



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0125277
(43) 공개일자 2011년11월18일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) Int. Cl.
C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2011-7025988(분할)</p> <p>(22) 출원일자(국제출원일자) 2008년12월04일
심사청구일자 2011년10월31일</p> <p>(62) 원출원 특허 10-2009-7012022
원출원일자(국제출원일자) 2008년12월04일
심사청구일자 2009년06월10일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2011년10월31일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2008/072461</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2009/072663
국제공개일자 2009년06월11일</p> <p>(30) 우선권주장
JP-P-2007-317317 2007년12월07일 일본(JP)
JP-P-2008-306336 2008년12월01일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이사
일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 2쵸메 6방 1코</p> <p>(72) 발명자
지이지와 리키오
일본 2130012 가나가와 가와사키-시 다카츠-구 사카도 3-2-1 신닛뽀세이테쯔테크노리서치가부시키카이사 나이
우에모리 류지
일본 1008071 도쿄 치요다구 2쵸메 오테마치 6-3 신닛뽀세이테쯔 카부시키카이사 나이
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
박장원</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 4 항

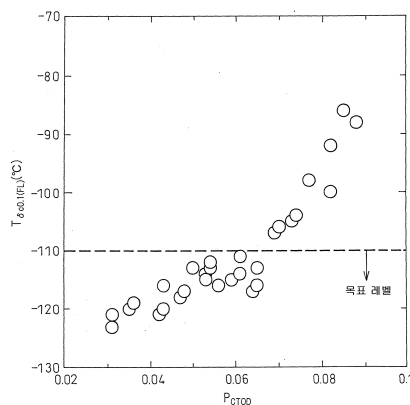
(54) 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 소입열 ~ 중입열의 다층 용접 등에 있어서, -60℃의 FL부의 CTOD 특성이 우수한 것에 부가하여, IC부의 CTOD 특성도 만족시키는, 지금까지는 없는 우수한 CTOD(파괴 인성) 특성을 가지는 고강도 강 및 그 제조 방법을 제공한다.

본 발명에 의한 강은, 질량%로, C: 0.015 ~ 0.039%, Si: 0.05 ~ 0.2%, Mn: 1.5 ~ 2.0%, Cu: 0.25 ~ 0.5%, Ni: 0.70 ~ 1.5%, P: 0.008% 이하, S: 0.005% 이하, Al: 0.004% 이하, Ti: 0.005 ~ 0.015%, Nb: 0.003% 이하, O: 0.0015 ~ 0.0035%, N: 0.002 ~ 0.006%를 함유하고, P_{CTOD}가 0.065 이하 및 CeqH가 0.235 이하이고, 잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

와타나베 요시유키

일본 1008071 도쿄 치요다구 2쵸메 오테마치 6-3
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이샤 나이

후쿠나가 가즈히로

일본 1008071 도쿄 치요다구 2쵸메 오테마치 6-3
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이샤 나이

고지마 아키히코

일본 1008071 도쿄 치요다구 2쵸메 오테마치 6-3
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이샤 나이

나카이 요시히데

일본 1008071 도쿄 치요다구 2쵸메 오테마치 6-3
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이샤 나이

특허청구의 범위

청구항 1

질량%로,

C: 0.015 ~ 0.039%,

Si: 0.05 ~ 0.2%,

Mn: 1.5 ~ 2.0%,

Cu: 0.25 ~ 0.5%,

Ni: 0.7 ~ 1.5%,

P: 0.008% 이하,

S: 0.005% 이하,

Al: 0.004% 이하(0% 제외),

Ti: 0.005 ~ 0.015%,

Nb: 0.003% 이하,

O: 0.0015 ~ 0.0035%,

N: 0.002 ~ 0.006%를 함유하고,

P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강.
여기서,

$$P_{CTOD} = C + Cu/22 + Ni/67$$

$$CeqH = C + Si/4.16 + Mn/14.9 + Cu/12.9 + Ni/105 + 1.12Nb$$

청구항 2

질량%로,

C: 0.015 ~ 0.039%,

Si: 0.05 ~ 0.2%,

Mn: 1.5 ~ 2.0%,

Cu: 0.25 ~ 0.5%,

Ni: 0.7 ~ 1.5%,

P: 0.008% 이하,

S: 0.005% 이하,

Al: 0.004% 이하(0% 제외),

Ti: 0.005 ~ 0.015%,

Nb: 0.003% 이하,

O: 0.0015 ~ 0.0035%,

N: 0.002 ~ 0.006%를 함유하고,

V: 0.005 ~ 0.02%를 추가로 함유하고, 또한,

P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강.

여기서,

$$P_{CTOD} = C + V/3 + Cu/22 + Ni/67$$

$$CeqH = C + Si/4.16 + Mn/14.9 + Cu/12.9 + Ni/105 + 1.12Nb + V/1.82$$

청구항 3

질량%로,

C: 0.015 ~ 0.039%,

Si: 0.05 ~ 0.2%,

Mn: 1.5 ~ 2.0%,

Cu: 0.25 ~ 0.5%,

Ni: 0.7 ~ 1.5%,

P: 0.008% 이하,

S: 0.005% 이하,

Al: 0.004% 이하(0% 제외),

Ti: 0.005 ~ 0.015%,

Nb: 0.003% 이하,

O: 0.0015 ~ 0.0035%,

N: 0.002 ~ 0.006%를 함유하고,

P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 강을 연속 주조법에 의해 슬라브로 하고, 그런 다음 950 ~ 1100℃의 온도로 재가열한 후, 가공 열처리하는 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강 제조법.

여기서,

$$P_{CTOD} = C + Cu/22 + Ni/67$$

$$CeqH = C + Si/4.16 + Mn/14.9 + Cu/12.9 + Ni/105 + 1.12Nb$$

청구항 4

질량%로,

C: 0.015 ~ 0.039%,

Si: 0.05 ~ 0.2%,

Mn: 1.5 ~ 2.0%,

Cu: 0.25 ~ 0.5%,

Ni: 0.7 ~ 1.5%,
 P: 0.008% 이하,
 S: 0.005% 이하,
 Al: 0.004% 이하(0% 제외),
 Ti: 0.005 ~ 0.015%,
 Nb: 0.003% 이하,
 O: 0.0015 ~ 0.0035%,
 N: 0.002 ~ 0.006%를 함유하고,
 V: 0.005 ~ 0.02%를 추가로 함유하고, 또한,
 P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 강을 연속 주조법에 의해 슬라브로 하고, 그런 다음 950 ~ 1100℃의 온도로 재가열한 후, 가공 열처리하는 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강 제조법.

여기서,

$$P_{CTOD} = C + V/3 + Cu/22 + Ni/67$$

$$CeqH = C + Si/4.16 + Mn/14.9 + Cu/12.9 + Ni/105 + 1.12Nb + V/1.82$$

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 소입열 용접에서부터 중입열 용접의 용접열 영향부(HAZ)의 CTOD 특성이 우수한 강과 그 제조 방법에 관한 것으로, 특히 소입열 용접에서부터 중입열 용접 시에 가장 인성이 열화하는 FL부와 IC부의 CTOD 특성이 극히 양호하고, 우수한 인성을 나타내는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강과 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근, 삼엄한 사용 환경에서 사용되는 강재가 요구되고 있는데, 예를 들면, 북극권 등의 한랭 지역 등에서 사용되는 해양 구조물과 내진성 건축물 등의 강 구조물에 적합한 고강도 강재로서, 파괴 인성의 지표인 CTOD(Crack Tip Opening Displacement) 특성이 우수한 강재가 요구되고 있고, 용접부는 우수한 CTOD 특성을 필요로 한다.

[0003] 용접열 영향부(HAZ)의 CTOD 특성은 FL부(WM(용접금속)과 HAZ(용접열 영향부)와의 경계) 및 IC부((Intercritical HAZ: HAZ와 BM(모재)과의 경계)의 2 군데 위치(노치)에서 평가되지만, 지금까지는 FL부만이 대상으로 되어 있다.

[0004] 이는 시험 온도가 그다지 엄하지 않은 조건에서는 FL부의 CTOD 특성을 만족한다면 IC부의 CTOD 특성은 충분한 값을 얻을 수 있기 때문에 문제가 되지 않았다.

[0005] 그러나 -60℃ 정도의 삼엄한 시험 조건에서는 IC부에서 낮은 CTOD 값이 발생하는 케이스가 상당한 빈도로 발생하는 것을 알게 되어서, 이에 대한 대책을 강구하고 있었다.

[0006] 예를 들면, 소입열 ~ 중입열 용접 이음매에서, -60℃의 삼엄한 시험 온도에서 양호한 CTOD 특성이 얻어지는 것을 나타내는 기술이 있지만(예를 들어 일본 공개 특허 공보 제2007-002271호) 그 문헌에서는 IC부의 CTOD 특성에 대해서는 기재되어 있지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 일본 공개 특허 공보 제2007-002271호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서 본 발명은 소입열 ~ 중입열의 다층 용접 등에 있어서, -60℃의 FL부의 CTOD 특성에 부가하여, IC부의 CTOD 특성도 만족시키는 지금까지는 없었던 우수한 CTOD(파괴 인성) 특성을 가지는 고강도 강 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명자들은 소입열 용접에서부터 중입열 용접 시에 가장 인성이 열화하는 용접부의 FL부와 IC부 양방의 CTOD 특성을 향상시키는 것에 대해 예의 연구하였다.

[0010] 그 결과, FL부와 IC부 양방의 CTOD 특성의 향상에는 비금속 개재물의 저감이 가장 중요하고, 이 때문에 O(강 중의 산소)의 저감이 필수적이지만, 산소의 저감에 의해 입내 변태 페라이트(IGF)가 감소하기 때문에, FL부의 CTOD 특성을 열화시키는 합금 원소의 저감을 필요로 하는 것, 그래서 IC부의 CTOD 특성의 향상은 강 중 산소의 저감만으로는 곤란하고 경도의 저감이 유효하다는 것을 알아내어 본 발명을 완성하였다.

[0011] 본 발명의 요지는 이하와 같다.

[0012] (1) 질량%,

[0013] C: 0.015 ~ 0.039%,

[0014] Si: 0.05 ~ 0.2%,

[0015] Mn: 1.50 ~ 2.0%,

[0016] Cu: 0.25 ~ 0.5%,

[0017] Ni: 0.70 ~ 1.5%,

[0018] P: 0.008% 이하,

[0019] S: 0.005% 이하,

[0020] Al: 0.004% 이하,

[0021] Ti: 0.005 ~ 0.015%,

[0022] Nb: 0.003% 이하,

[0023] O: 0.0015 ~ 0.0035%,

[0024] N: 0.002 ~ 0.006%

[0025] 를 함유하고, P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

[0026] 잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강.

[0027] 여기서,

[0028]
$$P_{CTOD} = C + \frac{1}{22} Cu + \frac{1}{67} Ni$$

[0029]
$$CeqH = C + \frac{1}{4.16} Si + \frac{1}{14.9} Mn + \frac{1}{12.9} Cu + \frac{1}{105} Ni + 1.12Nb$$

[0030] (2) 질량%,

- [0031] C: 0.015 ~ 0.039%,
- [0032] Si: 0.05 ~ 0.2%,
- [0033] Mn: 1.50 ~ 2.0%,
- [0034] Cu: 0.25 ~ 0.5%,
- [0035] Ni: 0.70 ~ 1.5%,
- [0036] P: 0.008% 이하,
- [0037] S: 0.005% 이하,
- [0038] Al: 0.004% 이하,
- [0039] Ti: 0.005 ~ 0.015%,
- [0040] Nb: 0.003% 이하,
- [0041] O: 0.0015 ~ 0.0035%,
- [0042] N: 0.002 ~ 0.006%,
- [0043] 를 함유하고,
- [0044] V: 0.005 ~ 0.020%,
- [0045] 를 추가로 함유하고, 또한,
- [0046] P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,
- [0047] 잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강.
- [0048] 여기서,

[0049]
$$P_{CTOD} = C + \frac{1}{3} V + \frac{1}{22} Cu + \frac{1}{67} Ni$$

[0050]
$$CeqH = C + \frac{1}{4.16} Si + \frac{1}{14.9} Mn + \frac{1}{12.9} Cu + \frac{1}{105} Ni + 1.12 Nb + \frac{1}{1.82} V$$

[0051] (3) 질량%로,

- [0052] C: 0.015 ~ 0.039%,
- [0053] Si: 0.05 ~ 0.2%,
- [0054] Mn: 1.50 ~ 2.0%,
- [0055] Cu: 0.25 ~ 0.5%,
- [0056] Ni: 0.70 ~ 1.5%,
- [0057] P: 0.008% 이하,
- [0058] S: 0.005% 이하,
- [0059] Al: 0.004% 이하,
- [0060] Ti: 0.005 ~ 0.015%,
- [0061] Nb: 0.003% 이하,
- [0062] O: 0.0015 ~ 0.0035%,
- [0063] N: 0.002 ~ 0.006%,
- [0064] 를 함유하고, P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

[0065] 잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 강을 연속 주조법에 의해 슬라브로 하고, 그런 다음 950 ~ 1100℃의 온도로 재가열한 후, 가공 열처리하는 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강 제조법.

[0066] 여기서,

$$P_{CTOD} = C + \frac{1}{22} Cu + \frac{1}{67} Ni$$

[0067]

$$CeqH = C + \frac{1}{4.16} Si + \frac{1}{14.9} Mn + \frac{1}{12.9} Cu + \frac{1}{105} Ni + 1.12Nb$$

[0068]

[0069] (4) 질량%로,

[0070] C: 0.015 ~ 0.039%,

[0071] Si: 0.05 ~ 0.2%,

[0072] Mn: 1.5 ~ 2.0%,

[0073] Cu: 0.25 ~ 0.5%,

[0074] Ni: 0.7 ~ 1.5%,

[0075] P: 0.008% 이하,

[0076] S: 0.005% 이하,

[0077] Al: 0.004% 이하,

[0078] Ti: 0.005 ~ 0.015%,

[0079] Nb: 0.003% 이하,

[0080] O: 0.0015 ~ 0.0035%,

[0081] N: 0.002 ~ 0.006%,

[0082] 를 함유하고,

[0083] V: 0.005 ~ 0.02%,

[0084] 를 추가로 함유하고, 또한,

[0085] P_{CTOD} 가 0.065 이하 및 $CeqH$ 가 0.235 이하이고,

[0086] 잔부가 철 및 불가피한 불순물로 이루어진 강을 연속 주조법에 의해 슬라브로 하고, 그런 다음 950 ~ 1100℃의 온도로 재가열한 후, 가공 열처리하는 것을 특징으로 하는 용접열 영향부의 CTOD 특성이 우수한 강 제조법.

[0087] 여기서,

$$P_{CTOD} = C + \frac{1}{3} V + \frac{1}{22} Cu + \frac{1}{67} Ni$$

[0088]

$$CeqH = C + \frac{1}{4.16} Si + \frac{1}{14.9} Mn + \frac{1}{12.9} Cu + \frac{1}{105} Ni + 1.12Nb + \frac{1}{1.82} V$$

[0089]

발명의 효과

[0090] 본 발명에 의해 제조된 강은 소입열 ~ 중입열의 다층 용접 등의 용접 시에 가장 인성이 열화하는 FL부 및 IC부의 CTOD 특성이 극히 양호하고, 우수한 인성을 나타낸다. 이에 의해, 해양 구조물, 내진성 건축물 등의 삼엄한 환경에서 사용될 수 있는 고강도 강재의 제조를 가능하게 한다.

도면의 간단한 설명

- [0091] 도 1은 P_{CTOD}와 FL 상당 재현열 사이클 시험에서의 CTOD 특성과의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0092] 도 2는 ICHAZ 상당 재현열 사이클 시험에서의 HAZ의 경도와 CTOD 특성의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0093] 도 3은 CeqH와 ICHAZ 상당 재현열 사이클 시험에서의 HAZ의 경도의 관계를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0092] 이하에서 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0093] 본 발명자들의 연구에 의하면, 소입열 ~ 중입열(판 두께 50 mm에서 1.5 ~ 6.0 kJ/mm) 용접 HAZ의 -60℃의 FL부와 IC부의 CTOD 특성을 만족시키기 위해서는,
- [0094] 1) FL부의 CTOD 특성을 만족시키고, IC부의 CTOD 특성을 향상시키기 위해 산화물계의 비금속 개재물의 저감이 가장 중요하고, 이 때문에 O(강 중의 산소)의 저감이 필수적이다.
- [0095] 결국 종래의 기술에서는 우수한 FL부의 CTOD 특성을 위해서는 Ti 산화물로 대표되는 산화물계의 비금속 개재물을 입내 변태 페라이트(IGF: Intragranular Ferrite)를 변태 핵으로 이용하기 때문에, 어느 정도의 산소의 첨가가 필요하였다. 본 발명자의 연구에서는, -60℃의 FL부와 IC부의 CTOD 특성을 향상시키기 위해서는 산화물계의 비금속 개재물의 저감이 필요한 것을 건출하였다.
- [0096] O의 저감에 의해 IGF가 감소하기 때문에, FL부의 CTOD 특성을 열화시키는 합금 원소의 저감이 필요하게 된다. 도 1에서, FL 상당 재현 HAZ의 CTOD 특성과 P_{CTOD}와의 관계를 나타낸다. 여기서, 강 성분 파라미터로서의 P_{CTOD}는 다수의 실험실 용해강에서의 FL 상당 재현 HAZ의 CTOD 특성(T_{δc 0.1(FL)})과 강 성분의 해석으로부터 도출한 경험식이다.

$$P_{CTOD} = C + V/3 + Cu/22 + Ni/67$$

- [0097] P_{CTOD} = C + V/3 + Cu/22 + Ni/67
- [0098] 도 1에 도시한 FL 상당 재현 HAZ에 있어서, T_{δc 0.1(FL)} ≤ -110℃라는 목표 레벨은 다수의 실험에서 얻어진 지견으로, 판 두께 50 ~ 100 mm의 강판의 실 이음매 FL 노치에 있어서 -60℃에서 안정적으로 0.25 mm 이상의 CTOD 값을 구하기 위한 필요값이다. 도 1로부터 FL 상당 재현 HAZ에 있어서, T_{δc 0.1(FL)} ≤ -110℃로 하기 위해서는, 강 성분 파라미터 P_{CTOD}를 0.065% 이하로 제어할 필요가 있다는 것을 알았다.
- [0099] 도 1의 T_{δc 0.1(FL)}는 FL 상당 재현열 사이클 처리(triple cycle)는, 첫 번째: 1400℃(800 ~ 500℃: 15초), 두 번째: 760℃(760 ~ 500℃: 22초), 세 번째: 500℃(500 ~ 300℃: 60초)를 실시한 단면 10 mm × 20 mm의 시험편을 BS5762법(영국 표준)의 CTOD 시험에 의해 얻어진 것이다. 여기서, T_{δc 0.1(FL)}는 각 시험 온도에서 3번 실시한 CTOD(δc) 값의 최저값이 0.1 mm를 초과하는 온도(℃)를 의미한다. 또한, CTOD 시험에 있어 판 두께 효과를 고려하면, 판 두께 50 ~ 100 mm의 강판의 실 이음매 FL 노치에서 -60℃에서 안정적으로 0.25 mm 이상의 CTOD 값을 얻기 위해서는 경험적으로 T_{δc 0.1(FL)}를 -110℃ 이하로 할 필요가 있다.
- [0100] 2) IC부의 CTOD 특성의 향상은 강 중 산소의 저감만으로는 곤란하고, 경도의 저감이 유효한 것을 건출하였다.
- [0101] 도 2에 후술하는 intercritical HAZ(ICHAZ) 상당의 재현열 사이클을 받은 시험편의 CTOD 특성과 ICHAZ 상당 HAZ의 경도의 관계를, 도 3에 강 성분 경도 파라미터 CeqH와 ICHAZ 상당 HAZ의 경도의 관계를 나타내었다.
- [0102] 여기서, 도 2에 나타난 ICHAZ 상당의 재현 HAZ(단면 10 mm × 20 mm)의 T_{δc 0.1(ICHAZ)}가 -110℃ 이하라는 목표 레벨은, 다수의 실험에서 얻어진 지견으로, 판 두께 50 ~ 100 mm 강판의 실 이음매의 IC 노치의 -60℃에서 0.25 mm 정도의 CTOD 값을 얻기 위한 필수값이다.
- [0103] 도 2 및 도 3으로부터 재현 HAZ의 T_{δc 0.1(ICHAZ)}를 -110℃ 이하로 하기 위해서는, 경도를 Hv 176 이하, 강 성분 경도 파라미터 CeqH를 0.235 이하로 제어할 필요가 있다는 것을 알았다. 보다 경도를 낮추기 위해서는 0.225 이하가 바람직하다.
- [0104] 또한, 시험 방법으로서, CTOD 시험 방법의 BS5762법(영국 표준)을 적용하여, ICHAZ 상당 재현열 사이클 조건(triple cycle)은, 첫 번째: PT950℃(800 ~ 500℃: 20초), 두 번째: 770℃(770 ~ 500℃: 22초), 세 번째: 450℃(450 ~ 300℃: 65초)이다.

- [0105] 여기서,
- $$CeqH=C+\frac{1}{4.16}Si+\frac{1}{14.9}Mn+\frac{1}{12.9}Cu+\frac{1}{105}Ni+1.12Nb+\frac{1}{1.82}V$$
- [0106]
- [0107] 로 정의된다.
- [0108] P_{CTOD}와 CeqH의 양을 제한하더라도, 그 외의 합금 원소를 적정화하지 않으면, 고강도와 우수한 CTOD 특성을 겸비한 강을 제조할 수 없다.
- [0109] 이하에서 강 성분의 한정 범위와 이유를 기술한다. 여기서 기재한 %는 질량%를 의미한다.
- [0110] C: 0.015 ~ 0.039%,
- [0111] C는 강도를 얻기 위해서는 0.015% 이상이 필요하지만, 0.039%를 초과하면 용접 HAZ의 특성을 열화시켜, -60℃의 CTOD 특성을 만족시키지 못하기 때문에 0.039%를 상한으로 한다.
- [0112] Si: 0.05 ~ 0.2%, 바람직하기로는 0.15% 이하
- [0113] Si은 양호한 HAZ 인성을 얻기 위해서는 적은 것이 바람직하지만, 발명강에서는 Al을 첨가하지 않았기 때문에, 탈산상 0.05% 이상은 필요하다. 그러나 0.2%를 초과하면 HAZ 인성을 저해하기 때문에 0.2%를 상한으로 한다. 보다 양호한 HAZ 인성을 얻기 위해서는 0.15% 이하가 바람직하다.
- [0114] Mn: 1.5 ~ 2.0%, 바람직하기로는 1.8% 이하
- [0115] Mn은 마이크로조직을 적정화하는 효과가 큰 저렴한 원소인 점과 HAZ 인성을 해하는 것이 적기 때문에 첨가량을 많이 하고 싶지만, 2.0%를 초과하면 ICHAZ의 경도를 증가시키고 인성이 열화하기 때문에 2.0%를 상한으로 하였다. 또한, 1.5% 미만에서는 효과가 작기 때문에 하한을 1.5%로 하였다. 보다 HAZ 인성을 개선하기 위해서는 1.8% 이하가 바람직하다.
- [0116] P: 0.008% 이하, 바람직하기로는 0.005% 이하
- [0117] S: 0.005% 이하, 바람직하기로는 0.003% 이하
- [0118] P, S은 불가피한 불순물로 함유되며, 모재 인성, HAZ 인성으로부터 모두 적은 것이 좋지만, 공업 생산적인 제약도 있어서 각각 0.008%, 0.005%를 상한으로 하였다. 보다 양호한 HAZ 인성을 얻기 위해서는 P: 0.005% 이하, S: 0.003% 이하가 바람직하다.
- [0119] Al: 0.004% 이하
- [0120] Al은 Ti 산화물을 생성시키기 위해서는 적은 것이 좋지만, 공업 생산적인 제약이 있어서 0.004%가 상한이다.
- [0121] Ti: 0.005 ~ 0.015%, 바람직하기로는 0.013% 이하
- [0122] Ti은 Ti 산화물을 생성시켜 마이크로조직을 미세화 시키지만, 너무 많으면 TiC를 생성하여 HAZ 인성을 열화시키므로 0.005 ~ 0.015%가 적정 범위이다. 보다 HAZ 인성을 개선하기 위해서는 0.013% 이하가 바람직하다.
- [0123] O: 0.0015 ~ 0.0035%, 바람직하기로는 0.0030% 이하
- [0124] O는 Ti의 FL부의 IGF의 생성핵으로서의 산화물 생성성때문에 0.0015% 이상이 필수적이지만, O가 너무 많으면 산화물의 크기 및 개수가 과대해져서 IC부의 CTOD 특성을 열화시키므로, 0.0015 ~ 0.0035%를 제한 범위로 하였다. 보다 양호한 HAZ 인성을 얻기 위해서는 0.0030% 이하가, 보다 좋기로는 0.0028% 이하가 바람직하다.
- [0125] N: 0.002 ~ 0.006%, 바람직하기로는 0.005% 이하
- [0126] N는 Ti 질화물 생성에 필요하지만, 0.002% 미만에서는 효과가 작고, 0.006%를 초과하면 강편 제조 시에 표면 흠이 발생하기 때문에 상한을 0.006%로 하였다. 보다 양호한 HAZ 인성을 얻기 위해서는 0.005% 이하가 바람직하다.
- [0127] V: 0.005 ~ 0.02%,
- [0128] 추가적으로, 기본이 되는 성분에 V을 첨가하는 목적은 모재 강도의 향상에 유효하기 때문이지만, 그 효과를 발휘하기 위해서는 0.005% 이상으로 하는 것이 필요하다. 한편, 0.02%를 초과하여 첨가하면 HAZ 인성을 저해하기

때문에 HAZ 인성을 크게 저해하지 않는 범위로서 V의 상한을 0.02% 이하로 하였다.

- [0129] Cu: 0.25 ~ 0.5%,
- [0130] Ni: 0.7 ~ 1.5%, 바람직하기로는 0.9% 이상
- [0131] Cu, Ni은 HAZ의 인성의 열화가 작고, 모재의 강도를 향상시키는 효과가 있어 유효하고, ICHAZ의 경도의 증가도 작아 유효하지만, 고가인 합금이므로 각각 Cu: 0.25 ~ 0.5%, Ni: 0.7 ~ 1.5%를 제한 범위로 하였다. Ni에 대해서는 HAZ 인성을 개선하기 위해 0.9 ~ 1.5%가 바람직하다.
- [0132] Nb: 0.003% 이하
- [0133] Nb은 모재의 강도와 인성의 관점에서 유익하지만, HAZ 인성에는 유해하다. 이 때문에 HAZ 인성을 현저하게 저하시키지 않는 범위인 0.003%까지 첨가할 수 있다. 다만, 보다 HAZ 인성을 개선하기 위해서는 0.001% 이하로 제한하는 것이 보다 바람직하다.
- [0134] 강의 성분을 상기와 같이 한정하여도 제조법이 적절하지 않으면 목적으로 한 효과는 발휘할 수가 없다. 이 때문에, 제조 조건에 대해서도 한정이 필요하다.
- [0135] 본 발명은 공업적으로는 연속주조법으로 제조하는 것이 필수이다.
- [0136] 그 이유는 용강의 응고 냉각 속도가 빠르고, 슬라브 중에 미세한 Ti 산화물과 Ti 질화물을 다량으로 생성하는 것이 가능하기 때문이다.
- [0137] 슬라브의 압연 시에 그 재가열 온도는 950 ~ 1100℃로 할 필요가 있다. 재가열 온도가 1100℃를 초과하면 Ti 질화물이 조대화되어 모재의 인성 열화와 HAZ 인성 개선 효과가 기대되지 않기 때문이다.
- [0138] 또한, 950℃ 미만의 재가열 온도에서는 압연의 부하가 크게 되고, 생산성을 저해하기 때문에 950℃가 하한의 재가열 온도이다.
- [0139] 그리고 나서, 재가열 후의 제조법은 가공 열처리가 필수이다. 가공 열처리는 압연 온도를 강 성분에 적합한 좁은 범위로 제어하고, 그런 다음 필요에 따라 수냉 등을 실시하는 처리이며, 그 처리에 의해 오스테나이트 입자의 미세화 및 마이크로조직의 미세화를 행하는 것이 가능하며, 이에 의해 강재의 강도 향상과 인성을 개선시키는 것이 가능한 제조 방법이다.
- [0140] 본 발명 강에서도 우수한 HAZ 인성이 얻어지면서도, 모재의 인성이 열화되면 강재로서는 불충분하기 때문에 가공 열처리법이 필수이다.
- [0141] 가공 열처리의 방법으로는 1) 제어 압연, 2) 제어 압연-가속 냉각, 3) 압연 후 직접 담금질-템퍼링을 들 수 있지만, 바람직한 방법은 제어 압연-가속 냉각법이다. 또한, 이 강을 제조한 후에 탈수소 등의 목적으로 Ar3 변태점 이하의 온도로 재가열하여도 본 발명의 특징을 손상하지는 않는다.
- [0142] <실시예>
- [0143] 이하, 실시예 및 비교예에 기초하여 본 발명을 설명한다.
- [0144] 전로-연속 주조-후관 공정에서 각종 강 성분의 후강관을 제조하여 모재 강도와 용접 이음매의 CTOD 시험을 실시하였다.
- [0145] 용접은 일반적으로 시험 용접으로 이용되고 있는 잠호 용접(SAW)이고, 용접 용융선(FL)이 수직으로 되도록 K홈에서 용접입열은 4.5 ~ 5.0 kJ/mm로 실시하였다.
- [0146] CTOD 시험은 t(판 두께)×2t의 크기로 노치는 50% 피로 균열에서 실시하고, 노치 위치는 FL(WM과 HAZ의 경계) 및 IC(HAZ와 BM의 경계)의 2 군데에서 -60℃에서 각각 5번 시험을 실시하였다.
- [0147] 표 1에 강의 화학 성분을 나타내었고, 표 2에 제조 조건 및 모재(BM), 용접 이음매의 특성을 나타내었다.
- [0148] 표 2 중의 열처리 방법의 기호는 이하의 열처리 방법을 나타낸다.
- [0149] CR: 제어 압연(강도·인성에 최적인 온도 영역에서의 압연)
- [0150] ACC: 가속 냉각(제어 압연에서 400℃ ~ 600℃의 온도 영역까지 수냉 후 방랭)
- [0151] DQ: 압연 직후 담금질-템퍼링 처리(압연 직후에 상온까지 수냉하고, 그런 후에 템퍼링 처리)

- [0152] 또한, 표 2 중의 용접 이음매의 CTOD 시험 결과에 있어서, $\delta_{C\text{ AV}}$ 는 각 5번의 평균값을, $\delta_{C\text{ min}}$ 는 각 5번 중에서의 최저값을 나타낸다.
- [0153] 본 발명에서 제조한 강판(본 발명강)은 항복강도(YS)가 423 N/mm² 이상, 인장강도가 501 N/mm² 이상이고, -60℃의 CTOD 값이 FL 노치의 δ_C 최소값(min)으로 0.37 mm 이상, IC 노치의 δ_C 최소값(min)으로 0.53 mm 이상의 양호한 파괴 인성을 나타내었다.
- [0154] 이에 비해, 비교강은 강도는 발명강과 동등하지만, CTOD 값이 열화하여 삼엄한 환경 하에서 사용되는 강판으로는 적절하지 않다.
- [0155] 비교강 15는 P_{CTOD} 값이 본 발명강의 제한 내에 있지만, Al과 Nb이 첨가되어 있기 때문에, FL 노치의 CTOD 값이 낮은 값으로 되었다.
- [0156] 비교강 16은 C, Mn이 너무 많고, Nb도 첨가되어 있기 때문에, P_{CTOD} 값과 CeqH 값이 본 발명강의 제한 범위 밖으로 되며, FL 노치와 IC 노치 모두 낮은 CTOD 값으로 되었다.
- [0157] 비교강 17은 O가 너무 적고, Nb도 첨가되어 있기 때문에, FL 노치의 CTOD 값이 낮은 값으로 되었다.
- [0158] 비교강 18은 P_{CTOD} 값은 발명강의 제한 내에 있지만, Al이 너무 많고, Nb도 첨가되어 있기 때문에, FL 노치의 CTOD 값이 낮은 값으로 되었다. 또한, CeqH가 너무 높기 때문에, IC 노치의 CTOD 값도 낮은 값으로 되었다.
- [0159] 비교강 19는 O가 너무 적기 때문에, FL 노치의 CTOD 값이 낮은 값으로 되었다.

표 1

구분	화학성분 (질량%, O, N : ppm)																
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Nb	V	Al	Ti	P	S	O	N	P _{CTOD}	CeqH		
강 1	0.015	0.12	1.68	0.45	1.50	0	0	0.003	0.010	0.003	0.002	27	44	0.058	0.206		
2	0.017	0.1	1.96	0.26	0.71	0	0	0.003	0.009	0.005	0.003	19	40	0.039	0.199		
3	0.020	0.1	1.65	0.42	1.47	0	0	0.003	0.009	0.004	0.002	19	40	0.061	0.201		
4	0.020	0.1	1.78	0.32	0.87	0	0	0.003	0.009	0.003	0.001	19	40	0.047	0.197		
5	0.022	0.12	1.63	0.40	1.45	0	0	0.003	0.011	0.004	0.002	22	45	0.062	0.205		
6	0.024	0.1	1.64	0.42	1.32	0	0	0.004	0.009	0.005	0.002	26	43	0.063	0.203		
7	0.026	0.11	1.64	0.39	1.28	0	0	0.004	0.010	0.004	0.003	30	36	0.063	0.205		
8	0.029	0.08	1.64	0.40	1.22	0	0	0.004	0.008	0.003	0.001	20	52	0.065	0.201		
9	0.030	0.09	1.63	0.38	1.18	0	0	0.003	0.011	0.005	0.001	24	44	0.065	0.202		
10	0.027	0.12	1.64	0.25	1.23	0	0.02	0.003	0.011	0.005	0.002	25	35	0.063	0.218		
11	0.032	0.13	1.61	0.33	1.18	0	0	0.003	0.009	0.003	0.001	31	28	0.065	0.208		
12	0.034	0.12	1.6	0.30	1.15	0	0	0.002	0.011	0.004	0.003	28	31	0.065	0.204		
13	0.037	0.11	1.63	0.20	1.06	0	0.01	0.002	0.009	0.005	0.002	32	42	0.065	0.209		
14	0.039	0.12	1.63	0.25	0.92	0	0	0.002	0.008	0.003	0.002	31	47	0.064	0.205		
비 15	0.038	0.13	1.97	0	0	0.027	0	0.025	0.008	0.004	0.003	25	28	0.065	0.232		
16	0.051	0.12	2.03	0	0	0.015	0.023	0.003	0.010	0.005	0.003	26	25	0.074	0.246		
17	0.042	0.14	1.65	0.20	0.45	0.026	0	0.003	0.013	0.003	0.002	12	30	0.084	0.235		
18	0.038	0.11	2.13	0.15	0.30	0.017	0	0.026	0.009	0.004	0.002	30	32	0.066	0.241		
19	0.028	0.13	1.64	0.45	1.63	0	0	0.003	0.010	0.005	0.001	10	28	0.073	0.220		

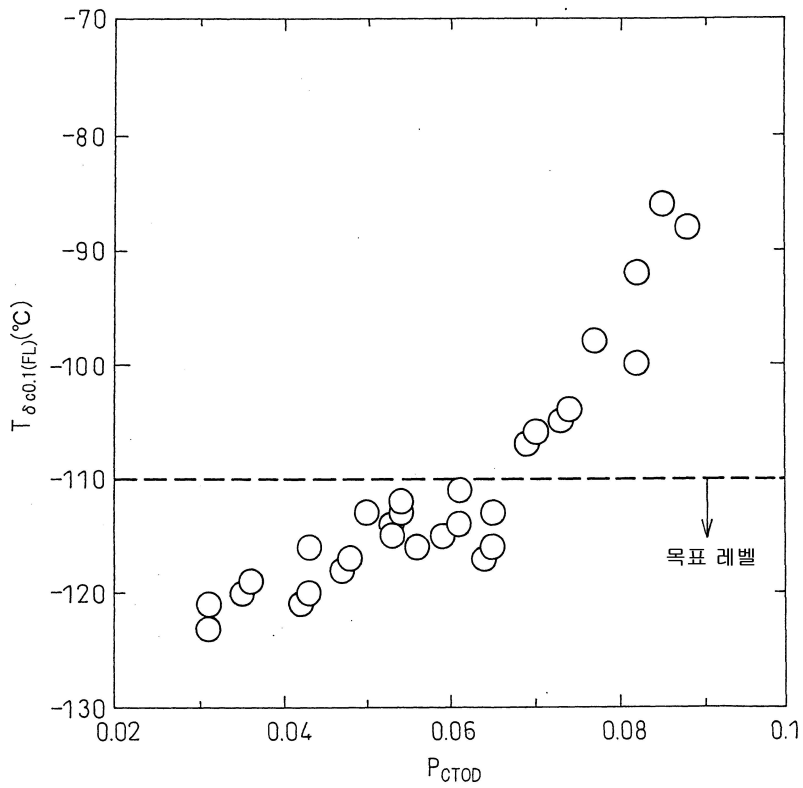
표 2

강구분	기열온도 (°C)	열처리법	t (mm)	모재 (BM)		용접 이음매의 CTOD 시험 결과			
				YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	FL 노치		IC 노치	
						δ_{cav} (mm)	δ_{cmin} (mm)	δ_{cav} (mm)	δ_{cmin} (mm)
1	1100	ACC	50	442	509	0.62	0.48	0.73	0.54
2	1050	ACC	45	447	513	0.76	0.58	0.91	0.76
3	1050	CR	45	460	533	0.80	0.61	0.86	0.72
4	1100	ACC	50	442	511	0.68	0.54	0.77	0.53
5	1100	ACC	50	448	522	0.64	0.51	0.72	0.60
6	1100	DQ	55	432	502	0.81	0.65	0.90	0.77
7	1050	DQ	55	433	505	0.78	0.61	0.88	0.74
8	1050	ACC	50	438	508	0.77	0.63	0.95	0.84
9	1100	ACC	50	436	508	0.82	0.58	0.93	0.86
10	1050	DQ	60	426	502	0.74	0.55	0.82	0.61
11	1100	DQ	60	428	503	0.63	0.43	0.91	0.85
12	1100	ACC	55	429	505	0.65	0.45	0.93	0.88
13	1050	ACC	60	423	501	0.57	0.43	0.95	0.86
14	1050	DQ	55	425	505	0.55	0.40	0.97	0.83
15	1150	ACC	50	412	513	0.08	0.03	0.54	0.38
16	1100	ACC	60	441	546	0.06	0.02	0.07	0.02
17	1100	ACC	50	429	521	0.07	0.03	0.82	0.66
18	1150	ACC	60	443	542	0.14	0.05	0.13	0.03
19	1100	ACC	50	475	545	0.24	0.07	0.83	0.72

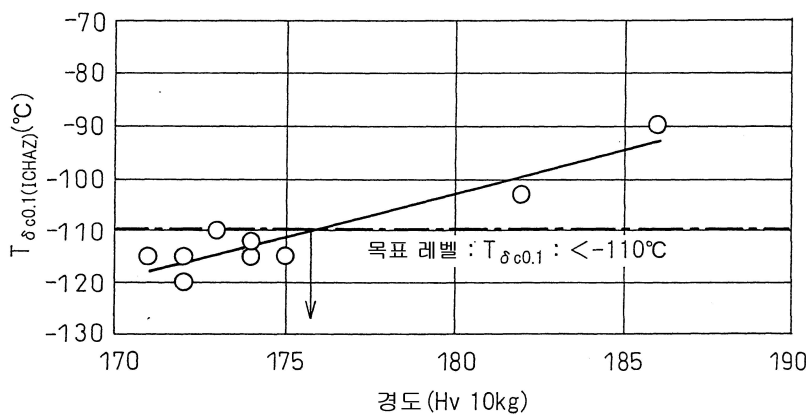
[0161]

도면

도면1



도면2



도면3

