



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0034770
(43) 공개일자 2020년03월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)

(52) CPC특허분류
C22C 38/58 (2013.01)
C21D 8/0226 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-7005295
(22) 출원일자(국제) 2018년09월07일
심사청구일자 2020년02월24일

(85) 번역문제출일자 2020년02월24일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2018/033286
(87) 국제공개번호 WO 2019/050010
국제공개일자 2019년03월14일

(30) 우선권주장
JP-P-2017-173275 2017년09월08일 일본(JP)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고

(72) 발명자
기즈야 시게키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이
산부 나이
이치미야 가즈유키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이
산부 나이

(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **강판 및 그 제조 방법**

(57) 요약

강판 내부뿐만 아니라 강판 표층에 대해서도, 인성이 우수한 고강도의 강판을 안정적으로 제조한다. 질량%로, C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하, Si : 0.40 % 이하, Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하, P : 0.015 % 이하, S : 0.0050 % 이하, Cr : 3.00 % 이하, Ni : 5.00 % 이하, Al : 0.080 % 이하, N : 0.0070 % 이하 및 B : 0.0030 % 이하를 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물의 성분 조성을 갖는 강판으로서, 탄소 당량 CeqIIW 가 0.57 % 이상이고, 표층의 베이나이트 면적 분율이 10 % 이상이며, 항복 강도가 620 MPa 이상이다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/0273 (2013.01)

C22C 38/42 (2013.01)

C22C 38/44 (2013.01)

C22C 38/46 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량% 로,

C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하,

Si : 0.40 % 이하,

Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하,

P : 0.015 % 이하,

S : 0.0050 % 이하,

Cr : 3.00 % 이하,

Ni : 5.00 % 이하,

Al : 0.080 % 이하,

N : 0.0070 % 이하 및

B : 0.0030 % 이하

를, 하기 식 (1) 을 만족하는 범위로 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물의 성분 조성을 갖는 강판으로서, 그 강판의 표층에 베이나이트 면적 분율이 10 % 이상인 조직을 갖고, 그 표층보다 내측의 강판 내부의 항복 강도가 620 MPa 이상인 강판.

$$[C] + [Mn]/6 + [Ni]/15 + [Cr]/15 \geq 0.57 \dots (1)$$

여기서,

[] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로

질량% 로,

Cu : 0.50 % 이하,

Mo : 1.50 % 이하,

Nb : 0.100 % 이하,

V : 0.200 % 이하 및

Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하

중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 상기 식 (1) 대신에 하기 식 (2) 를 만족하는 범위로 함유하는, 강판.

$$[C] + [Mn]/6 + ([Cu] + [Ni])/15 + ([Cr] + [Mo] + [V])/15 \geq 0.57 \dots (2)$$

여기서,

[] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로

질량% 로,

Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하,

Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하,

Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하,

Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하,

Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하 및

REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하

중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 강판.

청구항 4

질량% 로,

C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하,

Si : 0.40 % 이하,

Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하,

P : 0.015 % 이하,

S : 0.0050 % 이하,

Cr : 3.00 % 이하,

Ni : 5.00 % 이하,

Al : 0.080 % 이하,

N : 0.0070 % 이하 및

B : 0.0030 % 이하

를, 하기 식 (1) 을 만족하는 범위로 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물의 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시하여 열연 강판으로 하고,

그 열연 강판을 냉각시킨 후에, A_{c3} 변태점 이상 1050 °C 이하의 온도역으로 가열한 후,

(Ar_3 변태점+50) °C 이상 (Ar_3 변태점-20) °C 이하의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도가 0.2 ~ 10 °C/s 인 냉각 처리를 실시하여 350 °C 이하까지 냉각시키는 강판의 제조 방법.

$$[C] + [Mn]/6 + [Ni]/15 + [Cr]/15 \geq 0.57 \quad \dots (1)$$

여기서,

[] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로

질량% 로,

Cu : 0.50 % 이하,

Mo : 1.50 % 이하,

Nb : 0.100 % 이하,

V : 0.200 % 이하 및

Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하

중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 상기 식 (1) 대신에 하기 식 (2) 를 만족하는 범위로 함유하는, 강관의 제조 방법.

$$[C] + [Mn]/6 + ([Cu] + [Ni])/15 + ([Cr] + [Mo] + [V])/15 \geq 0.57 \dots (2)$$

여기서,

[] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.

청구항 6

제 4 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로

질량% 로,

Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하,

Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하,

Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하,

Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하,

Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하 및

REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하

중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 강관의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 건축, 교량, 조선, 해양 구조물, 건산기 (建産機), 탱크, 팬스톡 등의 강재 구조물 등에 사용되는 강관, 그 중에서도 판두께 100 mm 이상의 후강관 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 건축, 교량, 조선, 해양 구조물, 건산기, 탱크, 팬스톡 등의 구조물에 강재가 사용되는 경우에는, 당해 구조물의 형상에 대응하여, 강재를 용접에 의해 접합하여 원하는 형상으로 완성할 수 있다. 최근, 이러한 강재 구조물의 대형화가 현저하고, 사용되는 강재의 고강도화나 후육화도 진행되고 있다. 예를 들어, 비특허문헌 1 에는, 잭업 리그의 래크용으로 개발된, 판두께 210 mm 의 매우 두꺼운 강관에 대하여 보고되어 있다. 이 비특허문헌 1 에는, 후강관의 판두께 중심부의 인성을 확보하기 위한, 성분 조성이나 제조 조건이 기재되어 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0003] (비특허문헌 0001) 오오타니 코우자부로, 외 4 명, 「잭업 리그의 래크용 극후 (210 mm) 800 N/mm² 급 강관의 개발」, 신닛테츠 기술보, 1993년, 제348호, p.10-16

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 판두께가 100 mm 이상인 고강도 강관은, 열간 압연 후에 퀴칭 템퍼링을 실시함으로써, 고강도에 더하여 고인성을 부여하여 제조되는 것이 통례이다. 이와 같이 하여 후강관을 제조할 때, 열간 압연 후의 퀴칭 공정에 있어서의 냉각 속도는, 강관 표층보다 그 표층의 내측의 강관 내부에서 저하되기 때문에, 강관 내부에서는 페라이트 등 비교적 저강도의 조직이 형성되기 쉬워진다. 강관 내부에서 이와 같은 저강도의 조직이 생성되는 것을 억제하려면, 다량의 합금 원소의 첨가가 필요하다.
- [0005] 여기서, 강관의 표층이관, 강관의 표리면으로부터 각각 판두께 방향으로 1/4 t (t 는 판두께를 나타낸다) 의 위치를 경계로 하는, 표면측 및 이면측의 각 영역을 가리키며, 이 표층보다 내측 (1/4 t 를 포함한다) 을 강관의 내부로 한다.
- [0006] 특히, 후강관 내부의 강도와 인성을 만족시키기 위해서는, 퀴칭시에 베이나이트 또는 베이나이트와 마텐자이트의 혼합 조직을 강관 내부에 생성시키는 것이 중요하고, Mn, Ni, Cr, Mo 등의 합금 원소를 다량으로 첨가할 필요가 있다.
- [0007] 한편, 상기와 같은 합금 원소를 다량으로 첨가했을 경우, 퀴칭시의 냉각 속도가 강관 내부에 비해 빠른 강관 표층에서는, 인성이 열등한 마텐자이트 조직이 형성되기 때문에, 템퍼링한 후에도 강관 내부에 비해 강관 표층의 인성이 저하된다.
- [0008] 그러나, 상기한 냉각이 빠른 강관 표층에 있어서의 인성 저하에 대하여, 비특허문헌 1 에 언급되어 있지 않는 바와 같이, 지금까지 검토가 이루어지지 않았다.
- [0009] 본 발명은 상기 사정을 감안하여 이루어진 것으로서, 강관 내부는 물론, 강관 표층에 대해서도, 인성이 우수한 고강도의 강관을 안정적으로 제조하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명자들은, 상기 과제를 해결하기 위해, 항복 강도 620 MPa 이상 또한 판두께 100 mm 이상의 후강관을 대상으로, 강관 표층에 있어서의 인성 및 강관 내부에 있어서의 강도의 저하를 억제하기 위한 마이크로 조직 제어 인자에 대하여 예의 구명한 결과, 이하 I ~ III 의 지견을 얻었다.
- [0011] I. 퀴칭시에 강관 표층에 비해 현저하게 냉각 속도가 저하되는 강관 내부에 있어서 양호한 인성을 유지한 채 높은 강도를 얻기 위해서는, 냉각 속도가 낮은 퀴칭이더라도 마이크로 조직을 마텐자이트 및/또는 베이나이트 조직으로 하는 것이 중요하고, 그러기 위해서는, 성분 조성을 적절히 선정하고, 또한 탄소 당량을 0.57 % 이상으로 할 필요가 있다.
- [0012] II. 상기와 같이 선정된 성분 조성을 갖는 강관을 퀴칭할 때에, 퀴칭시의 냉각 속도가 빨라지는 강관 표층에 있어서는, 인성 확보에 불리한 마텐자이트 조직이 형성되고, 템퍼링 후에 있어서도 일단 형성된 블록이나 패킷으로 불리는 마텐자이트 조직의 조직 단위는 변화하지 않으므로, 안정적인 인성의 확보가 어려워진다.
- [0013] III. 인성에 불리한 템퍼드 마텐자이트 단상 조직의 형성을 억제하기 위해서는, 강관 표층 및 강관 내부가 (Ar₃ 변태점+50) °C 이상 (Ar₃ 변태점-20) °C 이하의 온도역에 있을 때의 평균 냉각 속도를 0.2 ~ 10 °C/s 의 범위로 제어함으로써, 강관 표층에 소정 비율 이상의 베이나이트를 형성시키는 것이 중요하다.
- [0014] 본 발명은, 상기 신규 지견에 입각하는 것으로, 그 요지 구성은 이하와 같다.
- [0015] 1. 질량% 로,
- [0016] C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하,
- [0017] Si : 0.40 % 이하,
- [0018] Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하,
- [0019] P : 0.015 % 이하,
- [0020] S : 0.0050 % 이하,
- [0021] Cr : 3.00 % 이하,

- [0022] Ni : 5.00 % 이하,
 [0023] Al : 0.080 % 이하,
 [0024] N : 0.0070 % 이하 및
 [0025] B : 0.0030 % 이하
 [0026] 를, 하기 식 (1) 을 만족하는 범위로 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물의 성분 조성을 갖는 강판으로서,
 [0027] 그 강판의 표층에 베이나이트 면적 분율이 10 % 이상인 조직을 갖고, 그 표층보다 내측의 강판 내부의 항복 강도가 620 MPa 이상인 강판.
 [0028] $[C] + [Mn]/6 + [Ni]/15 + [Cr]/15 \geq 0.57 \dots (1)$
 [0029] 여기서,
 [0030] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.
 [0031] 2. 상기 성분 조성은, 추가로
 [0032] 질량% 로,
 [0033] Cu : 0.50 % 이하,
 [0034] Mo : 1.50 % 이하,
 [0035] Nb : 0.100 % 이하,
 [0036] V : 0.200 % 이하 및
 [0037] Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하
 [0038] 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 상기 식 (1) 대신에 하기 식 (2) 를 만족하는 범위로 함유하는, 상기 1 에 기재된 강판.
 [0039] $[C] + [Mn]/6 + ([Cu] + [Ni])/15 + ([Cr] + [Mo] + [V])/15 \geq 0.57 \dots (2)$
 [0040] 여기서,
 [0041] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.
 [0042] 3. 상기 성분 조성은, 추가로
 [0043] 질량% 로,
 [0044] Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하,
 [0045] Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하,
 [0046] Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하,
 [0047] Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하,
 [0048] Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하 및
 [0049] REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하
 [0050] 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 상기 1 또는 2 에 기재된 강판.
 [0051] 4. 질량% 로,
 [0052] C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하,
 [0053] Si : 0.40 % 이하,
 [0054] Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하,
 [0055] P : 0.015 % 이하,

- [0056] S : 0.0050 % 이하,
- [0057] Cr : 3.00 % 이하,
- [0058] Ni : 5.00 % 이하,
- [0059] Al : 0.080 % 이하,
- [0060] N : 0.0070 % 이하 및
- [0061] B : 0.0030 % 이하
- [0062] 를, 하기 식 (1) 을 만족하는 범위로 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물의 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시하여 열연 강판으로 하고,
- [0063] 그 열연 강판을 냉각시킨 후에, A_{c3} 변태점 이상 1050 °C 이하의 온도역으로 가열한 후,
- [0064] (A_{r3} 변태점+50) °C 이상 (A_{r3} 변태점-20) °C 이하의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도가 0.2 ~ 10 °C/s 인 냉각 처리를 실시하여 350 °C 이하까지 냉각시키는 강판의 제조 방법.
- [0065] $[C] + [Mn]/6 + [Ni]/15 + [Cr]/15 \geq 0.57 \dots (1)$
- [0066] 여기서,
- [0067] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.
- [0068] 5. 상기 성분 조성은, 추가로
- [0069] 질량% 로,
- [0070] Cu : 0.50 % 이하,
- [0071] Mo : 1.50 % 이하,
- [0072] Nb : 0.100 % 이하,
- [0073] V : 0.200 % 이하 및
- [0074] Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하
- [0075] 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 상기 식 (1) 대신에 하기 식 (2) 를 만족하는 범위로 함유하는, 상기 4 에 기재된 강판의 제조 방법.
- [0076] $[C] + [Mn]/6 + ([Cu] + [Ni])/15 + ([Cr] + [Mo] + [V])/15 \geq 0.57 \dots (2)$
- [0077] 여기서,
- [0078] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 이다.
- [0079] 6. 상기 성분 조성은, 추가로
- [0080] 질량% 로,
- [0081] Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하,
- [0082] Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하,
- [0083] Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하,
- [0084] Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하,
- [0085] Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하 및
- [0086] REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하
- [0087] 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 상기 4 또는 5 에 기재된 강판의 제조 방법.

발명의 효과

[0088] 본 발명에 의하면, 강판 내부뿐만 아니라 강판 표층에 대해서도 인성이 우수한, 고강도의 강판을 안정적으로 제조할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0089] [성분 조성]

[0090] 이하, 본 발명의 일 실시형태에 관련된 강판의 제조 조건에 대하여 설명한다. 우선, 강의 성분 조성의 한정 이유에 대하여 서술한다. 또한, 본 명세서에 있어서, 각 성분 원소의 함유량을 나타내는 「%」는, 특별히 언급하지 않는 한 「질량%」를 의미한다.

[0091] C : 0.080 % 이상 0.200 % 이하

[0092] C 는, 구조용 강에 요구되는 강도를 얻가로 얻기 위해서 유용한 원소로서, 그 효과를 얻기 위해서 0.080 % 이상의 첨가가 필요하다. 한편, 0.200 % 를 초과하여 함유하면, 모재 및 용접부의 인성을 현저하게 열화시키기 때문에 상한을 0.200 % 로 한다. 바람직하게는 0.080 % 이상 0.140 % 이하로 한다.

[0093] Si : 0.40 % 이하

[0094] Si 는 탈산을 위해서, 바람직하게는 0.05 % 이상으로 첨가하지만, 0.40 % 를 초과하여 첨가하면 모재 및 용접 열 영향부의 인성이 현저하게 저하되기 때문에, Si 량은 0.40 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.05 % 이상 0.30 % 이하로 한다. 보다 바람직하게는 0.05 % 이상 0.25 % 이하로 한다.

[0095] Mn : 0.50 % 이상 5.00 % 이하

[0096] Mn 은 모재 강도를 확보하는 관점에서 첨가하는데, 0.50 % 미만의 첨가에서는 그 효과가 충분하지 않다. 한편, 5.00 % 를 초과하여 첨가하면, 모재의 인성이 열화될 뿐만 아니라, 중심 편석을 조장하기 때문에 상한을 5.00 % 로 한다. 바람직하게는 0.60 % 이상 2.00 % 이하로 한다. 보다 바람직하게는 0.60 % 이상 1.60 % 이하로 한다.

[0097] P : 0.015 % 이하

[0098] P 는, 0.015 % 를 초과하여 함유하면, 모재 및 용접열 영향부의 인성을 현저하게 저하시킨다. 그 때문에, 0.015 % 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.010 % 이하로 한다. 또한, 0.001 % 미만으로 하는 것은 공업적 규모의 제조에서는 어렵기 때문에, 0.001 % 이상의 함유는 허용된다.

[0099] S : 0.0050 % 이하

[0100] S 는, 0.0050 % 를 초과하여 함유하면 모재 및 용접열 영향부의 인성을 현저하게 저하시킨다. 그 때문에, S 는 0.0050 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0010 % 이하로 한다. 또한, 0.0001 % 미만으로 하는 것은 공업적 규모의 제조에서는 어렵기 때문에, 0.0001 % 이상의 함유는 허용된다.

[0101] Cr : 3.00 % 이하

[0102] Cr 은, 모재의 고강도화에 유효한 원소로서, 바람직하게는 0.10 % 이상으로 첨가하는데, 다량으로 첨가하면 용접성을 저하시킨다. 그 때문에, Cr 은 3.00 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.10 % 이상 2.00 % 이하로 한다.

[0103] Ni : 5.00 % 이하

[0104] Ni 는, 강의 강도 및 용접열 영향부의 인성을 향상시키는 유익한 원소로서, 바람직하게는 0.50 % 이상으로 첨가하는데, 5.00 % 를 초과하여 첨가하면, 경제성이 현저하게 저해된다. 그 때문에, Ni 는 5.00 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.50 % 이상 4.00 % 이하로 한다.

[0105] Al : 0.080 % 이하

[0106] Al 은, 용강을 충분히 탈산시키기 위해서 첨가되는데, 0.080 % 를 초과하여 첨가하면 모재 중에 고용되는 Al 량이 많아져, 모재 인성을 저하시킨다. 그 때문에, Al 은 0.080 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.030 % 이상 0.080 % 이하로 한다. 보다 바람직하게는 0.030 % 이상 0.060 % 이하로 한다.

[0107] N : 0.0070 % 이하

- [0108] N 은, Al 등과 질화물을 형성함으로써 조직을 미세화하고, 모재 및 용접열 영향부의 인성을 향상시키는 효과를 갖기 때문에, 바람직하게는 0.0020 % 이상의 N 을 첨가해도 된다. 그러나, 0.0070 % 를 초과하여 첨가하면, 모재 중에 석출되는 질화물량이 증가하여, 모재 인성이 현저하게 저하되고, 또한 용접열 영향부에 있어서도 조대한 탄질화물을 형성하여 인성을 저하시킨다. 그 때문에, N 은 0.0070 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0050 % 이하로 하고, 보다 바람직하게는 0.0040 % 이하로 한다. 또한, N 은 0 % 여도 된다.
- [0109] B : 0.0030 % 이하
- [0110] B 는, 오스테나이트 입계에 편석함으로써 입계로부터의 페라이트 변태를 억제하고, 퀴칭성을 높이는 효과를 갖기 때문에, 바람직하게는 0.0003 % 이상으로 첨가한다. 한편, 0.0030 % 를 초과하여 첨가하면, 탄질화물로서 석출되어 퀴칭성을 저하시켜 인성 저하를 일으킨다. 그 때문에, B 는 0.0030 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0003 % 이상 0.0030 % 이하로 한다. 보다 바람직하게는 0.0005 % 이상 0.0020 % 이하로 한다.
- [0111] 탄소 당량 CeqIIW
- [0112] 본 발명에서는, 특히 관두께 100 mm 이상의 강관의 내부에 있어서 항복 강도로 620 MPa 이상의 강도와 양호한 인성을 확보하기 위해서, 적절한 성분 조성의 설계가 필요하고, 탄소 당량 CeqIIW 에 관한 하기 식 (1) 을 만족하는 범위로 성분 조성을 조정할 필요가 있다. 왜냐하면, 탄소 당량이 하기 식 (1) 을 만족하지 않는 경우, 강도가 열등한 페라이트 등이 형성되기 쉬워, 안정적으로 원하는 강도를 확보하는 것이 어려워지기 때문이다.
- [0113] $[C] + [Mn]/6 + [Ni]/15 + [Cr]/15 \geq 0.57 \dots (1)$
- [0114] 여기서,
- [0115] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 에서의 함유량이다.
- [0116] 이상, 본 발명의 기본 성분에 대하여 설명하였다. 상기 성분 이외의 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물인데, 본 발명에서는, 그 밖의 원소에 대해서도 필요에 따라 적절히 함유시킬 수 있다.
- [0117] 구체적으로는, 추가로 강도 및 인성을 높일 목적으로, Cu : 0.50 % 이하, Mo : 1.50 % 이하, Nb : 0.100 % 이하, V : 0.200 % 이하 및 Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유시킬 수 있다.
- [0118] 이 경우에는, 탄소 당량 CeqIIW 에 대하여, 상기 식 (1) 대신에 하기 식 (2) 를 만족하는 범위로 성분 조성을 조정한다.
- [0119] $[C] + [Mn]/6 + ([Cu] + [Ni])/15 + ([Cr] + [Mo] + [V])/15 \geq 0.57 \dots (2)$
- [0120] 여기서,
- [0121] [] 는, 그 [] 안 원소의 함유량 (질량%) 에서의 함유량이다.
- [0122] Cu : 0.50 % 이하
- [0123] Cu 는, 인성을 손상시키지 않고 강의 강도 향상이 도모되지만, 0.50 % 보다 많이 첨가하면 열간 가공시에 강판 표층에 균열을 일으킨다. 그 때문에, Cu 를 함유시키는 경우에는 0.50 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.03 % 이상 0.40 % 이하로 한다.
- [0124] Mo : 1.50 % 이하
- [0125] Mo 는, 모재의 고강도화에 유효한 원소이지만, 1.50 % 를 초과하여 첨가하면 합금 탄화물의 석출에 의해 경도를 상승시켜 인성을 저하시킨다. 그 때문에, Mo 를 함유시키는 경우에는, 1.50 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.02 % 이상 0.80 % 이하로 한다.
- [0126] Nb : 0.100 % 이하
- [0127] Nb 는, 모재의 강도 향상에 효과가 있기 때문에 유효하지만, 0.100 % 를 초과하는 첨가는 모재의 인성을 현저하게 저하시킨다. 그 때문에, Nb 를 함유시키는 경우에는, 상한을 0.100 % 로 한다. 바람직하게는 0.025 % 이하로 한다. 또한, 0.003 % 미만으로 하면 특성의 향상 효과가 얻어지지 않기 때문에, 첨가하는

경우에는 0.003 % 이상으로 한다.

- [0128] V : 0.200 % 이하
- [0129] V 는, 모재의 강도·인성의 향상에 효과가 있고, 또 VN 으로서 석출됨으로써 고용 N 의 저하에 유효하지만, 0.200 % 를 초과하여 첨가하면 경질인 VC 의 석출에 의해 인성이 저하된다. 그 때문에, V 를 함유시키는 경우에는, 0.200 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.010 % 이상 0.100 % 이하로 한다.
- [0130] Ti : 0.005 % 이상 0.020 % 이하
- [0131] Ti 는, 가열시에 TiN 을 생성하고, 오스테나이트의 조대화를 효과적으로 억제하여, 모재 및 용접열 영향부의 인성을 향상시킨다. 그러나, 0.020 % 를 초과하여 첨가하면, Ti 질화물이 조대화되어 모재의 인성을 저하시킨다. 그 때문에, Ti 를 함유시키는 경우에는, 0.005 % 이상 0.020 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.008 % 이상 0.015 % 이하로 한다.
- [0132] 또, 추가로 재질을 개선시킬 목적으로, Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하, Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하, Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하, Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하, Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하 및 REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유시킬 수 있다.
- [0133] Mg : 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하
- [0134] Mg 는, 고온에서 안정적인 산화물을 형성하고, 용접열 영향부의 구 γ 입자의 조대화를 효과적으로 억제하여, 용접부의 인성을 향상시키는 데에 유효한 원소이다. 그러나, 첨가량이 0.0005 % 미만인 경우에는 명료한 효과가 얻어지지 않고, 0.0100 % 를 초과하여 첨가하면, 개재물량이 증가하여 인성이 저하된다. 그 때문에, Mg 를 함유시키는 경우에는, 0.0005 % 이상 0.0100 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하로 한다.
- [0135] Ta : 0.010 % 이상 0.200 % 이하
- [0136] Ta 는, 강도 향상에 유효하다. 그러나, 첨가량이 0.010 % 미만인 경우에는 명료한 효과가 얻어지지 않고, 0.200 % 를 초과하는 경우에는 석출물 생성에 의해 인성이 저하된다. 그 때문에, Ta 를 함유시키는 경우에는, 0.010 % 이상 0.200 % 이하로 한다.
- [0137] Zr : 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하
- [0138] Zr 은, 강도 상승에 유효한 원소이지만, 첨가량이 0.0050 % 미만인 경우에는 현저한 효과가 얻어지지 않고, 또 0.1000 % 를 초과하는 경우에는 조대한 석출물을 생성하여 인성이 저하된다. 그 때문에, Zr 을 함유시키는 경우에는, 0.0050 % 이상 0.1000 % 이하로 한다.
- [0139] Y : 0.001 % 이상 0.010 % 이하
- [0140] Y 는, 고온에서 안정적인 산화물을 형성하고, 용접열 영향부의 구 γ 입자의 조대화를 효과적으로 억제하여, 용접부의 인성을 향상시키는 데에 유효한 원소이다. 그러나, 0.001 % 미만의 첨가에서는 효과가 얻어지지 않고, 0.010 % 를 초과하여 첨가하면, 개재물량이 증가하여 인성이 저하된다. 그 때문에, Y 를 함유시키는 경우에는, 0.001 % 이상 0.010 % 이하로 한다.
- [0141] Ca : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하
- [0142] Ca 는, 황화물계 개재물의 형태 제어에 유용한 원소로서, 그 효과를 발휘시키기 위해서는, 0.0005 % 이상의 첨가가 필요하다. 그러나, 0.0050 % 를 초과하여 첨가하면, 청정도의 저하를 초래하여 인성을 열화시킨다. 그 때문에, Ca 를 함유시키는 경우에는, 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0005 % 이상 0.0025 % 이하로 한다.
- [0143] REM : 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하
- [0144] REM (희토류 금속) 도 Ca 와 마찬가지로 강 중에서 산화물 및 황화물을 형성하여 재질을 개선시키는 효과가 있고, 그 효과를 얻기 위해서는 0.0005 % 이상의 첨가가 필요하다. 그러나, 0.0200 % 를 초과하여 첨가해도, 그 효과가 포화된다. 그 때문에, REM 을 함유시키는 경우에는, 0.0005 % 이상 0.0200 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하로 한다.
- [0145] [조직]

- [0146] 본 발명에서는, 강판 표층에 있어서의 베이나이트 면적 분율을 10 % 이상으로 하는 것이 중요하다. 강판 표층이 이와 같은 조직을 가짐으로써, 강판 표층에 대해서도 우수한 인성을 얻을 수 있다. 강판 표층의 베이나이트 면적 분율은, 바람직하게는 20 % 이상이다. 잔부는 템퍼드 마텐자이트, 페라이트 등이다.
- [0147] 또, 강판 표층뿐만 아니라, 강판 내부에 있어서의 베이나이트 면적 분율을 10 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. 강판 내부도 이와 같은 조직을 가짐으로써, 강판 표층과 강판 내부의 특성 차가 작은 강판을 얻을 수 있다. 강판 내부의 베이나이트 면적 분율은, 보다 바람직하게는 20 % 이상이다.
- [0148] 또한, 강판 표층 및 강판 내부의 조직의 면적 분율의 평가는, 켈칭 상태의 강재의 압연 방향 단면의 샘플을 채취하여, 나이탈 부식액으로 조직을 출현시켜, 200 배의 광학 현미경으로 5 시야 이상 관찰하고, 화상 해석에 의해 베이나이트 등 각 조직의 면적 분율을 구함으로써 실시할 수 있다. 강판 표층에 대해서는, 판두께 1/8 t 의 위치를 중심으로 하여, 두께 15 mm 의 압연 방향 단면의 샘플을 채취한다. 강판 내부에 대해서는, 판두께 3/8 t 의 위치를 중심으로 하여, 두께 15 mm 의 압연 방향 단면의 샘플을 채취한다.
- [0149] 적어도 강판 표층의 베이나이트 면적 분율이 10 % 이상인 조직을 얻기 위해서는, 상기 범위로 성분 조성을 조정된 강 소재에 열간 압연을 실시하여 얻은, 열연 강판을 냉각시킨 후에, Ac_3 변태점 이상 1050 °C 이하의 온도역으로 가열한 후, (Ar_3 변태점+50) °C 이상 (Ar_3 변태점-20) °C 이하의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도가 0.2 ~ 10 °C/s 인 냉각 처리를 실시하여 350 °C 이하까지 냉각시킬 필요가 있다. 여기서 규정되는 온도 조건은, 열연 강판의 표층 및 강판 내부가 모두 만족되는 것이 중요하다. 자세한 것은, 후술한다.
- [0150] [인성]
- [0151] 강판 표층의 인성은 지금까지 주목받아 오지 않았지만, 구조물의 안전성 향상 요구가 고조되며 강판 내부와 동등한 레벨이 요구되고 있다. 본 발명의 강판에서는, 강판 표층면과 강판 내부의 인성차를, 연성-취성 파면 천이 온도 ($vTrs$) 에 의해 평가하면, $vTrs$ 에서의 차가 20 °C 이내인 것이 바람직하다. 이로써, 강판 표면과 강판 내부에서 실질적으로 동일한 인성이 얻어지고 있다고 평가할 수 있기 때문이다. 여기서, $vTrs$ 는, JIS Z2242 에 기재된 방법으로 평가하였다. $vTrs$ 의 차로서 20 °C 이내로 하는 것은, 인성의 $vTrs$ 에 의한 평가는, 동일한 인성 레벨이었다고 해도, 취성 파면율의 측정 오차에 의해 그 값이 최대로 20 °C 정도 생기는 경우가 있기 때문에, 실질적으로 동등이라고 생각되는 20 °C 이내로 하였다.
- [0152] [항복 강도]
- [0153] 본 발명에서는, 강판의 내부에 있어서의 항복 강도가 620 MPa 이상인 것으로 한다. 그 이유는, 구조물의 대형화에 기여하게 하려면 620 MPa 이상의 항복 강도를 필요로 하기 때문이다.
- [0154] 다음으로, 본 발명의 강판의 제조 방법에 대하여 설명한다. 이하의 설명에 있어서의 온도는, 특별히 언급하지 않는 한, 판두께 중심부 (1/2 t) 에 있어서의 온도를 의미하는 것으로 한다.
- [0155] [강 소재]
- [0156] 상기 성분 조성의 용강을, 전로, 전기로, 진공 용해로 등의 통상적인 방법으로 용해하여, 연속 주조법 또는 조괴법 등의 통상적인 주조 방법으로 슬래브, 빌릿 등의 강 소재로 한다. 또, 압연기의 하중 등의 제약이 있는 경우에는, 강 소재에 추가로 단조 또는 분괴 압연을 실시하여, 강 소재의 판두께를 작게 해도 된다.
- [0157] [열간 압연]
- [0158] 상기 강 소재에 대하여 열간 압연을 실시한다. 강판 표층에 있어서의 인성과 강판 내부에 있어서의 강도 및 인성을 양립시키기 위해서는, 열간 압연시에, γ 역에서의 재결정을 촉진시키고, 구 γ 입경의 미세화를 도모하는 것이 유효하다. 이 때문에, 열간 압연에서는, 압연 종료 온도를 Ar_3 점 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- [0159] 또한, Ar_3 변태점은, 후술하는 식 (4) 에 의해 계산되는 값을 사용할 수 있다.
- [0160] [열간 압연 후의 냉각]
- [0161] 상기 열간 압연 후의 강판을 공랭 또는 가속 냉각시킨다. 특히, 인성의 향상을 도모하는 경우에는 가속 냉각이 유효하다. 가속 냉각시킴으로써, 공랭에 비해 고온 지역에서의 체류 시간이 짧아져, 결정 입경의 미세화나 석출물의 조대화를 억제할 수 있기 때문이다. 그 때문에, 가속 냉각시키는 경우에는 Ar_3 점 미만까지

로 한다. 가속 냉각시의 냉각은 수랭, 증풍에 의해 실시하고, 어느 경우도, 강관 표면에 있어서 0.1 °C/s 이상의 냉각 속도로 하는 것이 바람직하다.

- [0162] [열간 압연 후 가열 온도 : Ac_3 변태점 이상 1050 °C 이하]
- [0163] 상기 냉각 후의 열연 강관을, Ac_3 변태점 이상 1050 °C 이하로 가열한다. Ac_3 변태점 이상으로 가열하는 것은, 강을 오스테나이트 단상으로 균일화하기 위해서이다. 재가열 온도를 1050 °C 이하로 하는 것은, 1050 °C 를 초과하는 고온의 재가열에서는 오스테나이트 입자의 조대화에 의한 모재 인성의 저하가 현저하게 저하되기 때문이다. 바람직하게는 Ac_3 변태점 이상 1000 °C 이하로 한다. 또한 Ac_3 변태점 이상 950 °C 이하가 보다 바람직하다.
- [0164] 또한, Ac_3 변태점은, 하기 식 (3) 에 의해 계산되는 값을 사용한다.
- [0165] $Ac_3=937.2-476.5[C]+56[Si]-19.7[Mn]-16.3[Cu]-26.6[Ni]-4.9[Cr]+38.1[Mo]+124.8[V]+136.3[Ti]+198.4[A]$
 $l]+3315[B] \cdots (3)$
- [0166] 여기서, 식 (3) 에 있어서의 각 원소 기호는, 각각의 성분 조성의 강 소재 중의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 함유하지 않는 것은 0 으로 하여 계산한다.
- [0167] [냉각 처리 : (Ar_3 변태점+50) °C 이상 (Ar_3-20) °C 이하의 범위에 있어서의 평균 냉각 속도가 0.2 ~ 10 °C /s]
- [0168] 상기 가열 후에 냉각 처리를 실시한다. 이 냉각 처리는, 강관 표층 및 강관 내부를 350 °C 이하까지 냉각시킬 때에, 강관 표층 및 강관 내부의 각각에 있어서의, (Ar_3 변태점+50) °C 이상 (Ar_3 변태점-20) °C 이하의 온도역에서의 평균 냉각 속도가 0.2 ~ 10 °C/s 가 되도록 냉각 처리를 실시하는 것이 중요하다. 이와 같은 냉각을 실시함으로써, 강관 표층에 베이나이트 면적 분율이 10 % 이상인 조직을 형성시킬 수 있어, 강관 표층의 인성을 현저하게 향상시킬 수 있다. 마찬가지로, 강관 내부에 있어서도, 베이나이트가 10 % 이상인 조직을 형성시킬 수 있다.
- [0169] 냉각 속도의 제어는, 물의 유량을 조정하고, 간헐적으로 냉각을 실시하고, 증풍에 의해 냉각을 실시하는 등의 방법에 의해 실시할 수 있다.
- [0170] 구체적으로는, 강관 표층 및 강관 내부에 있어서의 평균 냉각 속도의 제어는, 원하는 냉각 속도가 되도록 냉각 방법, 수량 조정, 간헐 조건을 시뮬레이션 등에 의해 도출하여 실시한다.
- [0171] 강관 표층 및 강관 내부의 온도는, 판두께, 표면 온도 및 냉각 조건 등으로부터, 시뮬레이션 계산 등에 의해 구할 수 있다. 예를 들어, 차분법을 이용하여, 판두께 방향의 온도 분포를 계산함으로써, 강관 표층에서 강관 내부까지의 온도를 구할 수 있다.
- [0172] 또한, Ar_3 변태점은, 하기 식 (4) 에 의해 계산되는 값을 사용한다.
- [0173] $Ar_3=910-310[C]-80[Mn]-20[Cu]-15[Cr]-55[Ni]-80[Mo] \cdots (4)$
- [0174] 여기서, 식 (4) 에 있어서의 각 원소 기호는, 각각의 성분 조성의 강 소재 중의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 함유하지 않는 것은 0 으로 하여 계산한다.
- [0175] [냉각 정지 온도 : 350 °C 이하]
- [0176] 상기 냉각의 정지 온도를 350 °C 이하로 한다. 350 °C 이하까지 냉각시키면, 강관 전체에 있어서 변태가 완료되어, 균일한 조직이 얻어지기 때문이다.
- [0177] 냉각의 방법은, 공업적으로는 수랭으로 하는 것이 일반적이지만, 냉각 방법은 수랭 이외에도 되고, 예를 들어 가스 냉각 등의 방법도 있다.
- [0178] [템퍼링]
- [0179] 상기와 같은 급랭을 실시한 후에, 필요에 따라, 450 °C 이상 700 °C 이하의 온도 범위에서 템퍼링을 실시한다. 450 °C 미만에서는 잔류 응력의 제거 효과가 적고, 한편 700 °C 를 초과하면, 다양한 탄화물이 석출됨과 함

계, 모재의 조직이 조대화되어, 강도, 인성이 대폭 저하되기 때문이다.

[0180] 또한, 공업적으로는 강의 강인화를 목적으로 반복 퀴칭하는 경우가 있는데, 본 발명에 있어서도 반복 퀴칭해도 된다. 단, 최종 퀴칭시에, 강관 표층 및 강관 내부가 (Ar₃ 변태점+50) ℃ 이상 (Ar₃ 변태점-20) ℃ 이하의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도가 0.2 ℃/s 이상 10 ℃/s 이하인 냉각을 실시하고, 그 후 350 ℃ 이하까지 냉각을 실시하고, 450 ℃ 이상 700 ℃ 이하에서 템퍼링하는 것이 바람직하다.

[0181] 실시예

[0182] 표 1 에 나타난 강 No.1 ~ 31 의 강을 용제하여, 슬래브로 한 후, 표 2 에 나타난 제조 조건에 의해 관두께가 100 mm 이상 240 mm 이하인 강관으로 하고, 그 후 냉각 처리, 템퍼링 처리를 실시하여, 시료 No.1 ~ 37 의 후 강관을 제조하고, 하기 시험에 제공하였다.

표 1

강 No.	성분 조성 (질량%)																	Ceq ^W (%)	Ac ₃ (°C)	Ar ₃ (°C)	비고				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	N	B	Cu	Mo	Nb	V	Ti	Mg	Ta					Zr	Y	Ca	REM
1	0.084	0.23	1.22	0.006	0.0010	0.82	0.48	0.047	0.0032	0.0011	0.25	0.38	-	0.021	0.010	-	-	-	-	0.0023	-	0.58	896.6	712.3	발명에
2	0.096	0.32	1.54	0.005	0.0011	0.88	0.82	0.068	0.0051	0.0012	0.21	0.33	-	0.032	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.67	893.5	668.1	발명에
3	0.108	0.21	1.13	0.006	0.0004	0.80	3.63	0.077	0.0063	0.0010	0.18	0.51	-	0.041	-	-	-	-	-	0.0025	-	0.82	815.0	530.1	발명에
4	0.115	0.21	1.12	0.005	0.0006	0.88	2.45	0.063	0.0048	0.0010	0.19	0.52	-	0.042	-	-	-	-	-	0.0023	-	0.77	840.4	591.4	발명에
5	0.118	0.20	0.98	0.007	0.0009	0.61	0.95	0.048	0.0038	0.0009	0.25	0.45	-	0.040	0.012	-	-	-	-	0.0026	-	0.58	878.8	692.6	발명에
6	0.121	0.19	1.14	0.006	0.0005	0.98	2.06	0.033	0.0032	0.0010	0.20	0.49	0.011	0.039	0.011	-	-	-	-	0.0025	-	0.84	839.8	610.1	발명에
7	0.126	0.19	1.13	0.006	0.0005	0.79	3.62	0.064	0.0027	0.0010	0.18	0.51	-	0.038	-	-	-	-	-	0.0022	-	0.77	829.6	610.1	발명에
8	0.129	0.03	1.16	0.005	0.0005	0.95	1.99	0.039	0.0036	0.0009	0.21	0.49	-	0.041	0.011	-	-	-	-	0.0018	-	0.83	798.1	535.3	발명에
9	0.132	0.06	1.14	0.005	0.0004	0.81	3.35	0.055	0.0046	0.0012	0.19	0.53	-	0.040	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.73	814.2	618.1	발명에
10	0.148	0.07	0.88	0.005	0.0060	0.85	2.23	0.046	0.0043	0.0010	0.45	0.39	-	0.036	-	-	-	-	-	0.0018	-	0.65	833.6	509.7	발명에
11	0.092	0.15	2.83	0.006	0.0007	0.29	1.85	0.053	0.0045	0.0013	0.20	0.48	-	0.029	-	-	-	-	-	0.0078	-	0.74	801.9	616.9	발명에
12	0.177	0.39	1.55	0.004	0.0005	0.94	1.82	0.041	0.0029	0.0008	-	-	-	0.042	0.009	-	-	-	-	0.0022	-	0.76	842.7	604.6	발명에
13	0.118	0.21	1.16	0.004	0.0006	0.93	2.15	0.046	0.0036	0.0009	0.19	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	805.1	669.2	발명에
14	0.190	0.24	1.11	0.005	0.0009	0.49	1.56	0.036	0.0022	0.0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88	771.3	481.5	발명에
15	0.131	0.21	0.91	0.005	0.0007	0.79	4.72	0.048	0.0029	0.0009	0.22	0.49	0.016	0.036	-	-	-	-	-	0.0018	-	0.75	883.6	789.6	발명에
16	0.103	0.21	0.99	0.003	0.0005	0.73	-	0.043	0.0039	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.76	815.8	534.5	발명에
17	0.133	0.21	0.99	0.003	0.0005	0.36	3.82	0.061	0.0044	0.0012	0.18	0.45	-	0.183	-	-	-	-	-	-	-	0.75	825.0	601.7	발명에
18	0.139	0.19	1.01	0.005	0.0008	0.93	2.43	0.078	0.0061	0.0014	0.20	0.41	-	-	-	-	-	-	-	0.0020	-	0.71	868.0	621.1	발명에
19	0.116	0.21	1.13	0.006	0.0011	0.74	1.89	0.059	0.0036	0.0026	0.32	0.52	-	0.042	-	-	-	-	-	0.0022	-	0.83	811.9	536.8	발명에
20	0.120	0.19	1.24	0.005	0.0010	0.86	3.29	0.077	0.0067	0.0010	0.21	0.46	-	0.038	-	-	-	-	-	0.0042	-	0.81	895.4	561.9	발명에
21	0.081	0.18	0.73	0.006	0.0010	0.65	2.43	0.041	0.0039	0.0011	0.22	1.46	-	0.041	-	-	-	-	-	0.0022	-	0.57	892.3	752.3	비교예
22	0.082	0.33	1.15	0.006	0.0011	1.45	0.45	0.028	0.0065	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	813.0	644.7	비교예
23	0.253	0.16	1.24	0.005	0.0011	1.04	0.59	0.048	0.0033	0.0012	0.26	0.43	-	0.036	0.018	-	-	-	-	0.0021	-	0.68	881.8	671.6	비교예
24	0.141	0.48	1.16	0.005	0.0007	0.95	0.88	0.043	0.0022	0.0010	0.12	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.63	893.1	685.6	비교예
25	0.083	0.36	0.28	0.012	0.0016	1.16	1.95	0.052	0.0036	0.0014	0.22	0.59	-	0.036	-	-	-	-	-	0.0023	-	0.67	893.0	666.8	비교예
26	0.121	0.20	1.22	0.026	0.0014	0.95	0.55	0.042	0.0036	0.0010	0.26	0.48	-	0.039	-	-	-	-	-	-	-	0.67	822.0	672.4	비교예
27	0.151	0.22	1.26	0.011	0.0068	1.12	1.33	0.036	0.0028	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	843.1	585.5	비교예
28	0.123	0.27	1.43	0.006	0.0006	0.94	1.99	0.032	0.0027	0.0009	0.40	0.53	-	-	-	-	-	-	-	0.0022	-	0.71	814.9	633.4	비교예
29	0.129	0.26	1.28	0.006	0.0009	1.14	2.13	0.046	0.0006	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.72	850.4	622.2	비교예
30	0.136	0.28	1.14	0.011	0.0022	0.81	1.83	0.046	0.0033	0.0048	0.28	0.45	-	-	-	-	-	-	-	0.0021	-	0.72	850.4	622.2	비교예
31	0.120	0.13	0.99	0.013	0.0013	0.45	0.90	0.039	0.0030	0.0008	0.12	0.45	-	0.038	0.011	-	-	-	-	0.0019	-	0.54	873.5	699.0	비교예

Ceq^W, Ac₃, Ar₃의 값은 각각 본문 (1) ~ (9) 식으로부터 계산한 것이다.
 하선은 본 발명의 범위 외인 것을 나타낸다.

[0183]

[0184] [인장 시험]

[0185] 각 강관의 관두께 1/8 t 부 및 관두께 1/4 t 부로부터 $\Phi 12.5$ mm 환봉 인장 시험편을 압연 방향과 직각 방향으로 길이 50 mm 로 채취하여, 항복 강도 (YS), 인장 강도 (TS) 를 측정하였다. 항복 강도 (YS) 및 인장 강도 (TS) 는, JIS Z2241 에 준거하여 측정하였다.

[0186] [샤르피 충격 시험]

[0187] 각 강관의 강관 표층하 2 mm 및 관두께 1/4 t 부로부터 압연 방향을 길이 방향으로 하는 2 mmV 노치 샤르피 시험편을 각 15 개씩 채취하여, 각 시험편에 대하여 vTrs (연성 - 취성 파면 천이 온도) 를 JIS Z 2242 에 준거하여 평가하였다.

[0188] 상기 시험 결과를 표 2 에 나타낸다. 이 결과로부터, 강의 성분 조성 및 조직이 본 발명에 적합한 발명예의 강관 (시료 No.1 ~ 22) 은, 모두 1/4 t 부의 YS 가 620 MPa 이상, TS 가 720 MPa 이상, 강관 표층 및 1/4 t 부의 인성 (vTrs) 이 -30 °C 보다 저온이고, vTrs 의 차가 20 °C 이내로 되어 있어, 모재의 강도 및 강관 표층과 강관 내부의 인성차가 작고, 강관 표층에서 강관 내부까지 관두께 방향에 걸쳐 인성이 우수한 것을 알 수 있다.

표 2

시료 No.	강 No.	재품 두께 (mm)	슬래브 두께 (mm)	가열 온도 (°C)	인장 후의 냉각 온도	냉징			표층				강관 내부 (1/4t)				vTrs 차	비고						
						재가열 온도 (°C)	표면 냉속 (°C/s)	내부 냉속 ※1 (°C/s)	냉각 정지 온도 (°C)	템퍼링 온도 (°C)	배이노이드 면적 분율 (%)	마텐자이트 면적 분율 (%)	YS (MPa)	TS (MPa)	vTrs (°C)	배이노이드 면적 분율 (%)			마텐자이트 면적 분율 (%)	YS (MPa)	TS (MPa)	vTrs (°C)		
																							YS (MPa)	TS (MPa)
1	1	100	310	1150	방랭	≤100	930	9.0	1.5	100	620	15	70	703	792	-40	80	15	673	766	-40	○	발명예	
2	2	100	265	1250	중풍	600	930	7.0	1.5	100	620	25	45	733	842	-90	80	10	731	840	-95	○	발명예	
3	3	110	450	1250	수랭	450	900	3.0	0.4	150	650	50	35	726	805	-60	90	5	722	800	-75	○	발명예	
4	4	180	450	1250	수랭	400	900	1.5	0.6	100	630	20	75	763	816	-40	80	15	761	815	-40	○	발명예	
5	5	100	310	1150	방랭	≤100	900	8.0	1.5	200	625	45	50	753	866	-60	80	5	751	862	-66	○	발명예	
6	6	150	265	1200	방랭	≤100	900	4.0	0.8	100	630	45	50	791	865	-100	85	10	782	864	-110	○	발명예	
7	7	215	450	1200	수랭	400	900	0.5	0.4	150	645	90	45	791	865	-100	85	10	782	864	-110	○	발명예	
8	8	150	265	1200	방랭	≤100	900	3.0	0.8	100	630	45	50	741	831	-65	90	5	738	823	-65	○	발명예	
9	9	150	265	1200	방랭	≤100	900	1.5	0.8	300	-	45	50	836	1081	-35	90	5	845	1080	-35	○	발명예	
10	10	240	485	1200	수랭	500	880	2.0	0.3	150	650	60	35	745	924	-85	85	5	743	827	-96	○	발명예	
11	11	150	265	1150	중풍	400	900	5.0	0.8	100	630	35	80	780	964	-70	85	10	772	851	-66	○	발명예	
12	12	240	485	1250	수랭	500	900	0.5	0.3	100	660	90	5	733	921	-60	85	10	731	816	-65	○	발명예	
13	13	100	310	1150	중풍	400	880	9.5	1.5	150	680	10	85	658	940	-45	80	15	652	735	-55	○	발명예	
14	14	150	265	1150	방랭	≤100	900	4.5	0.8	100	650	40	55	782	946	-70	85	10	769	845	-60	○	발명예	
15	15	100	310	1150	중풍	450	900	8.5	1.5	250	630	20	75	809	901	-60	80	15	806	866	-66	○	발명예	
16	16	150	240	485	1200	중풍	500	880	0.5	0.3	100	630	85	10	861	938	-115	70	20	856	938	-125	○	발명예
17	17	160	485	1100	수랭	450	900	1.0	0.2	100	620	80	20	726	822	-100	80	10	722	816	-96	○	발명예	
18	18	180	450	1300	수랭	400	900	1.5	0.5	150	680	85	10	720	790	-80	80	10	716	783	-66	○	발명예	
19	19	180	265	1250	수랭	350	900	2.0	0.8	150	630	75	20	748	830	-55	85	10	743	826	-50	○	발명예	
20	20	180	265	1300	중풍	500	900	2.0	0.6	150	650	55	40	689	751	-80	90	5	665	747	-85	○	발명예	
21	21	150	265	1200	수랭	450	930	1.5	0.8	100	630	60	40	864	946	-75	90	5	862	945	-80	○	발명예	
22	22	150	265	1150	방랭	≤100	930	2.0	0.8	100	650	75	20	632	718	-20	75	5	582	673	-30	○	비교예	
23	23	150	265	1200	방랭	≤100	900	1.5	0.8	100	630	85	10	815	878	-20	85	10	813	873	-25	○	비교예	
24	24	100	265	1150	중풍	500	930	5.5	1.5	150	620	40	55	789	846	-15	90	5	769	842	-30	○	비교예	
25	25	150	310	1150	수랭	450	930	6.0	0.8	100	630	30	85	585	661	-60	90	5	583	638	-30	x	비교예	
26	26	150	310	1150	수랭	400	930	5.5	0.8	150	630	45	50	732	820	-10	85	10	728	816	-15	○	비교예	
27	27	180	450	1200	수랭	500	900	4.5	0.6	100	630	50	45	746	840	-20	85	10	745	836	-5	○	비교예	
28	28	215	450	1200	중풍	400	900	3.0	0.4	150	630	65	30	760	820	-25	90	5	758	816	-15	○	비교예	
29	29	215	450	1200	중풍	450	900	2.0	0.3	150	640	70	25	716	779	-20	90	5	711	773	-30	○	비교예	
30	30	150	265	1200	수랭	450	900	4.5	0.8	100	630	50	45	736	811	-25	85	10	732	806	-20	○	비교예	
31	31	150	265	1150	방랭	≤100	900	9.0	0.8	150	600	15	80	551	653	-45	85	10	545	650	-16	x	비교예	
32	32	150	265	1150	방랭	≤100	900	3.0	0.8	100	630	65	30	640	850	0	90	5	638	846	-25	x	비교예	
33	33	150	265	1150	방랭	≤100	900	3.0	0.8	100	630	65	30	640	850	0	90	5	638	846	-25	x	비교예	
34	34	150	265	1150	방랭	≤100	900	3.0	0.8	100	630	65	30	640	850	0	90	5	638	846	-25	x	비교예	
35	35	150	265	1150	방랭	≤100	900	12.0	0.8	150	630	5	90	740	833	-20	80	15	732	703	-20	x	비교예	
36	36	150	265	1150	방랭	≤100	900	30.0	0.8	100	630	<5	85	751	841	-20	90	5	745	837	-56	x	비교예	
37	37	150	265	1250	방랭	≤100	900	3.0	0.8	550	630	60	35	573	651	-55	80	15	572	645	-20	x	비교예	

항상은 본 발명의 범위 외인 것을 나타낸다.

※1 (A₃ 변태점+50) °C ~ (A₃ 변태점-20) °C 의 범위에 있어서의 평균 냉각 속도이다

※2 표면과 vTrs가 20°C 를 초과한 것을 x 하였다

[0189]

- [0190] 이에 비하여, 본 발명의 성분 조성 또는 조직을 벗어난 비교예의 강관 (시료 No.23 ~ 32) 은, 강관 내부의 YS 가 620 MPa 미만, TS 가 720 MPa 미만, 또는 강관 표층 및 1/4 t 부의 인성 (vTrs) 이 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상, 혹은 vTrs 차가 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 초과하여, 상기의 어떤 특성이 열등하였다.
- [0191] 또, 시료 No.33 ~ 37 에 나타내는 바와 같이, 강의 성분 조성이 본 발명에 적합한 강관이어도, 제조 조건이 본 발명에 적합하지 않은 경우, YS, TS, 인성, 인성차 중 어느 하나 이상의 특성이 열등한 것을 알 수 있다.
- [0192] 산업상 이용가능성
- [0193] 본 발명에 의하면, 모재의 항복 강도가 620 MPa 이상인 강도임과 함께, 강관 표층의 인성, 강관 내부의 강도 및 인성, 그리고 제조 안정성이 우수한 100 mm 이상의 후강관을 얻을 수 있어, 강 구조물의 대형화, 강 구조물의 안전성 향상에 크게 기여한다.