



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0134964
(43) 공개일자 2024년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/08 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01) C22C 38/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류
C22C 38/08 (2013.01)
C21D 8/0263 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2024-7027011
(22) 출원일자(국제) 2023년04월11일
심사청구일자 2024년08월12일

(85) 번역문제출일자 2024년08월12일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/014767
(87) 국제공개번호 WO 2023/204109
국제공개일자 2023년10월26일

(30) 우선권주장
PCT/JP2022/018338 2022년04월20일 일본(JP)

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

(72) 발명자
사토 유야
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 지테크자이
산부 나이
다치바나 슌이치
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 지테크자이
산부 나이
무라카미 요시아키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 지테크자이
산부 나이

(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **강판 및 그 제조 방법**

(57) 요약

소정의 성분 조성으로 하고, 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에 있어서, 페라이트 분율이 5 ~ 95 %, 섬 형상 마텐자이트 분율이 1 ~ 30 % 및 잔부가 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종이며, 방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 획정되는 결정립에 대해, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도가 200 개/mm² 이하인 마이크로 조직으로 한다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/0263 (2013.01)

C21D 9/46 (2013.01)

C22C 38/001 (2013.01)

C22C 38/02 (2013.01)

C22C 38/04 (2013.01)

C21D 2211/002 (2013.01)

C21D 2211/005 (2013.01)

C21D 2211/008 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량% 로,

C : 0.02 % 이상 0.15 % 이하,

Si : 0.01 % 이상 0.50 % 이하,

Mn : 0.05 % 이상 2.50 % 이하,

Ni : 0.50 % 이상 5.00 % 미만,

P : 0.03 % 이하,

S : 0.0050 % 이하 및

N : 0.0010 % 이상 0.0080 % 이하

를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인, 성분 조성을 갖고,

강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에 있어서,

페라이트 분율이 5 ~ 95 %,

섬 형상 마텐자이트 분율이 1 ~ 30 % 및

잔부가 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종이고,

방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 획정되는 결정립에 대해, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도가 200 개/ mm^2 이하인, 마이크로 조직을 갖는, 강판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,

Cr : 2.00 % 이하,

Mo : 1.0 % 이하,

Al : 0.100 % 이하,

Cu : 2.0 % 이하,

Nb : 0.1 % 이하,

V : 0.05 % 이하,

Ti : 0.03 % 이하 및

B : 0.0030 % 이하

에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 강판.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,

Ca : 0.007 % 이하,

REM : 0.010 % 이하 및

Mg : 0.007 % 이하

에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 강판.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,

Ca : 0.007 % 이하,

REM : 0.010 % 이하 및

Mg : 0.007 % 이하

에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 강판.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,

Cr : 2.00 % 이하,

Mo : 1.0 % 이하,

Al : 0.100 % 이하,

Cu : 2.0 % 이하,

Nb : 0.1 % 이하,

V : 0.05 % 이하,

B : 0.0030 % 이하,

Ca : 0.007 % 이하,

REM : 0.010 % 이하 및

Mg : 0.007 % 이하

에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 강판.

청구항 6

제 1 항, 제 2 항, 제 3 항, 제 4 항 또는 제 5 항에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재를, 열처리로에 있어서 가열하는, 제 1 가열 공정과,

이어서, 상기 강 소재를 열간 압연하여 열연 강판으로 하는, 열간 압연 공정과,

이어서, 상기 열연 강판에 퀴칭을 실시하는, 퀴칭 공정과,

이어서, 상기 열연 강판을 가열하는, 제 2 가열 공정과,

이어서, 상기 열연 강판을 냉각하는, 냉각 공정을 구비하고,

상기 제 1 가열 공정에서는,

상기 열처리로에서의 균열 온도 : 900 °C 이상 1250 °C 이하 및

상기 열처리로에서의 재로 시간 : 600 분 이하이고,

상기 열간 압연 공정에서는, 상기 열연 강판의 표면에서,

마무리 온도 : 1000 °C 이하 700 °C 이상이고,

상기 퀘칭 공정에서는, 상기 열연 강관의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
 600 ℃ ~ 300 ℃ 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 : 3 ℃/s 이상 및
 냉각 종료 온도 : 300 ℃ 이하이고,
 상기 제 2 가열 공정에서는, 상기 열연 강관의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
 가열 온도 : A_{C1} 점 이상 A_{C3} 점 미만이고,
 상기 냉각 공정에서는, 상기 열연 강관의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
 700 ℃ ~ 500 ℃ 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 : 3 ℃/s 이상 및
 냉각 종료 온도 : 500 ℃ 이하 200 ℃ 이상인, 강관의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 강관 및 그 제조 방법으로 한다. 본 발명은, 특히, 고강도 또한 저항복비이며, 저온 인성도 우수한, 강관 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 강관은, 저온 환경하에서 사용되는 강 구조물, 예를 들어, 선박용의 액화 가스 저장용 탱크 등에 바람직하게 사용할 수 있다. 또한, 선박용의 액화 가스 저장용 탱크 등에서는, 용접 후의 응력 제거를, 용접 후 열처리로 대체하여 기계적으로 제거하는 것도 인정되고 있다.

배경 기술

[0002] 선박용의 액화 가스 저장용 탱크에 있어서, 독립형 Type-C 탱크에서 또한 설계 온도가 -10 ℃ 보다 낮은 경우, 강재의 용접 후의 응력 제거가 필요하다. 이 응력 제거는, 통상, PWHT (Post Weld Heat Treatment ; 용접 후 열처리) 에 의해 실시된다. 또, 강재의 항복비 (이하, YR 이라고도 한다) 가 0.8 이하인 경우에는, 기계적으로 응력 제거할 수도 있다. 그러나, 탱크가 대형화되면, PWHT 의 시공이 곤란해진다. 그 때문에, 이와 같은 대형 탱크에서는, 기계적으로 응력 제거하는 것이 가능한 저항복비의 강재를 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 액화 CO₂ 의 대형 저장용 탱크에서는, -50 ℃ ~ -70 ℃ 의 극저온 환경하에 있어서 우수한 인성을 갖고, 또한, 인장 강도 (이하, TS 라고도 한다) 가 690 Mpa 이상인, 저항복비의 강재의 사용이 바람직하다.

[0003] 여기서, 예를 들어, 특허문헌 1 에는,

[0004] 「고강도의 강관으로서,

[0005] 중량% 로, 탄소 (C) : 0.02 ~ 0.12 %, 망간 (Mn) : 0.5 ~ 2.0 %, 실리콘 (Si) : 0.05 ~ 0.5 %, 니켈 (Ni) : 0.05 ~ 1.0 %, 티탄 (Ti) : 0.005 ~ 0.1 %, 알루미늄 (Al) : 0.005 ~ 0.5 %, 인 (P) : 0.015 % 이하, 황 (S) : 0.015 % 이하, 잔부 Fe 및 그 밖의 불가피 불순물을 포함하고,

[0006] 미세 조직은 면적 분율로 70 ~ 90 % 의 초세립 페라이트 및 10 ~ 30 % 의 MA (마텐자이트/오스테나이트) 조직을 포함하고, 항복비 (YS/TS) 가 0.8 이하인 것을 특징으로 하는 고강도 강관.» 이 개시되어 있다.

[0007] 특허문헌 2 에는,

[0008] 「C : 0.02 ~ 0.15 % (「질량%」 의 의미, 화학 성분 조성에 대해 이하 동일),

[0009] Si : 0.10 ~ 0.40 %, ,

[0010] Mn : 1.5 ~ 2.5 %, ,

[0011] P : 0.012 % 이하 (0 % 를 포함하지 않는다),

[0012] S : 0.005 % 이하 (0 % 를 포함하지 않는다),

[0013] Ti : 0.005 ~ 0.02 %, ,

[0014] N : 0.002 ~ 0.006 %, 및

- [0015] Al : 0.02 ~ 0.08 % 를 만족하는 것 외에,
- [0016] Ni : 2.5 % 이하 (0 % 를 포함하지 않는다),
- [0017] Cr : 2.0 % 이하 (0 % 를 포함하지 않는다), 및
- [0018] Mo : 0.5 % 이하 (0 % 를 포함하지 않는다) 로 이루어지는 군에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유하고, 잔부는 철 및 불가피 불순물로 이루어지고, 하기 (1) 식으로 규정되는 켈칭성 지수 DI 가 8 inch 이상임과 함께, 하기 (A), (B) 및 (C) 의 요건을 만족하는 것을 특징으로 하는 인장 강도 780 MPa 이상의 저항복비 후유 원형 강관용 강관.
- [0019] $DI \text{ (inch)} = \{1.16 \times ([C]/10)^{1/2}\} \times (0.7 \times [Si] + 1) \times \{5.1 \times ([Mn] - 1.2) + 5\} \times (0.35 \times [Cu] + 1) \times (0.36 \times [Ni] + 1) \times (2.16 \times [Cr] + 1) \times (3 \times [Mo] + 1) \times (1.75 \times [V] + 1) \times (200 \times [B] + 1) \dots (1)$
- [0020] 단, [C], [Si], [Mn], [Cu], [Ni], [Cr], [Mo], [V] 및 [B] 는, 각각 C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, V 및 B 의 함유량 (질량%) 을 나타낸다.
- [0021] (A) 판두께 1/4 부위에 있어서의 마이크로 조직에 있어서, 베이나이트가 90 면적 % 이상인,
- [0022] (B) 판두께 1/4 부위에 있어서의 마이크로 조직에 있어서, 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 영역의 평균 원 상당 직경 d 가 4 μm 이하인,
- [0023] (C) 판두께 1/4 부위에 있어서의 마이크로 조직에 있어서, 평균 원 상당 직경이 0.5 ~ 3 μm 이고, 비커스 경도 Hv 가 700 이상인 섬 형상 마텐자이트를 3 ~ 10 면적 % 로 포함하고 있다.」가 개시되어 있다.
- [0024] 특허문헌 3 에는,
- [0025] 「질량% 로,
- [0026] C : 0.03 ~ 0.20 % ,
- [0027] Si : 0.01 ~ 0.50 % ,
- [0028] Mn : 0.5 ~ 3.0 % ,
- [0029] P : 0.015 % 이하,
- [0030] S : 0.0050 % 이하,
- [0031] Al : 0.005 ~ 0.1 % , 및
- [0032] N : 0.0015 ~ 0.0065 % 를 함유하고,
- [0033] 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,
- [0034] 섬 형상 마텐자이트를 포함하는 베이나이트, 마텐자이트, 및 시멘타이트를 포함하고,
- [0035] 시멘타이트는, 베이나이트 및 마텐자이트의 일방 또는 양방의 조직 중에 포함되어 있고,
- [0036] 베이나이트와 마텐자이트의 합계 면적 분율이 50.0 % 이상, 95.0 % 미만이며,
- [0037] 섬 형상 마텐자이트의 면적 분율이 5 ~ 20 % 이며,
- [0038] 섬 형상 마텐자이트의 평균 원 상당 직경이 5.0 μm 미만이며,
- [0039] 시멘타이트의 면적 분율이 0 % 초과, 5 % 이하이며, 또한
- [0040] 시멘타이트의 평균 원 상당 직경이 0.5 μm 미만인 마이크로 조직을 갖는, 초저항복비 고장력 후강관.」이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0041] (특허문헌 0001) 일본 공표특허공보 2016-507649호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 2013-57105호

(특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2019-119934호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0042] 그러나, 특허문헌 1 에 기재된 강관은, TS 가 최고여도 620 MPa 이다. 즉, 특허문헌 1 은, TS : 690 MPa 이상 의 강관을 제공하는 데에는 이르지 못했다. 특허문헌 2 및 3 에 기재된 강관은, $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 와 같은 극저온 환경하에서의 인성 (이하, 간단히 저온 인성이라고도 한다) 에 대해서 고려가 되어 있지 않다. 또, 이른바 니켈강, 예를 들어, 9 % Ni 강에서는, 상기한 원하는 특성을 실현할 수 있을 가능성이 있지만, 재료 비용이 높아진다는 문제가 있다.

[0043] 그 때문에, 고가의 니켈강을 대체하는, 고강도이고 또한 저항복비이며, 저온 인성도 우수한 강관, 특히, TS : 690 MPa 이상, YR : 0.8 이하 및 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 (이하, $vE_{-70\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 라고도 한다) : 100 J 이상의 강관의 개발이 요망되고 있는 것이 현상황이다.

[0044] 본 발명은 상기 현상황을 감안하여 개발된 것으로서, 고강도이고 또한 저항복비이며, 저온 인성도 우수한 강관을, 그 제조 방법과 함께 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0045] 본 발명자들은, 상기 과제를 해결하기 위해서, 예의 연구를 실시한 결과, 이하의 지견을 얻었다.

[0046] 즉, 본 발명자들은, 강관의 표면으로부터 관두께 방향으로 관두께의 1/4 의 깊이 위치 (이하, 강관의 관두께 1/4 의 깊이 위치라고도 한다) 에 있어서의 마이크로 조직을 이하와 같이 제어하는 것이, 소기한 특성의 향상에 유효한 것을 신규로 지견하였다.

[0047] (1) 페라이트 분율 : 5 ~ 95 %, 섬 형상 마텐자이트 분율 : 1 ~ 30 % 및 잔부 : 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종으로 한다.

[0048] (2) 방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 확정되는 결정립에 대해, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도를 200 개/ mm^2 이하로 한다.

[0049] 여기서, 페라이트는, 베이나이트나 마텐자이트를 A_{c1} 점 이상의 온도로 열처리해도 역변태하지 않고 잔존하고, 원래의 래스상 조직을 이어받은 BCC 상이라고도 할 수 있다. 이 비교적 연질인 페라이트상을 5 ~ 95 % 로 하고, 섬 형상 마텐자이트를 미세 분산시킴으로써, 저항복비를 달성할 수 있다.

[0050] 또, 특히, $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 극저온 환경하에서의 인성은, 조대한 결정립, 특히, 방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 확정되는 결정립 중, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도에 크게 영향을 받는다.

이 점, 상기 (1) 과 같이, 페라이트 및 섬 형상 마텐자이트 이외의 잔부를 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종에 의해 구성하고, 또한, 상기 (2) 와 같이, 강관의 관두께 1/4 의 깊이 위치에 있어서의 마이크로 조직을 제어함으로써, 원하는 저온 인성을 달성할 수 있다.

[0051] 더불어, 상기 마이크로 조직을 얻기 위해서는, 성분 조성을 적정하게 조제한 다음에, 제조 조건을 적절히 제어하는, 특히, 상기 (2) 와 같이 마이크로 조직을 제어하기 위해서는,

[0052] · 제 1 가열 공정의 열처리에서의 재료 시간,

[0053] · 열간 압연 공정에서의 최종 압연 종료 온도,

[0054] · 렌칭 공정에서의 소정 온도역의 평균 냉각 속도 및 냉각 종료 온도, 그리고

[0055] · 냉각 공정에서의 소정 온도역의 평균 냉각 속도 및 냉각 종료 온도

[0056] 를 동시에 적절한 범위로 제어하는 것이 중요하다.

[0057] 본 발명은, 상기 지견에 기초하여, 더욱 검토를 더해 완성된 것이다.

- [0058] 즉, 본 발명의 요지 구성은 다음과 같다.
- [0059] 1. 질량% 로,
- [0060] C : 0.02 % 이상 0.15 % 이하,
- [0061] Si : 0.01 % 이상 0.50 % 이하,
- [0062] Mn : 0.05 % 이상 2.50 % 이하,
- [0063] Ni : 0.50 % 이상 5.00 % 미만,
- [0064] P : 0.03 % 이하,
- [0065] S : 0.0050 % 이하 및
- [0066] N : 0.0010 % 이상 0.0080 % 이하
- [0067] 를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인, 성분 조성을 갖고,
- [0068] 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에 있어서,
- [0069] 페라이트 분율이 5 ~ 95 % ,
- [0070] 섬 형상 마텐자이트 분율이 1 ~ 30 % 및
- [0071] 잔부가 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종이고,
- [0072] 방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 획정되는 결정립에 대해, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도가 200 개/ mm^2 이하인, 마이크로 조직을 갖는, 강판.
- [0073] 2. 상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,
- [0074] Cr : 2.00 % 이하,
- [0075] Mo : 1.0 % 이하,
- [0076] Al : 0.100 % 이하,
- [0077] Cu : 2.0 % 이하,
- [0078] Nb : 0.1 % 이하,
- [0079] V : 0.05 % 이하,
- [0080] Ti : 0.03 % 이하 및
- [0081] B : 0.0030 % 이하
- [0082] 에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 상기 1 에 기재된 강판.
- [0083] 3. 상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,
- [0084] Ca : 0.007 % 이하,
- [0085] REM : 0.010 % 이하 및
- [0086] Mg : 0.007 % 이하
- [0087] 에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 상기 1 또는 2 에 기재된 강판.
- [0088] 4. 상기 성분 조성이, 추가로, 질량% 로,
- [0089] Cr : 2.00 % 이하,
- [0090] Mo : 1.0 % 이하,
- [0091] Al : 0.100 % 이하,
- [0092] Cu : 2.0 % 이하,

- [0093] Nb : 0.1 % 이하,
- [0094] V : 0.05 % 이하,
- [0095] B : 0.0030 % 이하,
- [0096] Ca : 0.007 % 이하,
- [0097] REM : 0.010 % 이하 및
- [0098] Mg : 0.007 % 이하
- [0099] 에서 선택되는 1 종 이상을 함유하는, 상기 1 에 기재된 강판.
- [0100] 5. 상기 1, 2, 3 또는 4 에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재를, 열처리로에 있어서 가열하는, 제 1 가열 공정과,
- [0101] 이어서, 상기 강 소재를 열간 압연하여 열연 강판으로 하는, 열간 압연 공정과,
- [0102] 이어서, 상기 열연 강판에 켈칭을 실시하는, 켈칭 공정과,
- [0103] 이어서, 상기 열연 강판을 가열하는, 제 2 가열 공정과,
- [0104] 이어서, 상기 열연 강판을 냉각하는, 냉각 공정을 구비하고,
- [0105] 상기 제 1 가열 공정에서는,
- [0106] 상기 열처리로에서의 균열 온도 : 900 °C 이상 1250 °C 이하 및
- [0107] 상기 열처리로에서의 재료 시간 : 600 분 이하이고,
- [0108] 상기 열간 압연 공정에서는, 상기 열연 강판의 표면에서,
- [0109] 마무리 온도 : 1000 °C 이하 700 °C 이상이고,
- [0110] 상기 켈칭 공정에서는, 상기 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
- [0111] 600 °C ~ 300 °C 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 : 3 °C/s 이상 및
- [0112] 냉각 종료 온도 : 300 °C 이하이고,
- [0113] 상기 제 2 가열 공정에서는, 상기 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
- [0114] 가열 온도 : A_{c1} 점 이상 A_{c3} 점 미만이고,
- [0115] 상기 냉각 공정에서는, 상기 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서,
- [0116] 700 °C ~ 500 °C 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 : 3 °C/s 이상 및
- [0117] 냉각 종료 온도 : 500 °C 이하 200 °C 이상인, 강판의 제조 방법.

발명의 효과

- [0118] 본 발명에 의하면, 고가의 니켈강을 대체하는, 고강도이고 또한 저항복비이며, 저온 인성도 우수한 강판, 구체적으로는, TS : 690 MPa 이상, YR : 0.8 이하 및 $vE_{-70\text{ }^\circ\text{C}}$: 100 J 이상의 강판이 얻어진다. 또한, 본 발명의 강판은, 저온 환경하에서 사용되는 강 구조물, 예를 들어, 선박용을 비롯한 액화 CO₂ 탱크나 LPG 탱크 등의 대형 액화 가스 저장용 탱크에 사용할 수 있고, 니켈강을 사용하는 경우와 비교하여, 제조 비용을 대폭 삭감할 수 있다. 그 때문에, 본 발명은, 산업상 각별한 효과를 가져온다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0119] (1) 강판
- [0120] 이하, 본 발명의 일 실시형태에 따른 강판에 대해 구체적으로 설명한다. 또한, 이하의 설명은, 본 발명의 바람직한 실시형태를 나타내는 것으로서, 본 발명은 이것으로 한정되지 않는다.

- [0121] [성분 조성]
- [0122] 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 성분 조성에 대해, 설명한다. 또, 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 제조 방법에서 사용하는 강 소재도, 이하의 성분 조성을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 특별히 언급하지 않는 한, 본 명세서에 있어서, 각 원소의 함유량의 단위로서의 「%」는 「질량%」를 의미한다.
- [0123] C : 0.02 % 이상 0.15 % 이하
- [0124] C 는, 강관의 강도를 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서, C 함유량은 0.02 % 이상으로 한다. C 함유량은, 바람직하게는 0.03 % 이상이다. 한편, C 함유량이 0.15 % 를 초과하면, 강관의 섬 형상 마텐자이트의 양이 과잉이 되어, 저온 인성이 저하된다. 그 때문에, C 함유량은 0.15 % 이하로 한다. C 함유량은, 바람직하게는 0.12 % 이하이다.
- [0125] Si : 0.01 % 이상 0.50 % 이하
- [0126] Si 는, 탈산제로서의 작용을 갖는 원소이다. 이 효과를 발현시키기 위해서, Si 함유량은 0.01 % 이상으로 한다. Si 함유량은, 바람직하게는 0.03 % 이상이다. 한편, Si 함유량이 과잉으로 되면, 인성이 저하된다. 그 때문에, Si 함유량은 0.50 % 이하로 한다. Si 함유량은, 바람직하게는 0.30 % 이하이다.
- [0127] Mn : 0.05 % 이상 2.50 % 이하
- [0128] Mn 은, 강의 퀴칭성을 높여, 강관의 고강도화에 유효한 원소이다. 이 효과를 얻기 위해, Mn 함유량은 0.05 % 이상으로 한다. Mn 함유량은, 바람직하게는 0.10 % 이상이다. 한편, Mn 함유량이 2.50 % 를 초과하면, 인성을 열화시킨다. 그 때문에, Mn 함유량은 2.50 % 이하로 한다. Mn 함유량은, 바람직하게는 2.00 % 이하이다.
- [0129] Ni : 0.50 % 이상 5.00 % 미만
- [0130] Ni 는, 강관의 저온 인성의 향상에 유효한 원소이다. 그 때문에, Ni 함유량은 0.50 % 이상으로 한다. 한편, Ni 는 고가의 원소이다. 그 때문에, Ni 함유량이 높아짐에 따라, 강관 비용이 상승한다. 따라서, Ni 함유량은 5.00 % 미만으로 한다. Ni 함유량은, 바람직하게는 0.80 % 이상이다. 또, Ni 함유량은, 바람직하게는 3.50 % 이하이다.
- [0131] P : 0.03 % 이하
- [0132] P 는, 불가피적 불순물이며, 강관의 저온 인성에 악영향을 미치는 유해한 원소이다. 예를 들어, 강관을 용접할 때에 건전한 모재 및 용접 이음매를 얻기 위해서는, P 를 가능한 한 저감하는 것이 바람직하다. 그 때문에, P 함유량은 0.03 % 이하로 한다. 또, 저온 인성의 향상의 관점에서는, P 함유량은 낮으면 낮을수록 좋다. 그 때문에, P 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않고, 0 % 여도 된다. 단, P 가 불가피 불순물로서 함유되는 것은 허용된다. 또, P 의 과도한 저감은, 비용 증가의 원인이 된다. 그 때문에, 비용의 관점에서는, P 함유량은 0.001 % 이상이 바람직하다.
- [0133] S : 0.0050 % 이하
- [0134] S 는, 강 중에서 MnS 를 형성하고, 저온 인성을 크게 열화시킨다. 그 때문에, S 함유량은 0.0050 % 를 상한으로 하고, S 를 가능한 한 저감하는 것이 바람직하다. S 함유량은, 바람직하게는 0.0020 % 이하이다. 또, S 함유량은 낮으면 낮을수록 좋다. 그 때문에, S 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않고, 0 % 여도 된다. 단, S 가 불가피 불순물로서 함유되는 것은 허용된다. 또, S 의 과도한 저감은, 비용 증가의 원인이 된다. 그 때문에, 비용의 관점에서는, S 함유량은 0.0001 % 이상이 바람직하다.
- [0135] N : 0.0010 % 이상 0.0080 % 이하
- [0136] N 은, 강 중에서 석출물을 형성한다. 특히, N 함유량이 0.0080 % 를 초과하면, 모재의 인성 저하의 원인이 된다. 단, N 은, AlN 을 형성함으로써, 모재의 세립화에 기여하는 원소이기도 하다. 이와 같은 효과는, N 함유량을 0.0010 % 이상으로 함으로써 얻어진다. 따라서, N 함유량은 0.0010 % 이상 0.0080 % 이하로 한다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0020 % 이상이다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0060 % 이하이다.
- [0137] 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 성분 조성은, 상기한 소정량의 원소에 더해, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 것으로 할 수 있다.

- [0138] 또, 본 발명 다른 실시형태에 있어서는, 상기 성분 조성이, 임의로,
- [0139] Cr, Mo, Al, Cu, Nb, V, Ti 및 B 에서 선택되는 1 종 이상, 그리고,
- [0140] Ca, REM 및 Mg 에서 선택되는 1 종 이상
- [0141] 중 일방 또는 양방을, 바람직하게는 이하에 기재하는 양으로 추가로 함유할 수 있다.
- [0142] 또, 본 발명 다른 실시형태에 있어서는, 상기 성분 조성이, 임의로,
- [0143] Cr, Mo, Al, Cu, Nb, V, B, Ca, REM 및 Mg 에서 선택되는 1 종 이상을, 바람직하게는 이하에 기재하는 양으로 추가로 함유할 수 있다.
- [0144] Cr : 2.00 % 이하
- [0145] Cr 은, 저온 인성을 크게 해치는 일 없이, 강관의 강도를 향상시키는 원소이다. 상기 효과를 얻으려면, Cr 함유량은 0.01 % 이상이 바람직하다. Cr 함유량은, 보다 바람직하게는 0.30 % 이상이다. 그러나, Cr 함유량이 2.00 % 를 초과하면, 강관의 저온 인성이 저하될 우려가 있다. 그 때문에, Cr 을 함유시키는 경우, 그 함유량은 2.00 % 이하가 바람직하다. Cr 함유량은, 보다 바람직하게는 0.80 % 이하이다.
- [0146] Mo : 1.0 % 이하
- [0147] Mo 는, 강의 강도 향상에 기여하는 원소이며, 원하는 강도에 따라 임의로 함유시킬 수 있다. 그러나, Mo 함유량이 1.0 % 를 초과하면, 인성이 열화될 우려가 있다. 그 때문에, Mo 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 1.0 % 이하가 바람직하다. 또한, Mo 에 의한 강도 향상 효과를 얻는다는 관점에서는, Mo 함유량은 0.01 % 이상이 바람직하다.
- [0148] Al : 0.100 % 이하
- [0149] Al 은, 탈산제로서 작용하는 원소이며, 고장력강의 용강 탈산 프로세스에 있어서 범용적으로 사용된다. 상기 효과를 얻으려면, Al 함유량은 0.001 % 이상이 바람직하다. Al 함유량은, 0.010 % 이상이 보다 바람직하다. 한편, Al 함유량이 0.100 % 를 초과하면, 모재의 인성이 저하될 우려가 있다. 그 때문에, Al 을 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.100 % 이하가 바람직하다. Al 함유량은, 0.070 % 이하가 보다 바람직하다.
- [0150] Cu : 2.0 % 이하
- [0151] Cu 는, 고인성을 유지하면서, 강도를 증가시키는 것이 가능한 원소이며, 원하는 강도에 따라 임의로 함유시킬 수 있다. 그러나, Cu 함유량이 2.0 % 를 초과하면, 열간 취성을 일으켜 강관의 표면 성상이 열화될 우려가 있다. 그 때문에, Cu 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 2.0 % 이하가 바람직하다. Cu 함유량은 1.0 % 이하가 보다 바람직하다. 또한, 상기 효과를 얻기 위해서, Cu 함유량은 0.01 % 이상이 바람직하다. Cu 함유량은, 0.10 % 이상이 보다 바람직하고, 0.20 % 이상이 더욱 바람직하다.
- [0152] Nb : 0.1 % 이하
- [0153] Nb 는, 강의 강도 향상에 기여하는 원소이며, 원하는 강도에 따라 임의로 함유시킬 수 있다. 그러나, Nb 함유량이 0.1 % 를 초과하면, 모재 인성이 열화될 우려가 있다. 그 때문에, Nb 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.1 % 이하가 바람직하다. 또한, Nb 에 의한 강도 향상 효과를 얻는다는 관점에서는, Nb 함유량은 0.005 % 이상이 바람직하다.
- [0154] V : 0.05 % 이하
- [0155] V 는, 석출 강화에 의해 강관의 강도를 높이는 데에 유효한 원소이다. 그러나, V 함유량이 과잉으로 되면, 강관의 저온 인성이 저하될 우려가 있다. 그 때문에, V 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.05 % 이하가 바람직하다. V 함유량은, 보다 바람직하게는 0.04 % 이하이다. V 함유량의 하한은, 특별히 한정되지 않는다. 또, 상기 효과를 얻으려면, V 함유량은 0.010 % 이상이 바람직하다.
- [0156] Ti : 0.03 % 이하
- [0157] Ti 는, 강관을 용접할 때, 모재의 기계적 특성을 저하시키지 않고 용접부의 인성을 높이는 효과를 갖는 원소이다. 그러기 위해서는, Ti 함유량은 0.003 % 이상이 바람직하다. 한편, Ti 함유량이 0.03 % 를 초과하면, 오히려 인성을 저하시킬 우려가 있다. 그 때문에, Ti 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.03 % 이하가

바람직하다.

- [0158] B : 0.0030 % 이하
- [0159] B 는, 미량 첨가로 퀘칭성을 높이는 원소이다. 이 효과를 유효하게 발현시키기 위해서는, B 함유량은 0.0003 % 이상이 바람직하다. 한편, B 함유량이 0.0030 % 를 초과하면, 인성이 열화될 우려가 있다. 그 때문에, B 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.0030 % 이하가 바람직하다. B 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0025 % 미만이다.
- [0160] Ca : 0.007 % 이하
- [0161] Ca 는, 강 중의 개재물의 형태를 제어함으로써, 강관의 저온 인성을 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 그러나, Ca 가 과잉으로 되면, 강의 청정성을 해치고, 저온 인성, 특히 저온에서의 샤르피 흡수 에너지를 저하시킬 우려가 있다. 그 때문에, Ca 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.007 % 이하가 바람직하다. Ca 함유량은, 보다 바람직하게는 0.004 % 이하이다. 한편, Ca 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않는다. 상기 효과를 얻으려면, Ca 함유량은 0.001 % 이상이 바람직하다.
- [0162] REM : 0.010 % 이하
- [0163] REM (희토류 금속) 은, Ca 와 마찬가지로, 강 중의 개재물의 형태를 제어함으로써, 강관의 저온 인성을 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 그러나, REM 이 과잉으로 되면, 강의 청정성을 해쳐, 저온 인성, 특히 저온에서의 샤르피 흡수 에너지가 저하될 우려가 있다. 그 때문에, REM 을 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.010 % 이하가 바람직하다. REM 함유량은, 보다 바람직하게는 0.008 % 이하이다. 한편, REM 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않는다. 상기 효과를 얻으려면, REM 함유량은 0.001 % 이상이 바람직하다.
- [0164] 여기서, REM 이란, 란타노이드의 15 원소에 Y 및 Sc 를 합한 17 원소의 총칭이다. 또, 이들 17 원소를, 단독으로 또는 조합하여 함유시킬 수 있다. 또한, REM 함유량은, 이들 17 원소의 합계 함유량을 의미한다.
- [0165] Mg : 0.007 % 이하
- [0166] Mg 는, Ca 나 REM 과 마찬가지로, 강 중의 개재물의 형태를 제어함으로써, 강관의 저온 인성을 향상시키는 효과를 갖는 원소이다. 그러나, Mg 가 과잉으로 되면, 강의 청정성을 해쳐, 저온 인성, 특히 저온에서의 샤르피 흡수 에너지가 저하될 우려가 있다. 그 때문에, Mg 를 함유시키는 경우, 그 함유량은 0.007 % 이하가 바람직하다. Mg 함유량은, 보다 바람직하게는 0.004 % 이하이다. 한편, Mg 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않는다. 상기 효과를 얻으려면, Mg 함유량은 0.001 % 이상이 바람직하다.
- [0167] [마이크로 조직]
- [0168] 다음으로, 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 마이크로 조직에 대해, 설명한다. 또한, 마이크로 조직은, 후술하는 바와 같이, 강관의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서 측정한다.
- [0169] 페라이트 분율 : 5 ~ 95 %
- [0170] 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관은, 페라이트 분율이 5 ~ 95 %, 섬 형상 마텐자이트 분율이 1 ~ 30 %, 잔부가 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트의 1 종 또는 2 종인 상 구성을 갖는다. 여기서, 페라이트 분율이 5 % 미만인 경우, 원하는 항복비가 얻어지지 않는다. 한편, 페라이트 분율이 95 % 초과인 경우, 섬 형상 마텐자이트 등 경질상의 분율이 낮아져, 역시 원하는 항복비가 얻어지지 않는다. 그 때문에, 페라이트 분율은, 5 ~ 95 % 로 한다. 페라이트 분율은, 바람직하게는 10 % 이상, 보다 바람직하게는 15 % 이상이다. 또, 페라이트 분율은, 바람직하게는 90 % 이하, 보다 바람직하게는 85 % 이하이다.
- [0171] 섬 형상 마텐자이트 분율 : 1 ~ 30 %
- [0172] 또, 섬 형상 마텐자이트 분율이 1 % 미만인 경우, 원하는 항복비가 얻어지지 않는다. 한편, 섬 형상 마텐자이트 분율이 30 % 초과인 경우, 저온 인성이 저하된다. 그 때문에, 섬 형상 마텐자이트 분율은, 1 ~ 30 % 로 한다. 섬 형상 마텐자이트 분율은, 바람직하게는 2 % 이상, 보다 바람직하게는 3 % 이상이다. 또, 섬 형상 마텐자이트 분율은, 바람직하게는 28 % 이하, 보다 바람직하게는 26 % 이하이다.
- [0173] 잔부 : 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트의 1 종 또는 2 종
- [0174] 페라이트 및 섬 형상 마텐자이트 이외의 잔부가, 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종이 아닌 경우, 예를 들어, 퀘칭 상태 그대로의 마텐자이트 (이하, 간단히, 마텐자이트라고도 한다) 인 경우, 원하는 저

온 인성이 얻어지지 않는다. 그 때문에, 페라이트 및 섬 형상 마텐자이트 이외의 잔부는, 베이나이트 및 템퍼드 마텐자이트 중 1 종 또는 2 종으로 한다.

[0175] 또한, 각 상의 분율은, 후술하는 실시예에 기재하는 요령에 의해, 측정할 수 있다. 여기서 말하는 각 상의 분율이란, 조직 전체에 대해 각 상이 차지하는 면적 비율 (면적률) 이다.

[0176] 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립의 개수 밀도 : 200 개/ mm^2 이하

[0177] 상기 서술한 바와 같이, $-50\text{ }^\circ\text{C} \sim -70\text{ }^\circ\text{C}$ 의 극저온 환경하에서의 인성은, 조대한 결정립, 특히, 원 상당 직경으로 30 μm 초과와 결정립 (이하, 조대 결정립이라고도 한다) 의 수에 크게 영향을 받는다. 특히, 조대 결정립의 수를 저감함으로써, 저온 인성이 대폭 향상된다. 그 때문에, 조대 결정립의 개수 밀도는 200 개/ mm^2 이하로 한다. 이로써, 원하는 저온 인성을 실현하는 것이 가능해진다. 조대 결정립의 개수 밀도는, 바람직하게는 150 개/ mm^2 이하이다. 조대 결정립의 개수 밀도의 하한은 특별히 한정되는 것이 아니고, 0 개/ mm^2 여도 된다. 단, 공업적으로 실시하는 관점에서는, 조대 결정립의 개수 밀도는 10 개/ mm^2 이상이 바람직하다.

또, 여기서 말하는 결정립은, 방위차 15 도 이상의 대각 입계에 의해 확정되는 결정립이다 (방위차 15 도 이상의 대각 입계에 둘러싸이는 각 영역을, 각 결정립으로 한다.). 또, 조대 결정립의 개수 밀도는, 후술하는 실시예에 기재하는 요령에 의해, 측정할 수 있다.

[0178] 또한, 조대 결정립의 개수 밀도는, 결정립의 평균 입경과 반드시 상관하는 것은 아니다. 즉, 조대 결정립은, 강관의 결정립이 균일하게 조대화하여 발생한다기 보다는, 열처리의 과정에서 결정립이 국소적으로 조대화하고, 그것이 최종 제품의 강관의 조직에 잔존한다는 것이다. 그 때문에, 비록 결정립의 평균 입경이 5 μm 이하여도, 조대 결정립이 국소적으로 존재하여 그 개수 밀도가 200 개/ mm^2 초과가 되는 경우가 있다. 그리고, 이 경우에는, 극저온 환경하, 예를 들어, $-70\text{ }^\circ\text{C}$ 에서의 우수한 인성은 얻어지지 않는다. 또한, 조대 결정립의 수를 저감하려면, 상기와 같이 성분 조성을 적절하게 조제한 다음에, 제조 조건, 특히,

[0179] · 제 1 가열 공정의 열처리로에서의 재로 시간,

[0180] · 열간 압연 공정에서의 최종 압연 종료 온도,

[0181] · 렌칭 공정에서의 소정 온도역의 평균 냉각 속도 및 냉각 종료 온도, 그리고

[0182] · 냉각 공정에서의 소정 온도역의 평균 냉각 속도 및 냉각 종료 온도

[0183] 를 동시에 적절히 제어하는 것이 매우 중요하다.

[0184] 또, 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 판두께는, 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 강관의 판두께는, 6 mm 이상 50 mm 이하가 바람직하다.

[0185] [기계적 특성]

[0186] (인장 강도)

[0187] 강관의 인장 강도는, 예를 들어, 690 MPa 이상이 바람직하다. 왜냐하면, 탱크에 적용할 때의 판두께를 얇게 할 수 있기 때문이다. 강관의 인장 강도는, 보다 바람직하게는 720 MPa 이상이다. 인장 강도의 상한에 대해서는, 특별히 한정할 필요는 없다. 강관의 인장 강도는, 예를 들어, 1000 MPa 이하가 바람직하다.

[0188] 또한, 인장 강도는, 후술하는 실시예에 기재한 방법으로 측정할 수 있다.

[0189] (항복비)

[0190] 강관의 항복비는, 예를 들어, 0.80 이하가 바람직하다. 왜냐하면, 용접 후 열처리 대신에, 기계적 응력 제거가 가능해지기 때문이다.

[0191] 또한, 항복비는, 후술하는 실시예에 기재한 방법으로 측정할 수 있다.

[0192] (저온 인성)

[0193] 강관의 저온 인성에 대해, $vE_{-70\text{ }^\circ\text{C}}$ 가 100 J 이상인 것이 바람직하다. $vE_{-70\text{ }^\circ\text{C}}$ 는, 보다 바람직하게는 150 J 이상이다.

[0194] 또한, $vE_{-70\text{ }^\circ\text{C}}$ 는, 풀 사이즈 샤르피 충격 시험, 예를 들어, 후술하는 실시예에 기재한 방법으로 측정할 수 있다.

- [0195] (2) 강관의 제조 방법
- [0196] 다음으로, 본 발명의 일 실시형태에 따른 강관의 제조 방법에 대해 구체적으로 설명한다. 또한, 이하의 설명에 있어서는, 특별히 언급하지 않는 한, 온도는, 강관 또는 강 소재의 관두께 중앙의 온도를 가리키는 것으로 한다. 관두께 중앙 및 관두께 1/4 의 깊이 위치의 온도는, 예를 들어, 방사 온도계로 측정된 강관의 표면 온도로부터, 전열 계산에 의해 구할 수 있다.
- [0197] 즉, 이하의 공정을 순차 실시함으로써, 본 발명의 강관을 바람직하게 제조할 수 있다.
- [0198] (1) 제 1 가열 공정
- [0199] (2) 열간 압연 공정
- [0200] (3) 퀴칭 (가속 냉각) 공정
- [0201] (4) 제 2 가열 공정
- [0202] (5) 냉각 공정
- [0203] (1) 제 1 가열 공정
- [0204] 먼저, 상기 서술한 성분 조성을 갖는 강 소재를, 준비한다. 또한, 강 소재의 준비 방법은, 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어, 상기 서술한 성분 조성을 갖는 용강을 통상적인 방법에 의해 용제하고, 주조함으로써 준비할 수 있다. 이 용제는, 전로, 전기로, 유도로 등, 임의의 방법에 의해 실시할 수 있다. 또, 주조는, 생산성의 관점에서 연속 주조법으로 실시하는 것이 바람직하지만, 조괴-분해 압연법에 의해 실시할 수도 있다. 강 소재로는, 예를 들어, 강 슬래브를 사용할 수 있다.
- [0205] 이어서, 준비한 강 소재를, 이하의 조건으로, 열처리로에 있어서 가열한다.
- [0206] [가열로에서의 균열 온도 : 900 °C 이상 1250 °C 이하]
- [0207] 가열로에서의 균열 시간 (이하, 균열 시간이라고도 한다) 은, 900 °C 이상 1250 °C 이하로 한다. 여기서, 균열 시간이 900 °C 미만이면, 강 소재의 변형 저항이 높기 때문에, 후공정의 열간 압연 공정에 있어서 압연기에 대한 부하가 증대되어, 열간 압연을 실시하는 것이 곤란해질 우려가 있다. 그 때문에, 균열 온도는 900 °C 이상으로 한다. 균열 온도는, 바람직하게는 950 °C 이상이다. 한편, 균열 온도가 1250 °C 보다 높으면 강의 산화가 현저해져, 산화에 의해 발생한 산화막을 제거하는 것에 의한 로스가 증대된다. 그 결과, 수율이 저하될 우려가 있다. 그 때문에, 균열 온도는 1250 °C 이하로 한다. 균열 온도는, 바람직하게는 1200 °C 이하이다.
- [0208] 여기서, 균열 온도란, 가열로에서의 강 소재 전체의 (목표) 도달 온도이며, 가열로의 설정 온도라고 할 수도 있다.
- [0209] [가열로에서의 재로 시간 : 600 분 이하]
- [0210] 가열로에서의 재로 시간 (이하, 재로 시간이라고도 한다) 은, 600 분 이하로 한다. 재로 시간이 600 분을 초과하면, 국소적인 조대 결정립의 발생, 나아가서는 최종 제품에서의 조대 결정립의 잔존을 초래한다. 그 결과, 원하는 조대 결정립의 개수 밀도를 실현할 수 없게 된다. 그 때문에, 재로 시간은 600 분 이하로 한다. 재로 시간은, 바람직하게는 580 분 이하, 보다 바람직하게는 560 분 이하이다. 재로 시간의 하한은, 특별히 한정되지 않는다. 재로 시간은, 예를 들어, 가열로의 조업 부하의 관점에서, 60 분 이상이 바람직하다.
- [0211] 여기서, 재로 시간이란, 열간 압연을 위한 (열간 압연의 전공정의) 가열을 실시하는 열처리로에, 강 소재를 반송하고 나서 반출될 때까지의 시간이다. 또한, 열처리로에는, 일반적인 열처리로를 사용할 수 있다.
- [0212] 또한, 균열 시간은, 특별히 한정되지 않는다. 균열 시간은, 예를 들어, 강 소재의 변형 저항을 저감하여 압연성을 높이는 관점에서, 10 ~ 200 분이 바람직하다. 여기서, 균열 시간이란, 균열 온도 ± 30 °C 의 범위로 강 소재 전체의 온도가 유지되고 있는 시간이다.
- [0213] 또, 상기 강 소재의 가열은, 주조 등의 방법에 의해 얻은 강 소재를 일단 냉각한 후에 행해도 되고, 또는, 얻어진 강 소재를 냉각하지 않고 직접, 행해도 된다.

- [0214] (2) 열간 압연 공정
- [0215] 이어서, 강 소재를, 이하의 조건으로, 열간 압연하여 열연 강판으로 한다.
- [0216] [마무리 온도 (최종 압연 종료 온도) : 1000 °C 이하 700 °C 이상]
- [0217] 열간 압연의 마무리 온도가 700 °C 미만이면, 강 소재의 변형 저항이 높아져, 압연기에 대한 부하가 증대된다. 그 결과, 열간 압연을 실시하는 것이 곤란해진다. 한편, 마무리 온도가 1000 °C 를 초과하면, 미세한 조직이 얻어지지 않고, 조대 결정립이 잔존하고, 저온 인성이 저하된다. 그 때문에, 마무리 온도는 1000 °C 이하 700 °C 이상으로 한다. 마무리 온도는, 바람직하게는 980 °C 이하, 보다 바람직하게는 960 °C 이하이다. 여기서, 마무리 온도는, 열연 강판의 표면에서의 온도이다.
- [0218] 또한, 열연 강판의 최종 관두께는 특별히 한정되지 않는다. 열연 강판의 최종 관두께는, 예를 들어, 상기술한 바와 같이, 6 mm 이상 50 mm 이하가 바람직하다.
- [0219] (3) 퀴칭 (가속 냉각) 공정
- [0220] 이어서, 열연 강판에 퀴칭 (가속 냉각) 을 실시한다. 이 때, 600 °C ~ 300 °C 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 (이하, 퀴칭 속도라고도 한다) 를 3 °C/s 이상으로 하고, 냉각 종료 온도를 300 °C 이하로 하는 것이 중요하다.
- [0221] [퀴칭 속도 : 3 °C/s 이상]
- [0222] 퀴칭 속도가 3 °C/s 미만이면, 원하는 변태 조직을 얻기 어렵고, 충분한 강도를 얻는 것이 곤란해진다. 그 때문에, 퀴칭 속도를 3 °C/s 이상으로 한다. 퀴칭 속도는, 바람직하게는 4 °C/s 이상, 보다 바람직하게는 5 °C/s 이상이다. 한편, 퀴칭 속도의 상한은 특별히 한정되지 않는다. 단, 퀴칭 속도가 200 °C/s 보다 높으면 강판 내의 각 위치에 있어서의 온도 제어가 곤란해진다. 이로써, 강판의 판폭 방향 및 압연 방향으로 재질의 편차가 나오기 쉬워진다. 그 결과, 인장 특성 및 인성 등의 재료 특성에 편차가 생기기 쉬워진다. 그 때문에, 퀴칭 속도는 200 °C/s 이하가 바람직하다. 또한, 여기서 말하는 온도 및 퀴칭 속도는 각각, 열연 강판의 관두께 1/4 의 깊이 위치에서의 온도 및 당해 위치에서의 온도 변화로부터 산출되는 속도이다.
- [0223] [냉각 종료 온도 : 300 °C 이하]
- [0224] 또, 퀴칭 공정에 있어서, 냉각 정지 온도가 300 °C 보다 높으면 원하는 변태 조직이 얻어지지 않게 된다. 따라서, 냉각 정지 온도는 300 °C 이하로 한다. 이와 같은 조건에서 가속 냉각을 함으로써, 열연 강판이 양호하게 퀴칭된다. 또, 냉각 정지 온도의 하한에 대해서는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 냉각 정지 온도는 0 °C 이상이 바람직하다. 여기서 말하는 온도는, 열연 강판의 관두께 1/4 의 깊이 위치에서의 온도이다.
- [0225] 또한, 퀴칭 공정에 있어서의 냉각 처리는, 특별히 한정되지 않고 임의의 방법으로 실시할 수 있다. 예를 들어, 공랭 및 수랭의 일방 또는 양방을 사용할 수 있다. 수랭으로는, 물을 사용한 임의의 냉각 방법 (예를 들어, 스프레이 냉각, 미스트 냉각, 라미나 냉각 등) 을 사용할 수 있다.
- [0226] (4) 제 2 가열 공정
- [0227] 이어서, 열연 강판을, 이하의 조건에서 가열한다.
- [0228] [가열 온도 : A_{C1} 점 이상 A_{C3} 점 미만]
- [0229] 제 2 가열 공정의 가열 온도는, A_{C1} 점 이상 A_{C3} 점 미만으로 한다. 바꾸어 말하면, 제 2 가열 공정에서는, 2 상역 온도에 대한 가열을 실시한다. 가열 온도가 A_{C1} 점 미만에서는, 충분한 양의 섬 형상 마텐자이트가 얻어지지 않고, 원하는 저항복비를 달성할 수 없다. 한편, 가열 온도가 A_{C3} 점 이상에서는, 페라이트 분율이 5 % 미만이고 템퍼드 마텐자이트 분율이 90 % 초과가 되어, 역시 원하는 저항복비를 달성할 수 없다. 또한, 여기서 말하는 온도는, 열연 강판의 관두께 1/4 의 깊이 위치에서의 온도이다.
- [0230] 여기서, 제 2 가열 공정에서의 가열에는, 가열 온도를 상기 범위로 제어할 수 있는 방법이면, 임의의 가열 방법을 사용할 수 있다. 가열 방법의 일례로는, 열처리로에 의한 가열 (이하, 노 가열이라고도 한다) 을 들 수 있다. 노 가열에 사용하는 열처리로는, 특별히 한정되지 않고, 일반적인 열처리로를 사용할 수 있다.

- [0231] 상기 가열 온도에 도달한 후에는, 2 상역 온도인 A_{C1} 점 이상 A_{C3} 점 미만의 온도역에 있어서 임의의 시간, 예를 들어, 10 ~ 120 분 유지한 후, 냉각을 개시해도 된다.
- [0232] 또한, A_{C1} 점은, 다음 (1) 식에 의해 구할 수 있다.
- [0233] A_{C1} 점 ($^{\circ}C$) = $750.8-26.6 \times C + 17.6 \times Si - 11.6 \times Mn - 22.9 \times Cu - 23 \times Ni + 24.1 \times Cr + 22.5 \times Mo - 39.7 \times V - 5.7 \times Ti + 232.4 \times Nb - 169.4 \times Al \dots$ (1)
- [0234] 또, A_{C3} 점은, 다음의 (2) 식에 의해 구할 수 있다.
- [0235] A_{C3} 점 ($^{\circ}C$) = $937.2-436.5 \times C + 56 \times Si - 19.7 \times Mn - 16.3 \times Cu - 26.6 \times Ni - 4.9 \times Cr + 38.1 \times Mo + 124.8 \times V + 136.3 \times Ti - 19.1 \times Nb + 198.4 \times Al + 3315 \times B \dots$ (2)
- [0236] 상기 기재한 (1) 식 및 (2) 식에 있어서의 원소 기호는, 강판의 성분 조성의 각 원소의 함유량 (질량%) 이다. 또한, 당해 원소가 포함되지 않는 경우에는, 당해 원소의 함유량은 「0」으로서 계산한다.
- [0237] (5) 냉각 공정
- [0238] 이어서, 열연 강판을, 이하의 조건에서 냉각한다.
- [0239] [700 $^{\circ}C$ ~ 500 $^{\circ}C$ 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 : 3 $^{\circ}C/s$ 이상]
- [0240] 700 $^{\circ}C$ ~ 500 $^{\circ}C$ 의 온도역에서의 평균 냉각 속도 (이하, 간단히 평균 냉각 속도라고도 한다) 가 3 $^{\circ}C/s$ 미만에서는, 원하는 변태 조직이 얻어지지 않고, 강도 및 저온 인성이 저하될 우려가 있다. 그 때문에, 평균 냉각 속도는 3 $^{\circ}C/s$ 이상으로 한다. 평균 냉각 속도는, 바람직하게는 4 $^{\circ}C/s$ 이상, 보다 바람직하게는 5 $^{\circ}C/s$ 이상이다. 한편, 평균 냉각 속도의 상한은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 평균 냉각 속도는 200 $^{\circ}C/s$ 이하가 바람직하다. 또한, 여기서 말하는 온도 및 평균 냉각 속도는 각각, 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치에서의 온도 및 당해 위치에서의 온도 변화로부터 산출되는 속도이다.
- [0241] [냉각 종료 온도 : 500 $^{\circ}C$ 이하 200 $^{\circ}C$ 이상]
- [0242] 냉각 종료 온도가 500 $^{\circ}C$ 초과가 되면, 당해 냉각 공정 종료 후의 실온까지의 냉각, 예를 들어, 공랭에 의한 냉각시 (이하, 간단히 공랭시라고도 한다) 에, 섬 형상 마텐자이트가 분해되어, 원하는 저항복비가 얻어지지 않는다. 한편, 냉각 종료 온도가 200 $^{\circ}C$ 미만에서는, 공랭시에 원하는 템퍼링 효과가 얻어지지 않고, 인성이 열화된다. 그 때문에, 냉각 종료 온도는, 500 $^{\circ}C$ 이하 200 $^{\circ}C$ 이상으로 한다. 또한, 여기서 말하는 온도는, 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치의 온도이다.
- [0243] (6) 실온까지의 냉각 (자기 템퍼링)
- [0244] 상기 냉각 공정의 후, 열연 강판을 실온까지 냉각한다. 냉각 방법은 특별히 한정되지 않고, 예를 들어, 공랭에 의해 실시하면 된다. 이로써, 자기 템퍼링이 발생하여 인성이 더욱 향상된다. 또한, 공랭에 의한 냉각 속도는, 예를 들어, 판두께 : 6 ~ 50 mm 정도의 열연 강판인 경우, 통상, 1 $^{\circ}C/s$ 이하가 된다. 또한, 여기서 말하는 냉각 속도는, 열연 강판의 판두께 1/4 의 깊이 위치의 온도 변화로부터 산출되는 속도이다.
- [0245] 상기한 이외의 조건에 대해서는 특별히 한정되지 않고, 통상적인 방법에 따르면 된다.
- [0246] 실시예
- [0247] 이하에 서술하는 순서로 강판을 제조하고, 그 특성을 평가하였다.
- [0248] 먼저, 표 1 에 나타내는 성분 조성 (잔부가 Fe 및 불가피적 불순물) 을 갖는 용강을 전로에서 용제하고, 연속 주조법에 의해 강 소재로서의 강 슬래브 (두께 : 200 mm) 를 제조하였다. 또, 상기 기재한 (1) 식 및 (2) 식에 의해 구한 A_{C1} 점 ($^{\circ}C$) 및 A_{C3} 점 ($^{\circ}C$) 을 표 1 에 병기한다.

표 1

강종	성분 조성 (질량%)																Ac ₁ 점 (°C)	Ac ₃ 점 (°C)		
	C	Si	Mn	Ni	P	S	N	Cr	Mo	Al	Cu	Nb	V	Ti	B	Ca			REM	Mg
A	0.08	0.22	1.21	1.45	0.01	0.0010	0.0025												705	852
B	0.02	0.30	1.95	2.21	0.01	0.0005	0.0028												682	848
C	0.03	0.15	2.45	1.85	0.01	0.0006	0.0022												682	835
D	0.14	0.15	0.81	1.65	0.01	0.0008	0.0027												702	825
E	0.07	0.01	1.35	1.75	0.01	0.0010	0.0031												693	834
F	0.07	0.45	0.89	1.85	0.01	0.0010	0.0032												704	865
G	0.12	0.35	0.06	3.50	0.01	0.0009	0.0025												673	810
H	0.08	0.02	1.21	2.11	0.03	0.0010	0.0025												686	823
I	0.11	0.12	1.10	1.84	0.01	0.0050	0.0021												695	825
J	0.09	0.05	1.85	0.50	0.01	0.0010	0.0025												716	851
K	0.06	0.05	1.20	4.50	0.01	0.0010	0.0019												633	770
L	0.06	0.15	1.21	1.25	0.01	0.0010	0.0025	0.55	0.45	0.008			0.03	0.01	0.0010	0.0015		730	863	
M	0.08	0.21	0.94	2.05	0.01	0.0010	0.0022	0.35	0.35		0.5	0.01	0.05			0.0021		700	851	
N	0.18	0.31	0.89	1.15	0.01	0.0009	0.0026												715	828
O	0.01	0.30	1.95	2.21	0.01	0.0005	0.0028												682	852
P	0.07	0.62	0.89	1.85	0.01	0.0010	0.0032												707	875
Q	0.14	0.32	2.25	0.35	0.01	0.0010	0.0024												719	840
R	0.11	0.21	0.02	1.25	0.01	0.0010	0.0024												723	867
S	0.09	0.26	2.80	1.11	0.01	0.0010	0.0028												695	828
T	0.11	0.05	1.35	0.85	0.04	0.0005	0.0019												714	843
U	0.11	0.05	1.35	1.31	0.04	0.0060	0.0025												703	831
V	0.09	0.15	0.87	1.85	0.01	0.0010	0.0105												698	840
W	0.09	0.15	0.87	1.85	0.01	0.0010	0.0005			0.008									697	842
X	0.09	0.25	1.55	2.00	0.01	0.0008	0.0032	0.45											700	826
Y	0.07	0.15	1.85	2.25	0.01	0.0010	0.0026		0.40										687	834
Z	0.06	0.25	1.55	2.55	0.01	0.0009	0.0039		0.030										672	833
AA	0.08	0.25	1.35	1.95	0.01	0.0010	0.0025				0.35								685	832
BB	0.09	0.15	1.45	2.15	0.01	0.0010	0.0030				0.01								687	820
CC	0.07	0.15	1.75	1.95	0.01	0.0010	0.0029					0.05							684	835
DD	0.08	0.20	1.75	1.45	0.01	0.0009	0.0027						0.01						698	842
EE	0.06	0.15	1.85	2.35	0.01	0.0008	0.0026												676	823
FF	0.09	0.20	1.70	2.15	0.01	0.0009	0.0028	0.45	0.35							0.0015		701	830	

값들은 본 발명의 범위 밖인 것을 나타낸다.

[0249]

[0250]

다음으로, 표 2 에 나타낸 조건에 따라서, (1) 제 1 가열 공정, (2) 열간 압연 공정, (3) 퀴칭 (가속 냉각) 공정, (4) 제 2 가열 공정 및 (5) 냉각 공정을 실시하고, 각 관두께 (최종 관두께) 를 갖는 강관 (열연 강관) 을 얻었다. 또한, (5) 냉각 공정 종료 후, 모두 열연 강관을 공랭에 의해 실온까지 냉각하였다. 또, 명기하고 있지 않는 조건에 대해서는, 일반 기재부 및 통상적인 방법에 따른 것으로 하였다. 표 2 의 No. 10 에서는, (2) 열간 압연 공정 후, 방랭에 의해 실온까지 냉각하였다.

표 2

No.	강종	제조 조건									비고
		(1) 제 1 가열 공정		(2) 열간 압연 공정		(3) 퀴칭 공정		(4) 제 2 가열 공정	(5) 냉각 공정		
		균열 온도 (°C)	재로 시간 (분)	판두께 (mm)	마무리 온도 (°C)	퀴칭 속도 (°C/s)	냉각 종료 온도 (°C)	가열 온도 (°C)	평균 냉각 속도 (°C/s)	냉각 종료 온도 (°C)	
1	A	1150	250	40	850	15	200	800	15	350	발명에
2	A	1250	500	25	950	30	200	790	15	350	발명에
3	A	950	160	25	750	30	200	810	15	350	발명에
4	A	1120	450	30	900	25	150	730	25	450	발명에
5	A	1050	240	30	850	25	150	840	25	300	발명에
6	A	1200	550	40	1050	15	200	790	15	400	비교예
7	A	1100	550	40	800	15	450	810	15	450	비교예
8	A	1050	450	40	900	15	250	690	15	350	비교예
9	A	1100	400	40	870	15	150	870	15	300	비교예
10	A	1100	550	40	950	0.5	-	790	15	300	비교예
11	A	1150	550	40	750	15	150	820	0.5	300	비교예
12	A	1090	300	40	800	15	200	810	15	100	비교예
13	A	1120	550	40	820	15	200	830	15	550	비교예
14	B	1120	250	12	800	5	200	800	50	450	발명에
15	C	1100	200	40	820	15	150	780	15	400	발명에
16	D	1070	170	40	810	15	200	770	15	350	발명에
17	E	1120	500	30	900	25	200	790	25	400	발명에
18	F	1170	450	40	870	15	200	800	15	360	발명에
19	G	1100	400	20	800	35	150	790	35	400	발명에
20	H	1200	400	40	850	15	200	780	15	320	발명에
21	I	1100	350	40	820	15	100	800	15	350	발명에
22	J	1150	400	40	870	15	200	830	15	350	발명에
23	K	1150	250	40	800	15	200	720	15	230	발명에
24	L	1100	250	40	800	15	200	830	15	350	발명에
25	M	1080	250	40	820	15	200	810	15	300	발명에
26	N	1100	200	40	800	15	200	790	15	300	비교예
27	O	1080	200	40	750	15	250	820	15	350	비교예
28	P	1120	300	40	850	15	200	830	15	400	비교예
29	Q	1070	250	40	850	15	200	800	15	400	비교예
30	R	1150	380	40	880	15	200	830	15	350	비교예
31	S	1100	250	40	820	15	200	790	15	320	비교예
32	T	1160	300	40	860	15	200	820	15	400	비교예
33	U	1200	200	40	800	15	200	810	15	300	비교예
34	V	1150	300	40	850	15	200	820	15	300	비교예
35	W	1150	550	40	950	15	150	830	15	350	비교예
36	A	1250	700	40	900	15	150	800	15	300	비교예
37	X	1150	300	40	900	15	200	770	15	350	발명에
38	Y	1150	300	40	850	15	200	800	15	300	발명에
39	Z	1100	450	40	900	15	150	790	15	300	발명에
40	AA	1150	300	40	800	15	150	780	15	350	발명에
41	BB	1100	500	40	950	15	200	770	15	400	발명에
42	CC	1150	350	40	900	15	150	810	15	300	발명에
43	DD	1150	300	40	900	15	150	800	15	350	발명에
44	EE	1100	300	40	850	15	200	780	15	400	발명에
45	FF	1150	500	40	900	15	150	800	15	350	발명에

밑줄은 본 발명의 범위 밖인 것을 나타낸다.

[0251]

[0252]

이렇게 하여 얻어진 각 강판에 대해, 이하의 요령으로, 마이크로 조직, 인장 강도 (TS), 항복비 (YR) 및 -70 °C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 (vE_{-70 °C}) 를 측정하였다. 측정 결과를 표 3 에 나타낸다.

[0253]

[마이크로 조직]

[0254]

각 강판으로부터, 강판의 관두께 1/4 의 깊이 위치가 관찰 위치가 되도록, 마이크로 조직 관찰용의 시험편을 채취하였다. 이 시험편을, 압연 방향과 수직인 단면이 관찰면이 되도록, 수지에 매립하였다. 이어서, 시험편의 관찰면에 대해, 경면 연마하고, 이어서, 나이탈 부식을 실시하였다. 이어서, 시험편의 관찰면을, 배율 : 5000 배의 주사형 전자 현미경으로 관찰하고, 마이크로 조직의 화상을 촬영하였다. 얻어진 화상을 해석하여, 각 상의 분율을 산출하였다. 각 상의 동정은, 이하와 같이 하여 실시하였다.

[0255]

· 템퍼드 마텐자이트 : 시멘타이트를 포함하는 모상

- [0256] · 섬 형상 마텐자이트 : 시멘타이트를 포함하지 않는, 원 상당 직경 1 μm 이하의 경질상
- [0257] · 렌칭 상태 그대로의 마텐자이트 : 시멘타이트를 포함하지 않는, 원 상당 직경 1 μm 초과와 경질상
- [0258] · 베이나이트 : 조직 내에 섬 형상 마텐자이트가 생성되어 있는 모상
- [0259] · 페라이트 : 상기 이외의 모상
- [0260] 또한, 섬 형상 마텐자이트에는, 잔류 오스테나이트가 포함될 수 있다. 상기 각 상의 내부에는, 석출물이 포함될 수 있다. 각 상의 분율은, 이들을 포함하여 산출하는 것으로 한다.
- [0261] 또, 상기 시험편을 사용하여, 전자선 후방 산란 회절 측정 (이하, EBSD 측정이라고도 한다) 에 의해 조직 해석을 실시하였다. EBSD 측정에서는, 스텝 사이즈를 0.1 μm , 측정 영역을 토탈로 1 mm \times 1 mm 로 하였다. 그리고, 얻어진 결정 방위 데이터로부터 방위차 15 도 이상의 대각 입계를 결정립계로 하여, 각 결정립을 확정하였다. 그리고, 각 결정립의 면적으로부터 각 결정립의 원 상당 직경 (직경) 을 산출하였다. 이어서, 원 상당 직경이 30 μm 초과인 결정립의 개수를 카운트 하고, 그 개수를 측정 영역의 토탈의 면적으로 나눔으로써, 조대 결정립의 개수 밀도를 구하였다.
- [0262] [인장 강도]
- [0263] [항복비]
- [0264] 각 강관의 관두께 1/4 의 깊이 위치로부터, 압연 방향과 수직으로 JIS 4 호 인장 시험편을 채취하였다. 이 인장 시험편을 사용하고, JIS Z 2241 의 규정에 준거한 인장 시험을 실시하고, 강관의 인장 강도 (TS) 및 항복 강도 (YS) 를 측정하였다. 또, 다음 식에 의해, 항복비 (YR) 를 산출하였다. 측정 결과를 표 3 에 나타낸다.
- [0265] $YR = YS/TS$
- [0266] 그리고, TS : 690 MPa 이상이면, 합격으로 하였다. 또, YR : 0.80 이하이면, 합격으로 하였다.
- [0267] [저온 인성]
- [0268] 각 강관의 관두께 1/4 의 깊이 위치로부터, 압연 방향과 평행하게 JIS Z 2202 의 규정에 준거하여 V 노치 시험편을 채취하였다. 이 V 노치 시험편을 사용하고, JIS Z 2242 의 규정에 준거하여 샤르피 충격 시험을 실시하고, -70 $^{\circ}\text{C}$ 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 ($vE_{-70\text{ }^{\circ}\text{C}}$) 를 구하였다. 샤르피 흡수 에너지는, 강관의 저온 인성의 지표가 되는 것이다. 샤르피 충격 시험은, 각 강관에 있어서 3 개의 시험편을 채취하여 측정을 실시하였다. 개개의 측정치와 평균치를 표 3 에 나타낸다. 이 풀 사이즈의 샤르피 충격 시험에 있어서, 모든 시험편의 $vE_{-70\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 가 100 J 이상이면, 저온 인성이 우수한 것이라고 평가하고, 합격으로 하였다.

표 3

No.	강종	마이크로 조직				기계적 특성						비고
		페라이트 분율 (%)	섬 형상 마텐자이트 분율 (%)	잔부 조직*	조대 결정립의 개수 밀도 (개/mm ²)	TS (MPa)	YR (%)	vE _{70℃} (J) 개 값 (1회째)	vE _{70℃} (J) 개 값 (2회째)	vE _{70℃} (J) 개 값 (3회째)	vE _{70℃} (J) 평균치	
1	A	40	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	750	0.71	255	245	250	250	발명예
2	A	45	20	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	160	700	0.71	190	180	200	190	발명예
3	A	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	30	780	0.74	202	220	230	217	발명예
4	A	80	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	110	710	0.72	180	170	190	180	발명예
5	A	5	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	780	0.78	210	220	230	220	발명예
6	A	45	20	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	210	700	0.71	90	160	70	107	비교예
7	A	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	210	720	0.71	80	180	150	137	비교예
8	A	100	0	-	110	720	0.85	180	170	190	180	비교예
9	A	0	5	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	90	740	0.85	210	220	220	217	비교예
10	A	45	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	205	650	0.72	110	160	120	130	비교예
11	A	40	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	210	640	0.74	120	160	110	130	비교예
12	A	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	45	770	0.68	80	210	120	137	비교예
13	A	25	5	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	210	710	0.75	80	210	70	120	비교예
14	B	40	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	820	0.78	200	210	220	210	발명예
15	C	40	8	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	45	730	0.73	220	230	240	230	발명예
16	D	55	25	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	35	740	0.71	220	210	240	223	발명예
17	E	40	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	120	770	0.73	180	170	190	180	발명예
18	F	35	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	80	750	0.72	210	230	220	220	발명예
19	G	20	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	60	720	0.75	220	240	240	233	발명예
20	H	40	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	60	730	0.72	160	170	160	163	발명예
21	I	25	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	45	740	0.73	160	170	150	160	발명예
22	J	30	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	80	750	0.74	210	200	200	203	발명예
23	K	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	40	770	0.75	255	260	256	257	발명예
24	L	45	20	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	900	0.71	245	250	260	252	발명예
25	M	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	55	920	0.69	255	260	245	253	발명예
26	N	35	35	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	780	0.68	80	70	80	77	비교예
27	O	25	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	45	650	0.78	240	235	240	238	비교예
28	P	30	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	60	730	0.73	90	70	60	73	비교예
29	Q	35	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	720	0.72	90	90	90	90	비교예
30	R	30	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	90	640	0.71	180	160	170	170	비교예
31	S	40	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	45	820	0.73	70	60	65	65	비교예
32	T	10	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	70	750	0.72	60	50	50	53	비교예
33	U	20	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	40	760	0.71	60	50	60	57	비교예
34	V	10	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	60	740	0.71	90	60	70	73	비교예
35	W	10	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	205	730	0.70	80	150	150	127	비교예
36	A	30	20	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	220	760	0.72	90	160	150	133	비교예
37	X	30	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	90	760	0.74	220	230	250	233	발명예
38	Y	20	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	80	800	0.71	215	255	220	230	발명예
39	Z	30	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	90	750	0.71	220	240	230	230	발명예
40	AA	35	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	90	780	0.72	240	210	200	217	발명예
41	BB	30	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	100	780	0.74	220	210	210	213	발명예
42	CC	10	10	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	80	760	0.76	230	220	220	223	발명예
43	DD	20	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	70	750	0.71	250	240	200	230	발명예
44	EE	25	20	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	50	800	0.77	240	210	230	227	발명예
45	FF	20	15	베이나이트/템퍼드 마텐자이트	150	830	0.75	230	210	210	217	발명예

*
 템퍼드 마텐자이트: 시멘타이트를 포함하는 모상 (조직 내에 탄화물이 석출된 상태)
 마텐자이트: 시멘타이트를 포함하지 않는, 원 상당 직경 1 μm 초과의 결정상 (조직 내에 탄화물이 석출되어 있지 않은 상태)
 베이나이트: 조직 내에 섬 형상 마텐자이트가 생성되어 있는 조직

[0269]

[0270]

표 3 에 나타낸 바와 같이, 발명예에서는 모두, 고강도이고 또한 저항복비이며, 저온 인성도 우수한 강관, 구체 적으로는, TS : 690 MPa 이상, YR : 0.80 이하 및 vE_{70℃} : 100 J 이상의 강관이 얻어졌다.

[0271]

한편, 비교예에서는, TS, YR 및 vE_{70℃} 중의 적어도 하나가, 충분하지 않았다.