°C 이하로 냉각	—	—	—	—	0.21	582	5.3	25
43	본 기시에	1201	19	1092	0.118	778	150°C 이하로 냉각	—	—	687	10.4	0.42	580	10.7	25

표 3

		잔류 γ 제각 분율 (vol %)	잔류 γ 간 최대 거리 (μm)	잔류 γ 원 상당 직경 (μm)	YS (MPa)	TS (MPa)	VE-198 (J)	염화물 용액 부식 균열 시험 결과
1	본 개시에	6.2	4.0	2.4	635	737	234	OK
2	본 개시에	5.3	2.1	0.8	649	764	242	OK
3	본 개시에	6.0	32.1	0.8	639	738	232	OK
4	본 개시에	5.8	3.8	1.6	635	739	235	OK
5	본 개시에	6.4	3.1	0.7	627	747	236	OK
6	본 개시에	6.2	9.1	0.6	637	735	242	OK
7	본 개시에	5.4	11.3	1.1	649	725	238	OK
8	본 개시에	5.3	11.3	0.7	646	702	240	OK
9	본 개시에	6.3	6.4	1.6	636	737	238	OK
10	본 개시에	5.6	9.3	2.1	643	727	239	OK
11	본 개시에	5.5	32.1	2.1	645	729	233	OK
12	본 개시에	6.1	2.8	1.5	635	742	234	OK
13	본 개시에	7.7	3.3	1.7	610	692	231	OK
14	본 개시에	5.2	6.3	1.0	640	731	239	OK
15	본 개시에	6.0	6.0	0.6	633	745	249	OK
16	본 개시에	6.0	9.4	0.9	630	738	232	OK
17	본 개시에	16.7	4.9	0.8	642	735	232	OK
18	본 개시에	5.2	12.4	2.4	646	724	237	OK
19	본 개시에	3.0	16.7	1.4	689	771	230	OK
20	본 개시에	6.8	4.0	2.0	632	748	229	OK
21	본 개시에	7.3	2.0	1.5	627	742	216	OK
22	본 개시에	6.5	8.1	2.5	626	746	235	OK
23	본 개시에	5.6	6.5	2.5	648	726	233	OK
24	본 개시에	5.3	4.8	1.2	653	728	246	OK
25	본 개시에	6.1	3.4	1.5	643	733	234	OK
26	본 개시에	6.5	10.2	1.7	629	744	233	OK
27	비교예	2.1	21.6	2.1	585	669	285	NG
28	비교예	5.2	3.0	0.5	644	684	235	OK
29	비교예	9.3	5.5	2.0	597	637	245	OK
30	비교예	1.1	30.5	1.6	631	738	24	NG
31	비교예	5.3	21.1	6.8	650	729	144	NG
32	비교예	3.6	5.8	1.1	644	726	109	OK
33	비교예	5.7	19.6	1.2	640	733	232	NG
34	비교예	2.8	6.5	2.2	641	746	125	NG
35	비교예	4.3	5.8	3.6	655	741	233	NG
36	비교예	3.1	10.2	0.8	614	660	45	NG
37	비교예	7.2	5.0	1.9	624	634	114	OK
38	비교예	6.7	11.3	2.3	639	712	98	NG
39	비교예	8.5	4.6	1.9	625	745	112	OK
40	비교예	6.4	11.4	1.8	634	738	121	NG
41	비교예	21.5	5.7	1.5	577	701	298	NG
42	비교예	6.5	6.1	2.1	625	747	141	OK
43	비교예	5.8	6.4	0.5	640	726	133	OK

[0196]

[0197]

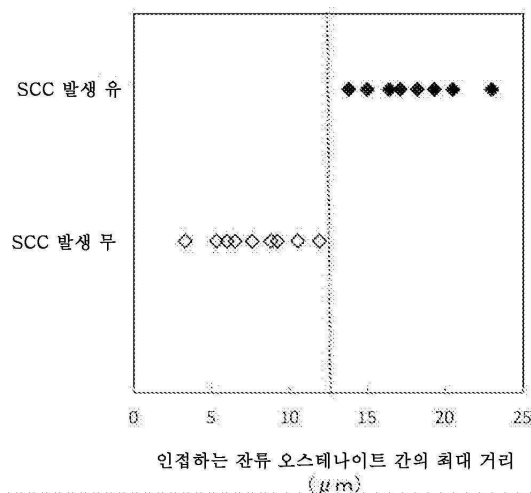
표 1 내지 3에서, 본 개시에에 관한 저온용 Ni 강판은, 모재 강도, 모재 인성, 내응력 부식 균열 특성이 우수하고, 저온 재료로서 우수한 것을 알 수 있다.

[0198]

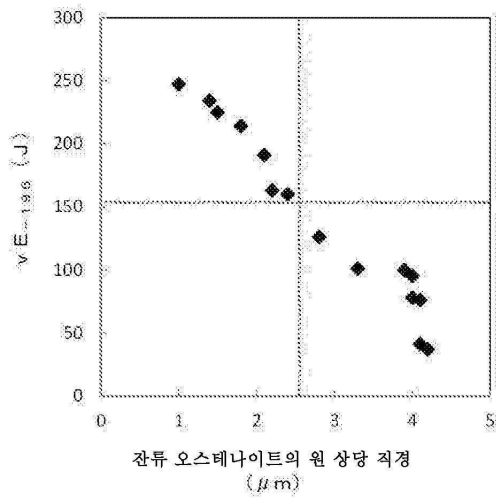
이에 비해, 본 개시에서 규정하는 조건을 충족하지 않는 비교예에서는, 모재 강도, 모재 인성, 내응력 부식 균열성에 있어서 목적으로 하는 특성이 얻어지지 않음을 알 수 있다.

도면

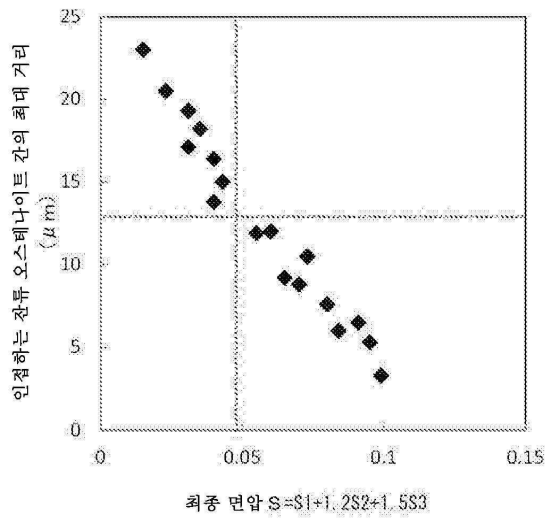
도면1



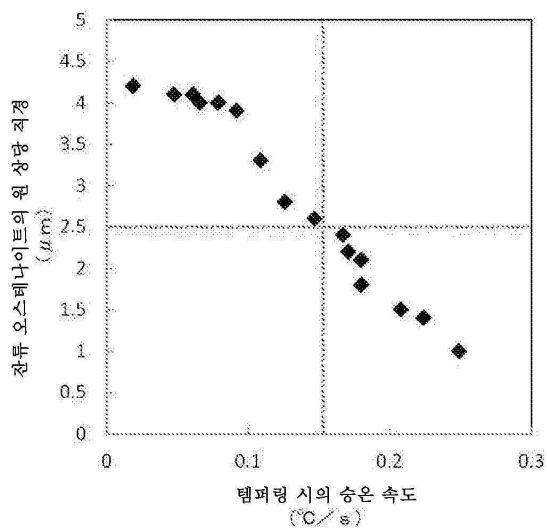
도면2



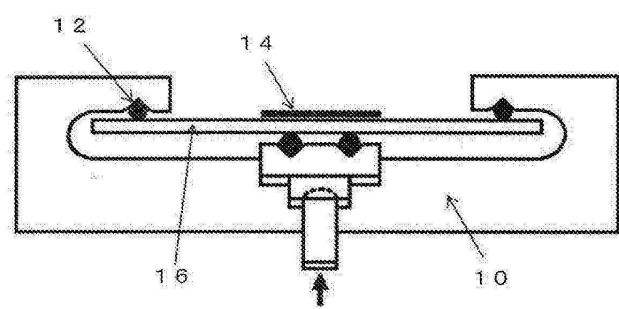
도면3



도면4



도면5



도면6

