



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0004851
(43) 공개일자 2025년01월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 38/44 (2006.01) B21C 37/15 (2006.01)
 C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/42 (2006.01)
 C22C 38/46 (2006.01) C22C 38/48 (2006.01)
 C22C 38/50 (2006.01) C22C 38/54 (2006.01)
 C22C 38/60 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
 C22C 38/44 (2013.01)
 B21C 37/15 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7038702
- (22) 출원일자(국제) 2023년05월15일
 심사청구일자 2024년11월21일
- (85) 번역문제출일자 2024년11월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/018030
- (87) 국제공개번호 WO 2023/233980
 국제공개일자 2023년12월07일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2022-090799 2022년06월03일 일본(JP)

- (71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시카가이사
 일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자
이와타 나오미치
 일본국 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이사 치테키자 이산부 나이
- 마츠모토 아키히데**
 일본국 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이사 치테키자 이산부 나이
- 이데 신스케**
 일본국 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이사 치테키자 이산부 나이
- (74) 대리인
이철

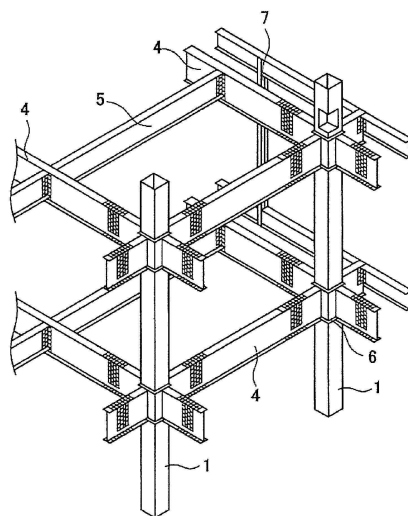
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **열연 강판, 각형 강관, 그들의 제조 방법 및 건축 구조물**

(57) 요약

강도 및 저온 인성이 우수한 열연 강판, 각형 강관, 그들의 제조 방법 및 건축 구조물을 제공한다. 소정의 성분 조성을 갖고, 판두께 중심부 및 판 표리면의 강 조직이, 페라이트로 이루어지는 주상과, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 6~25%, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖고, 판두께 중심부에 있어서 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 판두께 중앙부의 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m, 원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 결정립이 면적률로 20% 이하, 또한, 장경과 단경의 비(= (장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고, 강판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차가 40HV 이하이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C21D 8/0226 (2013.01)

C21D 8/0263 (2013.01)

C22C 38/04 (2013.01)

C22C 38/42 (2013.01)

C22C 38/46 (2013.01)

C22C 38/48 (2013.01)

C22C 38/50 (2013.01)

C22C 38/54 (2013.01)

C22C 38/60 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량%로,

C: 0.07% 이상 0.20% 이하,

Si: 0.40% 이하,

Mn: 0.20% 이상 1.00% 이하,

P: 0.100% 이하,

S: 0.050% 이하,

Al: 0.005% 이상 0.100% 이하,

N: 0.0100% 이하,

를 함유하고,

혹은 추가로,

Nb: 0.005% 이상 0.020% 이하,

Ti: 0.005% 이상 0.020% 이하,

V: 0.01% 이상 0.10% 이하,

Cr: 0.01% 이상 0.50% 이하,

Mo: 0.01% 이상 0.50% 이하,

Cu: 0.01% 이상 0.30% 이하,

Ni: 0.01% 이상 0.30% 이하,

Ca: 0.0005% 이상 0.0100% 이하,

B: 0.0003% 이상 0.0100% 이하

중으로부터 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하고,

Mn과 Si의 함유량이 하기 (1)식을 만족하고,

잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,

관두께 중심부 및 관 표리면의 강 조직이,

페라이트로 이루어지는 주상과, 펄라이트 및 의사(擬似) 펄라이트의 합계의 면적률이 6~25%이고, 상부 베이나 이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖고,

상기 관두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때,

상기 관두께 중심부의 상기 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m이고,

원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 상기 결정립이 면적률로 20% 이하이고, 또한,

단경에 대한 장경의 비인 (장경)/(단경)이 3.0 이상인 상기 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고,

관 표리면으로부터 관두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 관두께 중심부의 경도차가 40HV 이하인, 열연 강판.

$$1.0 \leq \%Mn / \%Si \leq 3.5 \quad \dots (1)$$

여기에서, %Mn, %Si는 각 원소의 함유량(질량%)이다.

청구항 2

제1항에 있어서,
 항복 강도가 250MPa 이상이고,
 인장 강도가 400MPa 이상이고,
 항복비가 0.75 이하이고,
 -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 100J 이상이고,
 연성-취성 전이 온도가 -20℃ 이하인, 열연 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 강 조직은, 면적물로, 상기 의사 펄라이트를 5~15% 갖는, 열연 강판.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
 판두께가 20mm 이상인, 열연 강판.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 기재된 열연 강판의 제조 방법으로서,
 강 소재를, 가열 온도: 1100℃ 이상 1300℃ 이하로 가열한 후,
 조압연 종료 온도: 850℃ 이상 1150℃ 이하, 마무리 압연 종료 온도: 750℃ 이상 850℃ 이하, 또한 930℃ 이하에서의 합계 압하율: 40% 이상 59% 이하인 열간 압연을 실시하는 열간 압연 공정과,
 이어서, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 V_c (℃/s) 및 판 표리면에서 두께 방향 1.0mm 깊이까지의 판 표층부의 평균 냉각 속도 V_s (℃/s)에 대해서, 하기 (2)식 및 (3)식을 만족하고,
 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 사이에 열연 강판을 5초 이상 공냉하고, 판두께 중심부의 냉각 정지 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하로 냉각을 실시하는 냉각 공정과,
 이어서, 판두께 중심 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하에서 권취하는 권취 공정을 포함하는, 열연 강판의 제조 방법.

$$2 \leq V_c \leq 15 \quad \dots (2)$$

$$V_s / V_c \leq 2.0 \quad \dots (3)$$

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 기재된 열연 강판을 소재로 하는, 각형 강판.

청구항 7

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 기재된 열연 강판을 냉간에서 롤 성형함으로써 각형 강판을 얻는, 각형 강판의 제조 방법.

청구항 8

제6항에 기재된 각형 강판이 기둥체로서 이용되는 건축 구조물.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 열연 강관 및, 당해 열연 강관을 소재로 하여 냉간에서 롤 성형에 의해 제조되는 각형 강관(rectangular steel pipe)(모서리 칼럼(rectangular column))에 관한 것이다. 특히 대형 건축물의 건축 구조 부재에 적합하게 이용되는 각형 강관에 관한 것이다. 또한, 이 각형 강관을 이용하여 얻어지는 건축 구조물에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 예를 들면, 공장, 창고, 상업 시설 등의 대형 건축물(이하, 건축물이라고 칭함)에 이용되는 건축 구조 부재는, 경량화에 의한 시공 비용 삭감을 위해, 고강도화가 진행되고 있다. 특히, 건축물의 기둥재로서 이용되는 평판부와 모서리부를 갖는 각형 강관(모서리 칼럼)에서는, 평판부에 높은 강도가 요구되고 있다. 동시에, 건축 구조 부재에 이용되는 각형 강관은, 내진성의 관점에서, 우수한 인성을 구비하는 것도 요구된다.

[0003] 각형 강관은, 일반적으로 열연 강관(열연 강대) 또는 후강관을 소재로 하고, 이 소재를 냉간에서 성형함으로써 제조된다. 냉간에서 성형하는 방법으로서, 냉간에서 프레스 굽힘 성형하는 방법 혹은 냉간에서 롤 성형하는 방법이 있다.

[0004] 소재를 롤 성형하여 제조되는 각형 강관(이하, 롤 성형 각형 강관이라고 칭하는 경우도 있음)은, 열연 강관을 냉간에서 롤 성형하여 원통 형상의 오픈관으로 하고, 그의 맞댐 부분을 진봉 용접한다. 그 후, 오픈관의 상하 좌우에 배치된 롤에 의해, 원통 형상의 오픈관(환형 강관)에 대하여 관축 방향으로 수%의 드로잉을 가하고(drawn), 계속해서 각형으로 성형하여 각형 강관을 제조한다. 한편, 소재를 프레스 굽힘 성형하여 제조되는 각형 강관(이하, 프레스 성형 각형 강관이라고 칭하는 경우도 있음)은, 후강관을 냉간에서 프레스 굽힘 성형하여 단면 형상을 \square 자형(4각 형상) 혹은 \sqsubset 자형(U자 형상)으로 하고, 이들을 서브머지 아크 용접(submerged arc welding)에 의해 접합하여 제조한다.

[0005] 롤 성형 각형 강관의 제조 방법은, 프레스 성형 각형 강관의 제조 방법과 비교하여 생산성이 높고, 단기간에서의 제조가 가능하다는 이점이 있다. 그러나, 프레스 성형 각형 강관에서는, 평판부에는 냉간 성형이 가해지지 않고 모서리부만이 가공 경화하는 데에 대하여, 롤 성형 각형 강관에서는, 특히 원통 형상으로 냉간 성형할 때에 강관 전체 둘레에 걸쳐 관축 방향으로 큰 가공 변형이 도입된다. 그 때문에, 롤 성형 각형 강관은 모서리부 뿐만 아니라 평판부에 있어서도 관축 방향의 항복비가 높고, 인성이 낮다는 문제가 있다.

[0006] 또한, 롤 성형 각형 강관은, 두께가 클수록 롤 성형 시의 가공 경화가 커지기 때문에, 항복비는 보다 높아지고, 인성은 보다 저하한다. 그 때문에, 특히 후속의 롤 성형 각형 강관을 제조하는 경우에는, 롤 성형에 의한 항복비의 상승 및 인성의 저하에도 견딜 수 있는 바와 같은 소재를 선택할 필요가 있다.

[0007] 이러한 요구에 대하여, 예를 들면, 특허문헌 1에는, 중량%로, C를 0.20% 이하 함유하고, 추가로 Mn: 0.40~0.90%, Nb: 0.005~0.040% 및 Ti: 0.005~0.050% 중 1종 또는 2종을 함유하는 강 소재를, 미재결정 온도역에 있어서의 압하율 55% 이상, 압연 종료 온도 730~830℃, 권취 온도 550℃ 이하의 열연에 의해 코일로 하는 열연 공정에 의해, 강관 성형 공정에 있어서의 외주 길이 드로잉을 판두께의 3배 이하로 함으로써, 항복비가 90% 이하이고 시험 온도 0℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 27J 이상인 각형 강관이 제안되어 있다.

[0008] 특허문헌 2에는, 질량%로, C: 0.07~0.18%, Mn: 0.3~1.5%를 포함하는 강을, 가열 온도: 1100~1300℃로 가열한 후, 조압연(rough rolling) 종료 온도: 1150~950℃로 하는 조압연과 마무리 압연 개시 온도: 1100~850℃, 마무리 압연 종료 온도: 900~750℃로 하는 마무리 압연을 실시한 후, 표면 온도로 냉각 정지 온도가 550℃ 이상이 되도록 냉각하는 1차 냉각과, 3~15s 사이 공냉하는 2차 냉각과, 판두께 중앙부 온도로 750~650℃의 온도역의 평균 냉각 속도가 4~15℃/s가 되는 냉각 속도로 650℃ 이하까지 냉각하는 3차 냉각을 실시하고, 강 조직에 포함되는 제2상 빈도의 값을 0.20~0.42로 함으로써, 80% 이하의 저항복비를 나타내고 시험 온도: 0℃에서 샤르피 충격 시험의 흡수 에너지가 150J 이상인 기계적 특성을 구비하는 각형 강관이 제안되어 있다.

[0009] 특허문헌 3에는, 질량%로, C: 0.07~0.18%, Mn: 0.3~1.5%를 포함하는 강을, 가열 온도: 1100~1300℃로 가열한 후, 이어서 조압연 종료 온도: 1150~950℃로 하는 조압연과 마무리 압연 개시 온도: 1100~850℃, 마무리 압연 종료 온도: 900~750℃로 하는 마무리 압연을 실시한 후, 표면 온도로 750~650℃의 온도역의 평균 냉각

속도가 20℃/s 이하, 판두께 중심부 온도가 650℃에 도달하기까지의 시간이 35s 이내이고 또한 판두께 중심부의 750~650℃의 온도역의 평균 냉각 속도가 4~15℃/s가 되도록, 500~650℃의 권취 온도까지 냉각함으로써, 80% 이하의 저항복비를 나타내고 시험 온도: 0℃에서 샤르피 충격 시험의 흡수 에너지가 150J 이상인 기계적 특성을 구비하는 각형 강관이 제안되어 있다.

[0010] 특허문헌 4에는, 질량%로, C: 0.07~0.20%, Mn: 0.3~2.0%, P: 0.03% 이하, S: 0.015% 이하, Al: 0.01~0.06%, N: 0.006% 이하를 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 강을, 가열 온도: 1100~1300℃로 가열한 후, 이어서 조압연 종료 온도: 1150~950℃로 하는 조압연과 마무리 압연 개시 온도: 1100~850℃, 마무리 압연 종료 온도: 900~750℃로 하는 마무리 압연을 실시한 후, 판두께 중심 온도로 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 평균 냉각 속도가 4~25℃/s가 되는 냉각 속도로 냉각 정지 온도: 580℃ 이하까지 냉각을 실시하고, 냉각 개시에서 10s 사이인 초기 냉각 공정에 있어서 0.2s 이상 3.0s 미만의 방냉 공정을 1회 이상 갖고, 그 후 권취 온도: 580℃ 이하에서 권취를 행한 후, 방냉함으로써 판두께 중심부의 강 조직이, 페라이트로 이루어지는 주상(主相)과, 펄라이트, 의사(擬似) 펄라이트(degenerate pearlite) 및 상부 베이나이트로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상으로 이루어지고 면적률이 8~20%인 제2상을 갖고, 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 평균 결정 입경이 7~20 μ m이고, 판두께 표리면의 강 조직이, 페라이트 단상 또는 베이니틱 펄라이트 단상이고, 평균 결정 입경이 2~20 μ m가 되고, 90% 이하의 저항복비를 나타내고, 시험 온도: 0℃에서의 샤르피 충격 시험의 흡수 에너지가 27J 이상인 기계적 특성을 구비하는 각형 강관이 제안되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평9-87743호
- (특허문헌 0002) 일본특허 제5594165호 공보
- (특허문헌 0003) 일본특허 제5589885호 공보
- (특허문헌 0004) 일본특허 제6388091호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 여기에서, 냉간에서의 롤 성형에 의해 제조되는 각형 강관은, 그의 두께가 커질수록, 또는, 변의 길이가 작아질수록 각형 강관에 도입되는 가공 변형이 증가하고, 항복비의 상승과 인성의 저하가 보다 커진다. 그 때문에, 소재가 되는 열연 강관에는, 성형 시의 항복비의 상승을 억제하는 강 조직과, 큰 가공 변형에 의한 인성의 악화에 견딜 수 있는 우수한 저온 인성을 구비하는 것이 필요하다. 그러나, 상기의 특허문헌 1~3에서 개시된 방법으로 제조되는 각형 강관에서는, 특히 판두께가 25mm를 초과하는 경우에, 항복비가 높아져 버려 항복비 90% 이하를 만족할 수 없다는 문제가 있다.

[0013] 특허문헌 4에 기재된 기술에서는, 저항복비 및 고인성을 얻기 위해서는, 판 표리면의 강 조직이 페라이트 단상 또는 베이니틱 펄라이트 단상일 필요가 있고, 펄라이트나 의사 펄라이트의 생성을 억제하기 위해, 열연 강관을 제조할 때의 냉각 공정에서 급냉하는 등, 제조 가능한 설비나 조건이 제약된다는 과제가 있다.

[0014] 본 발명은, 상기의 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 항복 강도 및 인장 강도가 높고, 항복비가 낮고, 저온 인성이 우수한 열연 강관, 당해 열연 강관을 이용한 각형 강관, 그들의 제조 방법 및 상기 각형 강관을 이용한 건축 구조물을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0015] 여기에서, (1) 항복 강도가 높은 것, (2) 인장 강도가 높은 것, (3) 항복비가 낮은 것이란, 인장 방향이 압연 방향과 평행해지도록 채취한 JIS5호 인장 시험편을 이용하여, JIS Z 2241(2011)의 규정에 준거한 인장 시험에 의해, 순서대로, (1) 항복 강도가 250MPa 이상인 것, (2) 인장 강도가 400MPa 이상인 것, (3) 항복비가 0.75 이하인 것을 가리킨다.

[0016] 또한, 저온 인성이 우수하다는 것은, JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거하여, 판두께 t의 t/2 위치(판두께 중심부)에 있어서, 시험편 길이 방향이 압연 방향과 평행해지도록 채취한 V 노치 표준 시험편을 이용하여, 시험

온도: -80℃, -60℃, -40℃, -20℃, 0℃에서 샤르피 충격 시험을 행하고, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 100J 이상, 연성-취성 전이 온도가 -20℃ 이하인 것을 가리킨다.

[0017] 또한, 본 발명에 있어서의 각형 강관이란, 인장 방향이 관축 방향과 평행해지도록, 채취한 JIS5호 인장 시험편을 이용하여, JIS Z 2241(2011)의 규정에 준거한 인장 시험에 의해, 평판부에 있어서의 항복 강도가 295MPa 이상이고, 평판부에 있어서의 인장 강도가 400MPa 이상이고, 평판부에 있어서의 항복비가 0.90 이하인 것, 또한, JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거하여, 관 외면으로부터 두께 t의 t/4 위치에 있어서, 시험편 길이 방향이 관축 방향과 평행해지도록 채취한 V 노치 표준 시험편을 이용하여, 시험 온도: -60℃, -40℃, -20℃, 0℃, +20℃에서 샤르피 충격 시험을 행하고, 평판부의 -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 40J 이상이고, 평판부의 연성-취성 전이 온도가 -5℃ 이하인 각형 강관을 가리킨다.

과제의 해결 수단

[0018] 본 발명자들은 상기 과제를 해결하기 위해 예의 검토를 행했다. 그 결과, 이하의 인식 (1)~(3)을 얻었다.

[0019] (1) 열연 강관이, 본 발명에서 목적으로 하는 항복 강도 및 인장 강도를 만족하기 위해서는, C의 함유량을 0.07 질량% 이상으로 할 필요가 있다. 또한, 열연 강관의 관두께 중심부 및 판 표리면에 있어서의 주철 조직(주상)을 페라이트로 할 필요가 있다.

[0020] (2) 열연 강관이, 상기 (1)을 만족하는 강 조직에 있어서, 추가로 본 발명에서 목적으로 하는 저온 인성과 항복비를 얻기 위해서는, 상기 (1)에 더하여, 펄라이트, 의사 펄라이트 및 베이나이트로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상으로 이루어지는 제2상을 갖고, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률을 6~25%, 상부 베이나이트의 면적률을 5% 이하로 하고, 관두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0μm, 원상당 지름으로 40.0μm 이상인 결정립이 면적률로 20% 이하, 또한, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고, 판 표리면으로부터 관두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 관두께 중심부의 경도차를 40HV 이하로 하는 것이 필요하다.

[0021] (3) 상기의 강 조직을 얻기 위해서는, 성분 조성을 적절한 범위로 조정하고, 또한, Mn과 Si의 함유량을 특정의 범위로 제어하는 것, 추가로 열간 압연 공정 후의 냉각 공정에 있어서의 냉각 정지 온도 및 권취 온도를 적절한 범위로 조정하는 것이 필요하다.

[0022] 본 발명은, 이들 인식에 기초하여 완성된 것으로서, 하기의 요지로 이루어진다.

[0023] [1] 질량%로,

[0024] C: 0.07% 이상 0.20% 이하,

[0025] Si: 0.40% 이하,

[0026] Mn: 0.20% 이상 1.00% 이하,

[0027] P: 0.100% 이하,

[0028] S: 0.050% 이하,

[0029] Al: 0.005% 이상 0.100% 이하,

[0030] N: 0.0100% 이하,

[0031] 를 함유하고,

[0032] 혹은 추가로,

[0033] Nb: 0.005% 이상 0.020% 이하,

[0034] Ti: 0.005% 이상 0.020% 이하,

[0035] V: 0.01% 이상 0.10% 이하,

[0036] Cr: 0.01% 이상 0.50% 이하,

[0037] Mo: 0.01% 이상 0.50% 이하,

- [0038] Cu: 0.01% 이상 0.30% 이하,
- [0039] Ni: 0.01% 이상 0.30% 이하,
- [0040] Ca: 0.0005% 이상 0.0100% 이하,
- [0041] B: 0.0003% 이상 0.0100% 이하
- [0042] 중으로부터 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하고,
- [0043] Mn과 Si의 함유량이 하기 (1)식을 만족하고,
- [0044] 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,
- [0045] 판두께 중심부 및 판 표리면의 강 조직이,
- [0046] 페라이트로 이루어지는 주상과, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 6~25%이고, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖고,
- [0047] 상기 판두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때,
- [0048] 상기 판두께 중심부의 상기 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m이고,
- [0049] 원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 상기 결정립이 면적률로 20% 이하이고, 또한,
- [0050] 단경에 대한 장경의 비인 (장경)/(단경)이 3.0 이상인 상기 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고,
- [0051] 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차가 40HV 이하인, 열연 강판.
- [0052] $1.0 \leq \%Mn / \%Si \leq 3.5 \dots (1)$
- [0053] 여기에서, %Mn, %Si는 각 원소의 함유량(질량%)이다.
- [0054] [2] 항복 강도가 250MPa 이상이고,
- [0055] 인장 강도가 400MPa 이상이고,
- [0056] 항복비가 0.75 이하이고,
- [0057] -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 100J 이상이고,
- [0058] 연성-취성 전이 온도가 -20℃ 이하인, 상기 [1]에 기재된 열연 강판.
- [0059] [3] 상기 강 조직은, 면적률로, 상기 의사 펄라이트를 5~15% 갖는, 상기 [1] 또는 [2]에 기재된 열연 강판.
- [0060] [4] 판두께가 20mm 이상인, 상기 [1] 내지 [3] 중 어느 하나에 기재된 열연 강판.
- [0061] [5] 상기 [1] 내지 [4] 중 어느 하나에 기재된 열연 강판의 제조 방법으로서,
- [0062] 강 소재를, 가열 온도: 1100℃ 이상 1300℃ 이하로 가열한 후,
- [0063] 조압연 종료 온도: 850℃ 이상 1150℃ 이하, 마무리 압연 종료 온도: 750℃ 이상 850℃ 이하, 또한 930℃ 이하에서의 합계 압하율: 40% 이상 59% 이하인 열간 압연을 실시하는 열간 압연 공정과,
- [0064] 이어서, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 Vc(℃/s) 및 판 표리면에서 두께 방향 1.0mm 깊이까지의 판 표층부의 평균 냉각 속도 Vs(℃/s)에 대해서, 하기 (2)식 및 (3)식을 만족하고,
- [0065] 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 사이에 열연 강판을 5초 이상 공냉하고, 판두께 중심부의 냉각 정지 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하로 냉각을 실시하는 냉각 공정과,
- [0066] 이어서, 판두께 중심 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하에서 권취하는 권취 공정을 포함하는, 열연 강판의 제조 방법.
- [0067] $2 \leq Vc \leq 15 \dots (2)$
- [0068] $Vs/Vc \leq 2.0 \dots (3)$

- [0069] [6] 상기 [1] 내지 [4] 중 어느 하나에 기재된 열연 강판을 소재로 하는, 각형 강판.
- [0070] [7] 상기 [1] 내지 [4] 중 어느 하나에 기재된 열연 강판을 냉간에서 롤 성형함으로써 각형 강판을 얻는, 각형 강판의 제조 방법.
- [0071] [8] 상기 [6]에 기재된 각형 강판이 기둥재로서 이용되는 건축 구조물.

발명의 효과

- [0072] 본 발명에 의하면, 항복 강도 및 인장 강도가 높고, 항복비가 낮고, 저온 인성이 우수한 열연 강판, 당해 열연 강판을 이용한 각형 강판, 그들의 제조 방법 및 상기 각형 강판을 이용한 건축 구조물이 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0073] 도 1은, 본 발명의 각형 강판을 사용한 건축 구조물의 일 예를 개략적으로 나타내는 사시도이다.
- 도 2는, 본 발명에서 실시한 평판부 인장 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략도이다.
- 도 3은, 본 발명에서 실시한 샤르피 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0074] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0075] 이하, 본 발명에 대해서 상세하게 설명한다.
- [0076] <열연 강판>
- [0077] 본 발명의 열연 강판은, 질량%로, C: 0.07% 이상 0.20% 이하, Si: 0.40% 이하, Mn: 0.20% 이상 1.00% 이하, P: 0.100% 이하, S: 0.050% 이하, Al: 0.005% 이상 0.100% 이하, N: 0.0100% 이하를 함유하고, Mn과 Si의 함유량이 하기 (1)식을 만족하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고, 판두께 중심부 및 판 표리면의 강 조직이, 페라이트로 이루어지는 주상과, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 6~25%이고, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖고, 판두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 상기 판두께 중심부의 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m이고, 원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 상기 결정립이 판두께 중심부에 있어서의 강 조직 전체에 대하여 면적률로 20% 이하이고, 또한, 단경에 대한 장경의 비(장경과 단경의 비(=(장경)/(단경)))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고, 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차가 40HV 이하인 것을 특징으로 한다. 또한, 「열연 강판」에는, 열연 강판, 열연 강대를 포함하는 것으로 한다.

[0078] $1.0 \leq \%Mn / \%Si \leq 3.5 \dots (1)$

[0079] 여기에서, %Mn, %Si는 각 원소의 함유량(질량%)이다.

[0080] 이하에, 본 발명의 열연 강판의 성분 조성에 대해서 설명한다. 또한, 특별히 언급이 없는 한, 강 조성을 나타내는 「%」는 「질량%」이다.

[0081] C: 0.07% 이상 0.20% 이하

[0082] C는 고용 강화에 의해 강의 강도를 상승시키는 원소이다. 또한, C는, 제2상 중 하나인 펄라이트 및 의사 펄라이트의 형성에 기여하는 원소이다. 본 발명에서 목적으로 하는 강도 및 항복비를 확보하기 위해서는, 0.07% 이상의 C를 함유하는 것이 필요하다. 그러나, C 함유량이 0.20%를 초과하면, 경질상의 비율이 높아져 인성이 저하하고, 또한 항복비가 0.90을 초과하여 소망하는 항복비가 얻어지지 않게 된다. 또한, 용접성도 악화된다. 이 때문에, C 함유량은 0.07% 이상 0.20% 이하로 한다. C 함유량은, 바람직하게는 0.08% 이상이고, 보다 바람직하게는 0.10% 이상이다. 또한, C 함유량은, 바람직하게는 0.18% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.17% 이하이다.

[0083] Si: 0.40% 이하

[0084] Si는 고용 강화에 의해 강의 강도를 상승시키는 원소로서, 필요에 따라서 함유할 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, 0.01% 이상의 Si를 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, Si 함유량이 0.40%를 초과하면, 전봉 용접

부에 산화물이 생성하기 쉬워져, 용접부 특성이 저하한다. 또한 전봉 용접부 이외의 모재부의 인성도 저하한다. 이 때문에, Si 함유량은 0.40% 이하로 한다. Si 함유량은, 바람직하게는 0.01% 이상이고, 보다 바람직하게는 0.05% 이상이다. 또한, Si 함유량은, 바람직하게는 0.37% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.35% 이하이다.

[0085] Mn: 0.20% 이상 1.00% 이하

[0086] Mn은 고용 강화에 의해 강의 강도를 상승시키는 원소이다. 또한, Mn은 페라이트 변태 개시 온도를 저하시킴으로써 조직의 미세화에 기여하는 원소이다. 본 발명에서 목적으로 하는 강도 및 조직을 확보하기 위해서는, 0.20% 이상의 Mn을 함유하는 것이 필요하다. 그러나, Mn 함유량이 1.00%를 초과하면, 베이나이트의 생성량이 지나치게 많아짐으로써 항복비가 0.90을 초과하여, 소망하는 항복비가 얻어지지 않게 된다. 또한, Mn 함유량이 1.00%를 초과하면, 중심 편석부의 경도가 상승하여, 용접 시에 균열의 원인이 될 가능성이 있다. 이 때문에, Mn 함유량은 0.20% 이상 1.00% 이하로 한다. Mn 함유량은, 바람직하게는 0.25% 이상이고, 보다 바람직하게는 0.30% 이상이다. 또한, Mn 함유량은, 바람직하게는 0.95% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.90% 이하이다.

[0087] P: 0.100% 이하

[0088] P는, 입계(grain boundaries)에 편석하여 재료의 불균질을 초래하기 때문에, 불가피적 불순물로서 가능한 한 저감하는 것이 바람직하지만, 0.100%까지는 허용할 수 있다. 이 때문에, P 함유량은 0.100% 이하의 범위 내로 한다. P 함유량은, 바람직하게는 0.030% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.020% 이하이다. 또한, 특히 P의 하한은 규정하지 않지만, 과도한 저감은 제련 비용의 고등(高騰)을 초래하기 때문에, P는 0.002% 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0089] S: 0.050% 이하

[0090] S는, 강 중에서는 통상, MnS로서 존재하지만, MnS는, 열간 압연 공정에서 얇게 연신되어, 연성에 악영향을 미친다. 이 때문에, 본 발명에서는 S를 가능한 한 저감하는 것이 바람직하지만, 0.050%까지는 허용할 수 있다. 이 때문에, S 함유량은 0.050% 이하로 한다. S 함유량은, 바람직하게는 0.015% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.010% 이하이고, 보다 한층 바람직하게는 0.008% 이하이다. 또한, 특별히 S의 하한은 규정하지 않지만, 과도한 저감은 제련 비용의 고등을 초래하기 때문에, S는 0.001% 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0091] Al: 0.005% 이상 0.100% 이하

[0092] Al은, 강력한 탈산제로서 작용하는 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, 0.005% 이상의 Al을 함유하는 것이 필요하다. 그러나, Al 함유량이 0.100%를 초과하면 용접성이 악화됨과 함께, 알루미늄계 개재물이 많아져, 표면 성상이 악화된다. 또한 용접부의 인성도 저하한다. 이 때문에, Al 함유량은 0.005% 이상 0.100% 이하로 한다. Al 함유량은, 바람직하게는 0.010% 이상이고, 보다 바람직하게는 0.015% 이상이다. 또한, Al 함유량은, 바람직하게는 0.070% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.050% 이하이다.

[0093] N: 0.0100% 이하

[0094] N은, 불가피적 불순물이고, 전위의 운동을 강고하게 고착함으로써 인성을 저하시키는 작용을 갖는 원소이다. 본 발명에서는, N은 불순물로서 가능한 한 저감하는 것이 바람직하지만, N의 함유량은 0.0100%까지는 허용할 수 있다. 이 때문에, N 함유량은 0.0100% 이하로 한다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0080% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.0040% 이하이고, 보다 한층 바람직하게는 0.0035% 이하이다. 또한, 과도한 저감은 제련 비용의 고등을 초래하기 때문에, N 함유량은 0.0010% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0015% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다.

[0095] $1.0 \leq \%Mn / \%Si \leq 3.5 \dots (1)$

[0096] 여기에서, %Mn, %Si는 각 원소의 함유량(질량%)이다.

[0097] 본 발명에서는, Mn과 Si의 함유량을 전술한 범위로 하고, 또한, (1)식으로서 $1.0 \leq \%Mn / \%Si \leq 3.5$ 를 만족하는 것이 필요하다. 본 관계식을 만족함으로써, 후술하는 바와 같은, 펄라이트 및/또는 의사 펄라이트의 면적률이 6~25%, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖는 강 조직을 얻는 것이 가능해지고, 본 발명에서 목적으로 하는 강도, 항복비, 샤르피 흡수 에너지, 연성-취성 전이 온도를 얻을 수 있다. %Mn/%Si는, 바람직하게는, 1.2 이상이고, 보다 바람직하게는 1.4 이상이다. 또한, %Mn/%Si는, 바람직하게는, 3.2 이하이고, 보다 바람직하게는 3.0 이하이다.

- [0098] 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물이다. 단, 본 발명의 효과를 해치지 않는 범위에 있어서는, O(산소)를 0.005% 이하 함유하는 것을 거절하는 것은 아니다.
- [0099] 또한, 후술하는 임의 원소가 되는 Nb, Ti, V, Cr, Mo, Cu, Ni, Ca, B에 대해서, Nb: 0% 초과 0.005% 미만, Ti: 0% 초과 0.005% 미만, V: 0% 초과 0.01% 미만, Cr: 0% 초과 0.01% 미만, Mo: 0% 초과 0.01% 미만, Cu: 0% 초과 0.01% 미만, Ni: 0% 초과 0.01% 미만, Ca: 0% 초과 0.0005% 미만, B: 0% 초과 0.0003% 미만을 불가피적 불순물로서 취급한다.
- [0100] 상기의 성분이 본 발명에 있어서의 열연 강판의 기본 성분 조성이다. 상기한 필수 원소로 본 발명에서 목적으로 하는 특성은 얻어지지만, 필요에 따라서 하기의 원소를 함유할 수 있다.
- [0101] Nb: 0.005% 이상 0.020% 이하, Ti: 0.005% 이상 0.020% 이하, V: 0.01% 이상 0.10% 이하, Cr: 0.01% 이상 0.50% 이하, Mo: 0.01% 이상 0.50% 이하, Cu: 0.01% 이상 0.30% 이하, Ni: 0.01% 이상 0.30% 이하, Ca: 0.0005% 이상 0.0100% 이하, B: 0.0003% 이상 0.0100% 이하 중으로부터 선택된 1종 또는 2종 이상
- [0102] Nb: 0.005% 이상 0.020% 이하, Ti: 0.005% 이상 0.020% 이하
- [0103] Nb 및 Ti는 강 중에서 미세한 탄화물, 질화물을 형성하고, 석출 강화를 통하여 강의 강도 향상에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해, Nb를 함유하는 경우, Nb를 0.005% 이상 함유한다. 또한, Ti를 함유하는 경우, Ti를 0.005% 이상 함유한다.
- [0104] 한편, Nb, Ti의 각각에 대해서, 0.020%를 초과하는 함유는, 조대한(coarse) 탄화물, 질화물이 형성되어, 인성의 저하를 초래할 우려가 있다. 이 때문에, Nb를 함유하는 경우, Nb의 함유량은 0.005% 이상 0.020% 이하로 하고, Ti를 함유하는 경우, Ti의 함유량은 0.005% 이상 0.020% 이하로 한다. Nb, Ti의 각각에 대해서, 바람직하게는 0.007% 이상이고, 보다 바람직하게는 0.009% 이상이다. 또한, Nb, Ti의 각각에 대해서, 바람직하게는 0.018% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.016% 이하이다.
- [0105] V: 0.01% 이상 0.10% 이하, Cr: 0.01% 이상 0.50% 이하, Mo: 0.01% 이상 0.50% 이하
- [0106] V, Cr, Mo는, 강의 퀴칭성(hardenability)을 높이고, 강의 강도를 상승시키는 원소로서, 필요에 따라서 함유할 수 있다. 상기한 효과를 얻기 위해, V, Cr, Mo를 함유하는 경우에는, V 함유량은 0.01% 이상으로 하고, Cr 함유량은 0.01% 이상으로 하고, Mo 함유량은 0.01% 이상으로 한다. 바람직하게는, V 함유량은 0.02% 이상이고, Cr 함유량은 0.05% 이상, Mo 함유량은 0.05% 이상이고, 보다 바람직하게는, V 함유량은 0.03% 이상이고, Cr 함유량은 0.08% 이상이고, Mo 함유량은 0.08% 이상이다.
- [0107] 한편, 과도한 함유는, 인성의 저하 및 용접성의 악화를 초래할 우려가 있다. 따라서, V, Cr, Mo를 함유하는 경우에는, 각각 V 함유량은 0.10% 이하로 하고, Cr 함유량은 0.50% 이하로 하고, Mo 함유량은 0.50% 이하로 한다. 바람직하게는, V 함유량은 0.08% 이하이고, Cr 함유량은 0.40% 이하이고, Mo 함유량은 0.40% 이하이고, 보다 바람직하게는, V 함유량은 0.07% 이하이고, Cr 함유량은 0.35% 이하이고, Mo 함유량은 0.35% 이하이다.
- [0108] Cu: 0.01% 이상 0.30% 이하, Ni: 0.01% 이상 0.30% 이하
- [0109] Cu, Ni는, 고용 강화에 의해 강의 강도를 상승시키는 원소로서, 필요에 따라서 함유할 수 있다. 상기한 효과를 얻기 위해, Cu, Ni를 함유하는 경우에는, 각각 Cu 함유량은 0.01% 이상으로 하고, Ni 함유량은 0.01% 이상으로 한다. 바람직하게는, Cu 함유량은 0.02% 이상이고, Ni 함유량은 0.02% 이상이다. 보다 바람직하게는, Cu 함유량은 0.10% 이상이고, Ni 함유량은 0.10% 이상이다. 한편, 과도한 함유는, 인성의 저하 및 용접성의 악화를 초래할 우려가 있다. 따라서, Cu, Ni를 함유하는 경우에는, 각각 Cu 함유량은 0.30% 이하로 하고, Ni 함유량은 0.30% 이하로 한다. 바람직하게는, Cu 함유량은 0.20% 이하이고, Ni 함유량은 0.20% 이하이다. 보다 바람직하게는, Cu 함유량은 0.15% 이하이고, Ni 함유량은 0.15% 이하이다.
- [0110] Ca: 0.0005% 이상 0.0100% 이하
- [0111] Ca는, 열간 압연 공정에서 얇게 연신되는 MnS 등의 황화물을 구상화(球狀化)함으로써 강의 인성 향상에 기여하는 원소로서, 필요에 따라서 함유할 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해, Ca를 함유하는 경우는, 0.0005% 이상의 Ca를 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, Ca 함유량이 0.0100%를 초과하면, 강 중에 Ca 산화물 클러스터가 형성되어, 인성이 악화되는 경우가 있다. 이 때문에, Ca를 함유하는 경우는, Ca 함유량은 0.0100% 이하로 하는 것이 바람직하다. 또한, Ca 함유량은 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, Ca 함유량은 0.0010% 이상이다. 바람직하게는, Ca 함유량은 0.0050% 이하이다.

- [0112] B: 0.0003% 이상 0.0100% 이하
- [0113] B는, 페라이트 변태 개시 온도를 저하시킴으로써 조직의 미세화에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해, B를 함유하는 경우는, 0.0003% 이상의 B를 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, B 함유량이 0.0100%를 초과하면, 항복비가 상승하는 경우가 있다. 이 때문에, B를 함유하는 경우는, 0.0100% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, B 함유량은 0.0005% 이상이다. 바람직하게는, B 함유량은 0.0050% 이하이다.
- [0114] 다음으로, 본 발명의 열연 강판의 강 조직을 한정된 이유에 대해서 설명한다.
- [0115] 본 발명의 열연 강판에 있어서의, 판두께 중심부 및 판 표리면의 강 조직이, 페라이트로 이루어지는 주상과, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 6~25%, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 제2상을 갖고, 판두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 상기 판두께 중심부의 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m이고, 원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 상기 결정립이 판두께 중심부에 있어서의 강 조직 전체에 대하여 면적률로 20% 이하이고, 또한, 단경에 대한 장경의 비(장경과 단경의 비(=(장경)/(단경)))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/ mm^2 이하이고, 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차가 40HV 이하이다.
- [0116] 또한, 본 발명에 있어서, 원상당 지름(결정 입경)이란, 대상이 되는 결정립과 면적이 동일한 원의 직경으로 한다. 또한, 강 조직은, 열연 강판의 판두께 중심부 및 판 표면(판 표리면)을 대상으로 한다. 여기에서, 판 표면(판 표리면)이란, 강판의 표면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치로 한다.
- [0117] 주상: 페라이트
- [0118] 페라이트는, 연질인 조직이고, 소망하는 항복 강도 및 저항복비를 얻기 위해, 본 발명에서는 주상으로 한다. 바람직하게는, 페라이트는 면적률로 70% 이상이고, 보다 바람직하게는 72% 이상이다. 페라이트의 면적률이 94%를 초과하면 강도가 저하하여, 소망하는 항복 강도 및 인장 강도가 얻어지지 않는 경우가 있다. 그 때문에, 바람직하게는, 페라이트는 면적률로 94% 이하이고, 보다 바람직하게는, 페라이트는 면적률로 92% 이하이다.
- [0119] 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률: 6~25%, 상부 베이나이트의 면적률: 5% 이하
- [0120] 펄라이트 및 의사 펄라이트는 경질인 조직이고, 강의 강도를 상승시키고, 또한 저항복비를 얻기 위해 가장 중요한 강 조직이다. 본 발명에서 목적으로 하는 항복 강도, 인장 강도, 항복비를 얻기 위해서는, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률을 6% 이상으로 하는 것이 필요하다. 이 합계의 면적률은, 바람직하게는 7% 이상이고, 보다 바람직하게는 9% 이상이다. 펄라이트 및 의사 펄라이트의 면적률이 25%를 초과하면 인성이 악화되는 경우가 있다. 그 때문에, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률은 25% 이하인 것이 필요하다. 이 합계의 면적률은, 바람직하게는 23% 이하이고, 보다 바람직하게는 21% 이하이다.
- [0121] 또한, 의사 펄라이트의 면적률이 5% 이상인 것이 바람직하다. 의사 펄라이트가 면적률로 5% 이상 존재하면, 각형 강판을 제조했을 때에 항복비가 낮게 억제되기 때문에, 보다 우수한 내진성이 얻어진다. 의사 펄라이트의 면적률을 15% 초과로 하려면, 열간 압연에 있어서의 냉각 공정에서 펄라이트가 생성하는 온도 범위를 급냉할 필요가 있기 때문에, 제조 조건이 한정된다. 그 때문에, 의사 펄라이트의 면적률은 15% 이하인 것이 바람직하다.
- [0122] 상부 베이나이트는 페라이트와 펄라이트의 중간적인 경도를 갖는 조직이고, 강의 강도를 상승시킨다. 그러나, 상부 베이나이트의 면적률이 5%를 초과하면, 본 발명에서 목적으로 하는 저항복비가 얻어지지 않는다. 그 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 이하인 것이 필요하다. 바람직하게는 4% 이하이다. 상부 베이나이트는 0%라도 좋다.
- [0123] 또한, 페라이트, 펄라이트, 의사 펄라이트, 상부 베이나이트의 면적률은, 이하에 기재된 방법으로 측정할 수 있다.
- [0124] 판두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차(결정 방위차)가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 판두께 중심부의 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m, 원상당 지름으로 40.0 μ m 이상인 상기 결정립이 면적률로 20% 이하, 또한, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 상기 결정립의 개수가 30개/ mm^2 이하
- [0125] 전술한 바와 같이, 본 발명의 강 조직은, 본 발명에서 목적으로 하는 저항복비, 항복 강도 및, 인장 강도를 얻

기 위해, 연질 조직과 경질 조직을 혼합시킨 강(이하, 「복합 조직강」이라고 칭함)으로 한다. 그러나, 복합 조직강은, 단일 조직강과 비교하여 인성이 나쁘다. 그래서, 본 발명에서는, 상기의 기계 특성과 우수한 인성을 양립하기 위해, 결정 방위차가 15° 이상의 경계에 의해 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 결정 입경, 조대한 결정립의 면적률 및 신장한 결정립의 개수를 규정한다.

[0126] 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 평균 결정 입경(원상당 지름)이, 10.0 μm 미만이면, 항복비가 증가하여 본 발명에서 목적으로 하는 항복비가 얻어지지 않는다. 한편, 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 평균 결정 입경이 30.0 μm 를 초과하면, 인성이 악화된다. 그 때문에, 주상과 제2상을 포함하는 강 조직의 평균 결정 입경은 10.0~30.0 μm 인 것이 필요하다. 바람직하게는 11.0 μm 이상이고, 보다 한층 바람직하게는 12.5 μm 이상이다. 또한, 평균 결정 입경은 28.0 μm 이하인 것이 바람직하고, 보다 한층 바람직하게는 26.0 μm 이하이다.

[0127] 그러나, 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μm 의 범위 내라도, 본 발명에서 목적으로 하는 항복비 및 샤르피 흡수 에너지가 얻어지지 않는 경우가 있었다. 본 발명자들의 예의 검토의 결과, 본 발명에서 목적으로 하는 인성을 얻기 위해서는, 원상당 지름으로 40.0 μm 이상인 결정립이 관두께 중심부에 있어서의 강 조직 전체에 대하여 면적률로 20% 이하인 것이 필요하고, 본 발명에서 목적으로 하는 항복비를 얻기 위해서는, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하인 것이 필요하다는 것이 분명해졌다.

[0128] 또한, 결정 방위차, 평균 결정 입경 및, 결정 입경(원상당 지름)이 40.0 μm 이상인 결정립의 면적률은, SEM/EBSD법에 따라 측정하는 것이 가능하다. 여기에서는, 이하에 기재된 방법으로 측정할 수 있다.

[0129] 조직 관찰에 있어서는, 열연 강관의 폭 방향 중앙부 또한 관두께 t/2의 위치(t: 관두께)(본 발명에 있어서의 관두께 중심부) 및 관 표면(강관 이면(열간 압연 시의 하면))의 위치로부터 시험편을 채취한다. 관찰면이 열간 압연 시의 압연 방향 단면이 되도록 하고, 연마한 후, 나이탈 부식하여 제작한다.

[0130] 조직 관찰은, 광학 현미경(배율: 1000배) 또는 주사형 전자 현미경(SEM, 배율: 1000배)을 이용하고, 열연 강관의 관두께 t/2 위치(관두께 중심부) 및 강관 이면(관 표면)에 있어서의 조직을 관찰하여, 활상한다. 얻어진 광학 현미경상(像) 및 SEM상으로부터, 페라이트, 펄라이트, 의사 펄라이트, 상부 베이나이트의 면적률을 구한다.

[0131] 각 조직의 면적률은, 5시야에서 관찰을 행하고, 각 시야에서 얻어진 값의 평균값으로서 산출한다. 여기에서는, 조직 관찰에 의해 얻어진 면적률을, 각 조직의 면적률로 한다. 페라이트, 펄라이트, 의사 펄라이트, 상부 베이나이트의 면적률은, 광학 현미경상 또는 SEM상을 이용하고, 이하에 나타내는 형상 및 색으로 각 상을 판별하여 각 상의 면적을 산출하고, 광학 현미경상 또는 SEM상의 전체의 면적으로 나누어 각 상의 면적률을 산출한다.

[0132] 여기에서, 페라이트는 확산 변태에 의한 생성물이고, 전위 밀도가 낮고 거의 회복한 조직을 나타낸다. 폴리곤넬 페라이트 및 의(擬)폴리곤넬(quasipolygonal) 페라이트가 이에 포함된다. 펄라이트는 시멘타이트와 페라이트가 층 형상으로 나열된 조직이고, 의사 펄라이트는 페라이트 중에 점렬 형상으로(in dot sequences) 나열된 시멘타이트가 확인되는 조직이다. 또한, 상부 베이나이트는 전위 밀도가 높은 라스(lath) 형상의 페라이트와 시멘타이트의 복합 조직이다. 상기의 형상 외에, 페라이트는 백색, 펄라이트는 흑색, 의사 펄라이트는 흑색 또는 회색, 상부 베이나이트는 백색 또는 회색인 점에서 판별한다.

[0133] 또한, 평균 결정 입경(평균 원상당 지름)은, 관두께 t/2 위치(관두께 중심부)를 대상으로 하고, SEM/EBSD법을 이용하여 측정한다. 측정 영역은 500 μm ×1000 μm (=0.5mm²), 측정 스텝 사이즈는 0.5 μm 로 한다. 결정 입경은, 인접하는 결정립의 사이의 방위차를 구하고, 방위차가 15° 이상의 경계를 결정 입계로서 측정한다. 얻어진 결정 입계로부터 각 결정립의 입경(원상당 지름)을 산출하고, 그의 산술 평균을 구하고, 평균 결정 입경(평균 원상당 지름)으로 한다. 또한, 원상당 지름이 40.0 μm 이상인 결정립의 면적의 총합을 산출하고, 측정 영역의 면적(0.5mm²)으로 나눔으로써, 원상당 지름이 40.0 μm 이상인 결정립의 면적률을 산출한다. 상기한 원상당 지름 및 결정립의 면적은, SEM/EBSD법의 측정으로 얻어진 데이터를 EDAX사 제조의 OIM Analysis를 이용하여 해석함으로써 얻어진다.

[0134] 또한, 결정립의 장경과 단경은, JIS R 1670(2006)에 기재된 방법으로 측정하여, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))를 산출한다. 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 수를 측정하여, 측정 영역의 면적(0.5mm²)으로 나눔으로써, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수(개/mm²)를 산출한다. 또한, 결정 입경 해석 및 결정립 개수의 측정에 있어서는, 결정 입경이 2.0 μm 미만의 것은 측정 노이즈로서 해석 대상으로부터 제외한다.

[0135] 관 표면으로부터 관두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 관두께 중심부의 경도차: 40HV 이하

- [0136] 본 발명의 열연 강관에 있어서의, 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차는 40HV 이하이다. 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차가 40HV를 초과하는 경우는, 각형 강관을 제조했을 때에, 각형 강관의 평판부의 항복비가 0.90을 초과할 우려가 있다. 또한, 인성이 악화되는 경우도 있다. 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와 판두께 중심부의 경도차는, 바람직하게는 35HV 이하이고, 보다 바람직하게는 30HV 이하이다.
- [0137] 여기에서, 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도와 판두께 중심부의 경도에서는, 판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도의 쪽이 커지기 때문에, 본 발명에서는, 강관 표면으로부터 판두께 방향의 1.0mm 내부의 위치 및 강관의 이면으로부터 1.0mm 내부의 위치의 경도를 측정하여, 큰 쪽의 경도를 강관 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도로 한다.
- [0138] 또한, 상기의 경도의 측정 방법으로서, 우선, JIS Z 2244(2020)의 규정에 준거하여, 시험력 9.8N(1kgf)으로 비커스 경도를 측정한다. 각 10점 측정하고, 최대값과 최소값을 제외한 8점의 평균값을 산출하고, 평균값(8점의 비커스 경도의 합계/8)을 그 시험편의 경도로 한다. 시험편에는, 전술한 조직 관찰용의 시험편을 이용하고, 강관 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치에 있어서 경면 연마한 후, 경도 측정을 행한다. 그리고, 판 표리면의 경도와 판두께 중심부의 경도의 차(경도차)를 산출한다.
- [0139] 상기한 성분 조성 및 강 조직을 만족하고, 추가로 특정의 경도차를 만족함으로써, 본 발명의 목적으로 하는 강도, 항복비 및 인성(-20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지, 연성-취성 전이 온도)을 갖는 열연 강관을 얻는 것이 가능해진다.
- [0140] 구체적으로는, 본 발명의 열연 강관에서는, 항복 강도를 250MPa 이상으로 하고, 인장 강도를 400MPa 이상으로 하고, 항복비를 0.75 이하로 하고, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지를 100J 이상으로 하고, 연성-취성 전이 온도를 -20℃ 이하로 할 수 있다.
- [0141] 본 발명의 열연 강관은, 저항복비 각형 강관 용도의 열연 강관으로서 적합하게 이용할 수 있고,
- [0142] 후술의 저항복비를 갖는 각형 강관을 얻는 것을 가능하게 한다.
- [0143] 본 발명의 열연 강관은, 판두께가 20mm 이상인 것이 바람직하다. 또한, 본 발명의 열연 강관은, 판두께가 20~32mm인 것이 바람직하다.
- [0144] <열연 강관의 제조 방법>
- [0145] 다음으로, 본 발명의 열연 강관의 제조 방법으로서, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 열연 강관의 제조 방법을 설명한다.
- [0146] 본 발명의 열연 강관의 제조 방법은, 예를 들면, 열간 압연 공정에 있어서, 상기한 성분 조성을 갖는 강 소재를, 가열 온도: 1100℃ 이상 1300℃ 이하로 가열한 후, 조압연 종료 온도: 850℃ 이상 1150℃ 이하, 마무리 압연 종료 온도: 750℃ 이상 850℃ 이하, 또한 930℃ 이하에서의 합계 압하율: 40% 이상 59% 이하인 열간 압연을 실시한다.
- [0147] 이어서, 냉각 공정에 있어서, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 $V_c(°C/s)$ 및 판 표면에서 두께 방향 1.0mm 깊이까지의 판 표층부의 평균 냉각 속도 $V_s(°C/s)$ 가 하기 (2)식 및 (3)식을 만족하고, 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 사이에 열연 강관을 5초 이상 공냉하고, 판두께 중심의 냉각 정지 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하로 냉각을 실시하고, 이어서, 권취 공정에 있어서, 판두께 중심 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하에서 권취하여 열연 강관으로 한다.
- [0148] $2 \leq V_c \leq 15 \dots (2)$
- [0149] $V_s/V_c \leq 2.0 \dots (3)$
- [0150] 또한, 이하의 제조 방법의 설명에 있어서, 온도에 관한 「℃」 표시는, 특별히 언급하지 않는 한, 강 소재나 강관(열연관, 소재 강관)의 표면 온도로 한다.
- [0151] 이들 표면 온도는, 방사 온도계 등으로 측정할 수 있다. 또한, 강관 판두께 중심부의 온도는, 강관 단면 내의 온도 분포를 전열 해석에 의해 계산하고, 그 결과를 강관의 표면 온도에 의해 보정함으로써 구할 수 있다. 또한, 「열연 강관」에는, 열연 강관, 열연 강대를 포함하는 것으로 한다.
- [0152] 본 발명에 있어서, 강 소재(강 슬래브)의 용제 방법은 특별히 한정되지 않고, 전로(converter), 전기로, 진공

용해로 등의 공지의 용제 방법의 모두가 적합하다. 주조 방법도 특별히 한정되지 않지만, 연속 주조법 등의 공지의 주조 방법에 의해, 소망 치수로 제조된다. 또한, 연속 주조법을 대신하여, 조괴-분괴 압연법(ingot making-blooming method)을 적용해도 하등 문제는 없다. 용강에는 추가로, 레이블 정련(ladle refining)등의 2차 정련을 실시해도 좋다.

[0153] (열간 압연 공정)

[0154] 이어서, 열간 압연 공정에 있어서, 얻어진 강 소재(강 슬래브)를, 가열 온도를 1100℃ 이상 1300℃ 이하로 하여 가열한 후, 조압연 종료 온도를 850℃ 이상 1150℃ 이하로 하는 조압연을 실시하고, 마무리 압연 종료 온도를 750℃ 이상 850℃ 이하로 하는 마무리 압연을 실시하고, 또한, 930℃ 이하에서의 합계 압하율이 40% 이상 59% 이하인 열간 압연을 실시하여 열연 강판으로 한다.

[0155] 가열 온도: 1100℃ 이상 1300℃ 이하

[0156] 가열 온도가 1100℃ 미만인 경우, 피(被)압연재의 변형 저항이 커져 압연이 곤란해진다. 한편, 가열 온도가 1300℃를 초과하면, 오스테나이트립이 조대화하여, 후의 압연(조압연, 마무리 압연)에 있어서 미세한 오스테나이트립이 얻어지지 않고, 본 발명에서 목적으로 하는 열연 강판의 강 조직의 평균 결정 입경을 확보하는 것이 곤란해진다. 또한, 조대한 베이나이트의 생성을 억제하는 것이 곤란해져, 결정 입경이 40.0μm 이상인 결정립의 면적률을, 본 발명에서 목적으로 하는 범위로 제어하는 것이 어렵다. 이 때문에, 열간 압연 공정에 있어서의 가열 온도는, 1100℃ 이상 1300℃ 이하로 한다. 열간 압연 공정에 있어서의 가열 온도는, 바람직하게는 1120℃ 이상이다. 또한, 열간 압연 공정에 있어서의 가열 온도는, 바람직하게는 1280℃ 이하이다.

[0157] 또한, 본 발명에서는, 강 슬래브(슬래브)를 제조한 후, 일단 실온까지 냉각하고, 그 후 재차 가열하는 종래법에 더하여, 실온까지 냉각하지 않고, 온편(溫片)인 채로 가열로에 장입하는, 직송 압연의 에너지 절약 프로세스도 문제 없이 적용할 수 있다.

[0158] 조압연 종료 온도: 850℃ 이상 1150℃ 이하

[0159] 조압연 종료 온도가 850℃ 미만인 경우, 후의 마무리 압연 중에 강판 표면 온도가 페라이트 변태 개시 온도 이하가 되고, 다량의 페라이트가 생성되어, 압연 방향으로 신장한 가공 페라이트립이 되고, 항복비가 상승하는 원인이 된다. 한편, 조압연 종료 온도가 1150℃를 초과하면, 오스테나이트 미세결정 온도역에서의 압하량이 부족하여, 미세한 오스테나이트립이 얻어지지 않는다. 그 결과, 본 발명에서 목적으로 하는 열연 강판의 강 조직이 얻어지지 않고, 서로 이웃하는 결정의 방위차가 15° 이상의 경계로 둘러싸인 영역을 결정립으로 했을 때, 평균 결정 입경이 10.0~30.0μm이고, 또한, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고, 원상당 지름으로 40.0μm 이상인 상기 결정립이 강 조직 전체에 대하여 면적률로 20% 이하인 강 조직을 얻는 것이 곤란해진다.

[0160] 또한, 조대한 베이나이트의 생성을 억제하는 것이 곤란해진다. 이 때문에, 조압연 종료 온도는, 850℃ 이상 1150℃ 이하로 한다. 조압연 종료 온도는, 바람직하게는 860℃ 이상이고, 보다 바람직하게는 870℃ 이상이다. 또한, 조압연 종료 온도는, 바람직하게는 1100℃ 이하이고, 보다 바람직하게는 1050℃ 이하이다.

[0161] 마무리 압연 종료 온도: 750℃ 이상 850℃ 이하

[0162] 마무리 압연 종료 온도가 750℃ 미만인 경우, 마무리 압연 중에 강판 표면 온도가 페라이트 변태 개시 온도 이하가 되고, 압연 방향으로 신장한 페라이트가 형성되어, 가공성이 저하할 가능성이 있다. 한편, 마무리 압연 종료 온도가 850℃를 초과하면, 오스테나이트 미세결정 온도역에서의 압하량이 부족하여, 미세한 오스테나이트립이 얻어지지 않는다. 그 결과, 결정립이 조대해지고, 본 발명에서 목적으로 하는 강도의 확보가 곤란해진다. 또한, 조대한 베이나이트의 생성을 억제하는 것이 곤란해진다. 이 때문에, 마무리 압연 종료 온도는, 750℃ 이상 850℃ 이하로 한다. 마무리 압연 종료 온도는, 바람직하게는 770℃ 이상이고, 보다 바람직하게는 780℃ 이상이다. 또한, 마무리 압연 종료 온도는, 바람직하게는 830℃ 이하이고, 보다 바람직하게는 820℃ 이하이다.

[0163] 930℃ 이하의 합계 압하율: 40% 이상 59% 이하

[0164] 본 발명에서는, 열간 압연 공정에 있어서 오스테나이트 중의 서브그레인(subgrains)을 미세화함으로써, 계속되는 냉각 공정, 권취 공정에서 생성하는 페라이트, 베이나이트를 미세화하여, 본 발명에서 목적으로 하는 강도 및 인성을 갖는 열연 강판의 강 조직을 얻을 수 있다. 열간 압연 공정에 있어서 오스테나이트 중의 서브그레인을 미세화하기 위해서는, 오스테나이트 미세결정 온도역에서의 압하율을 높게 하고, 충분한 가공 변형을 도입할 필요가 있다. 그러나, 합계 압하율이 59%를 초과하면, 장경과 단경의 비가 큰 결정립이 생성되기 쉬워, 인성

의 저하를 초래한다. 그 때문에, 본 발명에서는, 930℃ 이하의 합계 압하율을 59% 이하로 한다. 930℃ 이하의 합계 압하율은, 바람직하게는 57% 이하이고, 보다 바람직하게는 55% 이하이다. 930℃ 이하의 합계 압하율이 40% 미만이면, 페라이트나 베이나이트의 결정 입경이 커져, 인성의 저하를 초래한다. 그 때문에, 930℃ 이하의 합계 압하율은 40% 이상으로 한다. 930℃ 이하의 합계 압하율은, 바람직하게는 42% 이상이고, 보다 바람직하게는 45% 이상이다.

[0165] 또한, 930℃ 이하로 한 것은, 930℃ 초과에서는 압연 공정에 있어서 오스테나이트가 재결정하고, 압연에 의해 도입된 전위가 소실해 버려, 미세화한 오스테나이트가 얻어지지 않기 때문이다.

[0166] 상기한 합계 압하율이란, 930℃ 이하의 온도역에 있어서의 압연 패스에 있어서, 압연 개시 전의 판두께 T_E (mm), 압연 종료 후의 최종 판두께 T_0 (mm)를 이용하여, 이하의 식으로 계산할 수 있다.

[0167]
$$\text{합계 압하율}(\%) = 100 \times (T_E - T_0) / T_E$$

[0168] 또한, 슬래브를 열간 압연할 때에 있어서, 상기한 조압연 및 마무리 압연의 양쪽에 있어서 930℃ 이하의 합계 압하율을 40% 이상 59% 이하로 하는 열간 압연으로 해도 좋다. 혹은, 마무리 압연만으로 930℃ 이하의 합계 압하율을 40% 이상 59% 이하로 하는 열간 압연으로 해도 좋다. 후자에 있어서, 마무리 압연만으로 930℃ 이하의 합계 압하율을 40% 이상 59% 이하로 할 수 없는 경우에는, 조압연의 도중에 슬래브를 냉각하여 온도를 930℃ 이하로 한 후, 조압연과 마무리 압연의 양쪽에 있어서의 930℃ 이하의 합계 압하율을 40% 이상 59% 이하로 한다.

[0169] 본 발명에서는, 마무리 판두께(마무리 압연 후의 강관의 판두께)의 상한은 특별히 규정하지 않지만, 필요 압하율의 확보나 강관 온도 관리의 관점에서, 마무리 판두께는 32mm 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0170] (냉각 공정)

[0171] 열간 압연 공정 후, 열연관(열연 강관용 소재 강관, 이하 간단히 소재 강관이라고도 기재함)에 냉각 공정으로 냉각을 실시한다. 냉각 공정에서는, 판두께 중심부에 있어서의 냉각 정지 온도까지의 평균 냉각 속도 V_c : 2℃/s 이상 15℃/s 이하, 판 표리면에서 두께 방향 1.0mm 깊이까지의 판 표층부에 있어서의 냉각 정지 온도까지의 평균 냉각 속도 V_s 가 V_c 와의 사이에, $V_s/V_c \leq 2.0$ 을 만족하고, 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 사이에 열연 강관을 5초 이상 공냉하고, 판두께 중심부에 있어서의 냉각 정지 온도를 550℃ 이상 680℃ 이하로 하여 냉각을 실시한다.

[0172] 판두께 중심부에 있어서의 냉각 개시에서 냉각 정지 온도(550~680℃)까지의 평균 냉각 속도 V_c : 2℃/s 이상 15℃/s 이하

[0173] 열연 강관의 판두께 중심부의 온도로, 냉각 개시에서 후술하는 냉각 정지 온도(550~680℃)까지의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도 V_c 가 2℃/s 미만에서는, 페라이트의 핵 생성 빈도가 감소하여, 페라이트립이 조대화하기 때문에, 소망하는 강도가 얻어지지 않는다. 또한, 본 발명에서 목적으로 하는 평균 결정 입경이 40.0 μ m 이상인 결정립의 면적률을 소망하는 범위로 제어하는 것이 곤란하다. 한편으로, 평균 냉각 속도 V_c 가 15℃/s를 초과하면, 다량의 상부 베이나이트가 생성되어, 본 발명에서 목적으로 하는 항복비가 얻어지지 않는다. 평균 냉각 속도 V_c 는, 바람직하게는 4℃/s 이상이고, 보다 바람직하게는 5℃/s 이상이다. 바람직하게는 12℃/s 이하이고, 보다 바람직하게는 10℃/s 이하이다.

[0174] $V_s/V_c \leq 2.0$

[0175] 판 표층부에 있어서의 냉각 개시에서 냉각 정지 온도(550~680℃)까지의 평균 냉각 속도 V_s (℃/s)가 판두께 중심부에 있어서의 냉각 정지까지의 평균 냉각 속도 V_c (℃/s)의 2.0배를 초과하면, 판 표층부에 베이나이트가 다량으로 생성되어, 본 발명의 목적으로 하는 강 조직이 얻어지지 않고, 소망하는 항복비 및 샤르피 흡수 에너지가 얻어지지 않는다.

[0176] 바람직하게는 $V_s/V_c \leq 1.8$ 이고, 보다 바람직하게는 $V_s/V_c \leq 1.7$ 이다. 하한은 특별히 규정하지 않지만, 열연 강관은 표리면으로부터 냉각되기 때문에, 판 표층부에 있어서의 냉각 정지까지의 평균 냉각 속도 V_s 는 판두께 중심부에 있어서의 냉각 정지까지의 평균 냉각 속도 V_c 이상의 값이 된다($1.0 \leq V_s/V_c$). 여기에서, 판 표층부에 있어서의 냉각 정지까지의 평균 냉각 속도 V_s 는, 판 표면 또는 판 이면으로부터 1.0mm 내부의 위치에 있어서의 평균 냉각 속도 중, 큰 쪽의 값을 이용한다.

[0177] 또한, 본 발명에서는, 결정 입경이 조대해지는 것을 억제하는 관점에서, 마무리 압연 종료 후 곧바로 냉각을 개

시하는 것이 바람직하다.

- [0178] 공냉 시간: 5s 이상
- [0179] 냉각 공정에 있어서, 열연 강관을 5s 이상 공냉함으로써, 열연관의 관 표층부와 관두께 중심부의 온도차가 작아져, 본 발명에서 목적으로 하는 기계 특성을 갖는 열연 강관이 얻어진다. 공냉 시간이 5s 미만에서는, 관 표층부와 관두께 중심부의 온도차가 커져, 소망하는 항복비가 얻어지지 않는다. 공냉 시간은 바람직하게는 10s 이상이다. 상한은 특별히 규정하지 않지만, 공냉 시간이 100s를 초과하는 경우에는 생산성이 현저하게 저하하기 때문에, 공냉 시간은 100s 이하가 바람직하다. 보다 바람직하게는 90s 이하이다. 또한, 공냉은 냉각 개시에서 냉각 정지까지의 사이에 행한다.
- [0180] 공냉이란, 특별히 한정되지 않지만, 관 표층부에 있어서 0.01~0.90℃/s로의 냉각을 가리킨다.
- [0181] 냉각 정지 온도: 550℃ 이상 680℃ 이하
- [0182] 열연관(소재 강관)의 관두께 중심 온도로, 냉각 정지 온도가 550℃ 미만에서는, 냉각 중에 열연관의 길이 방향 및/또는 폭 방향에서 온도 불균일이 생기기 쉬워, 기계 특성에 불균일이 생길 가능성이 있다. 한편으로, 열연관의 관두께 중심 온도로, 냉각 정지 온도가 680℃를 초과하면, 페라이트립이 조대화하여, 소망하는 평균 결정 입경이 얻어지지 않는다. 냉각 정지 온도는, 열연관의 관두께 중심 온도로, 바람직하게는 560℃ 이상이고, 보다 바람직하게는 580℃ 이상이다. 바람직하게는 660℃ 이하이고, 보다 바람직하게는 650℃ 이하이다.
- [0183] 또한, 본 발명에 있어서, 평균 냉각 속도는, ((냉각 전(냉각 개시 시)의 열연 강관의 온도(℃)-냉각 정지 온도(550~680℃)까지의 열연 강관의 온도(℃))/냉각 시간(s))으로 구해지는 값이고, 전열 해석에 의해 얻어진 열연 강관 단면 내의 온도 분포로부터 산출할 수 있다. 이 평균 냉각 속도의 산출 시에 이용되는 냉각 시간에는, 공냉을 행하고 있는 시간도 포함된다.
- [0184] 냉각 방법은, 노즐로부터의 물의 분사 등의 수냉이나, 냉각 가스의 분사에 의한 냉각 등을 들 수 있다. 본 발명에서는, 열연관의 양면이 동(同)조건으로 냉각되도록, 열연관 양면에 냉각 조작(처리)을 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기한 냉각 속도를 얻기 위해, 냉각수 또는 냉각 가스의 양이나 압력, 분사 시간·각도 및 열연 강관의 반송 속도 등을 조정한다. 냉각수 또는 냉각 가스를 열연 강관 표면의 특정 위치에 항상 분사하거나, 또는, 순간적으로 다량의 냉각수 또는 냉각 가스를 열연 강관 표면에 분사하면, 강관 표면이 급냉각되기 때문에, 관 표층부와 관두께 중심부의 냉각 속도의 차가 커진다. 그 때문에, 열연 강관의 특정 위치가 급냉각되지 않도록, 냉각수 또는 냉각 가스를 분사하는 노즐의 위치를 적절히 배치하는 것이나, 냉각수 또는 냉각 가스의 분사량·시간을 적절히 조정함으로써, 관 표층부와 관두께 중심부의 냉각 속도의 차를 소정의 범위 내로 제어하는 것이 가능해진다. 본 발명에서 규정한 냉각 속도가 얻어지도록, 미리 전열 해석을 행하여 열연 강관의 냉각 처리의 조건을 결정한 후, 이 조건을 제조 조건에 반영시킬 수 있다.
- [0185] (권취 공정)
- [0186] 냉각 공정 후에, 권취 공정에 있어서, 열연 강관을 권취하고, 그 후 방냉한다.
- [0187] 권취 공정에서는, 강관 조직의 관점에서, 열연 강관의 관두께 중심 온도로, 권취 온도를 550℃ 이상 680℃ 이하로 하여 권취한다. 권취 온도가 550℃ 미만에서는, 강관 표면에 다량의 상부 베이나이트가 생성되어, 면적률이 5%를 초과하는 경우가 있다. 권취 온도가 680℃ 초과에서는, 페라이트립이 조대화함과 함께, 소망하는 결정 입경이 얻어지지 않는다. 권취 온도는, 보다 바람직하게는 570℃ 이상이고, 보다 한층 바람직하게는 580℃ 이상이다. 또한, 권취 온도는, 보다 바람직하게는 660℃ 이하이고, 보다 한층 바람직하게는 650℃ 이하이다.
- [0188] <각형 강관>
- [0189] 본 발명의 각형 강관은, 상기 본 발명의 열연 강관을 소재로 한다. 본 발명의 각형 강관은, 관축 방향에서, 평관부에 있어서, 항복 강도가 295MPa 이상이고, 인장 강도가 400MPa 이상이고, 0.90 이하의 저항복비를 나타내고, 평관부에 있어서, 시험 온도: -20℃에서의 샤르피 충격 시험의 흡수 에너지가 40J 이상, 연성-취성 전이 온도가 -5℃ 이하가 되는 저온 인성을 구비하는 것으로 할 수 있고, 예를 들면, 기온이 빙점하(below zero degrees Celsius)가 되는 바와 같은 한랭지 등의 저온 환경하에 있어서의 건축물의 구조 부재로서 적합하게 사용할 수 있다.
- [0190] 본 발명의 각형 강관의 제조 방법으로서, 조관 공정에서는, 열연 강관을 롤 성형에 의해 원통 형상의 오픈관(환형 강관)으로 하고, 그의 맞댐 부분을 전봉 용접한다. 그 후, 환형 강관에 대하여 상하 좌우에 배치된 물에

의해, 원통 형상인 채 관축 방향으로 수%의 드로잉을 가하고, 모서리 형상으로 성형하여 각형 강관을 얻는다.

- [0191] 예를 들면, 코일 형상의 본 발명의 열연 강관을, 냉간에서 물을 이용한 롤 성형법에 의해 원형으로 성형하여 환형 강관을 제조한 후에, 환형 강관을, 물을 이용한 롤 성형법에 의해 각형으로 성형하여 각형 강관을 제조한다. 환형 강관으로의 롤 성형을 냉간에서 행하면, 관축 방향으로 큰 가공 변형이 도입되기 때문에, 관축 방향의 항복비가 상승되기 쉬워, 인성이 저하하기 쉽다는 문제가 있다. 그러나, 본 발명의 각형 강관에 있어서는, 상기 본 발명의 열연 강관을 소재로 하고 있기 때문에, 항복비의 상승 등이 억제되고, 예를 들면, 20mm 이상인 후육의 것이라도, 저항복비 또한 저온 인성을 구비하는 것으로 할 수 있다.
- [0192] 또한, 본 발명에 있어서의 각형 강관에는, 관축 방향 수직 단면에서 볼 때, 각각의 변 길이가 모두 동일한((장변 길이/단변 길이)의 값이 1.0임) 각형 강관에 한정되지 않고, (장변 길이/단변 길이)의 값이 1.0 초과인 각형 강관도 포함된다. 단, 각형 강관의 (장변 길이/단변 길이)의 값이 2.5를 초과하면, 장변측에서 국부 좌굴이 발생하기 쉬워져 관축 방향의 압축 강도가 저하한다. 그 때문에, 각형 강관의 (장변 길이/단변 길이)의 값은, 1.0 이상 2.5 이하로 하는 것이 바람직하다. (장변 길이/단변 길이)의 값은, 보다 바람직하게는 1.0 이상 2.0 이하이다.
- [0193] 이상에 의해, 본 발명의 각형 강관이 제조된다. 본 발명에 의하면, 평판부의 항복 강도가 295MPa 이상, 평판부의 인장 강도가 400MPa 이상, 평판부의 항복비가 0.90 이하, 평판부의 -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 40J 이상, 평판부의 연성-취성 전이 온도가 -5℃ 이하인, 각형 강관을 얻을 수 있다. 본 발명의 각형 강관은 연성-취성 전이 온도가 0℃ 미만이기 때문에, 기온이 빙점하가 되는 바와 같은 한랭지의 건축물의 구조 부재로서 적합하게 사용할 수 있다.
- [0194] <건축 구조물>
- [0195] 도 1은, 본 발명의 건축 구조물의 일 예를 나타내는 개략도이다.
- [0196] 본 발명의 건축 구조물은, 전술한 본 발명의 각형 강관(저항복비 각형 강관)(1)을 기둥재로서 사용된다. 부호 4, 5, 6, 7은, 순서대로 대들보, 소들보, 다이어프램, 샷기둥을 나타낸다.
- [0197] 본 발명의 각형 강관은, 전술한 바와 같이, 평판부의 기계적 특성이 우수하다. 그 때문에, 이 각형 강관을 기둥재로서 사용한 본 발명의 건축 구조물은, 우수한 내진 성능을 발휘한다.
- [0198] 실시예
- [0199] 이하, 실시예에 기초하여 추가로 본 발명을 상세하게 설명한다. 또한, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되지 않는다.
- [0200] 표 1에 나타내는 성분 조성을 갖는 용강을 주조하여 슬래브로 했다. 얻어진 슬래브를 표 2에 나타내는 조건의 열간 압연 공정, 냉각 공정, 권취 공정을 거쳐, 열연 강관으로 했다. 권취 공정 후, 이하에 나타내는 조관 공정에 있어서의 조관 처리를 행했다. 또한, 열간 압연 공정에 있어서 규정하는 930℃ 이하의 합계 압하율은, 마무리 압연만에서의 합계 압하율이다.

표 1

강종	성분 조성(질량%) ※1																
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb	Ti	V	Cr	Mo	Cu	Ni	Ca	B	Mn/Si
A	0.13	0.11	0.31	0.017	0.003	0.025	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8
B	0.12	0.16	0.37	0.015	0.002	0.033	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3
C	0.09	0.18	0.62	0.022	0.003	0.019	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4
D	0.17	0.34	0.98	0.026	0.004	0.022	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9
E	0.13	0.14	0.41	0.021	0.004	0.037	0.0025	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9
F	0.07	0.30	0.36	0.017	0.003	0.019	0.0041	0.017	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2
G	0.15	0.22	0.56	0.026	0.003	0.031	0.0033	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	2.5
H	0.20	0.12	0.36	0.016	0.004	0.025	0.0030	-	0.016	-	-	-	-	-	-	-	3.0
I	0.13	0.21	0.52	0.020	0.005	0.028	0.0025	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	2.5
J	0.11	0.28	0.74	0.018	0.003	0.036	0.0042	-	-	0.08	-	-	-	-	-	-	2.6
K	0.14	0.16	0.49	0.024	0.003	0.019	0.0037	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-	3.1
L	0.19	0.21	0.37	0.033	0.004	0.022	0.0033	-	-	0.41	-	-	-	-	-	-	1.8
M	0.11	0.31	0.50	0.024	0.003	0.023	0.0027	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	1.6
N	0.14	0.15	0.39	0.033	0.004	0.034	0.0030	-	-	-	0.43	-	-	-	-	-	2.6
O	0.12	0.27	0.62	0.037	0.003	0.039	0.0046	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	2.3
P	0.13	0.21	0.71	0.031	0.004	0.041	0.0041	-	-	-	-	0.22	-	-	-	-	3.4
Q	0.18	0.11	0.33	0.017	0.004	0.017	0.0044	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-	3.0
R	0.13	0.27	0.55	0.026	0.004	0.044	0.0037	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	2.0
S	0.11	0.30	1.00	0.034	0.005	0.038	0.0031	-	-	-	-	-	-	0.0040	-	-	3.3
T	0.15	0.18	0.48	0.027	0.003	0.037	0.0033	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0009	2.7
U	0.13	0.32	0.25	0.026	0.003	0.031	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8
V	0.19	0.07	0.55	0.032	0.004	0.026	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9
W	0.35	0.13	0.42	0.033	0.005	0.029	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2
X	0.11	0.63	0.63	0.025	0.005	0.022	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
Y	0.09	0.35	1.20	0.031	0.003	0.021	0.0031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4
Z	0.16	0.15	0.37	0.027	0.004	0.031	0.0027	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5
AA	0.18	0.12	0.34	0.034	0.005	0.020	0.0033	-	0.044	-	-	-	-	-	-	-	2.8
AB	0.13	0.28	0.61	0.027	0.003	0.025	0.0031	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	2.2
AC	0.10	0.26	0.52	0.041	0.003	0.033	0.0027	-	-	-	2.51	-	-	-	-	-	2.0
AD	0.14	0.17	0.42	0.042	0.004	0.036	0.0025	-	-	-	-	3.22	-	-	-	-	2.5
AE	0.17	0.14	0.49	0.036	0.003	0.036	0.0021	-	-	-	-	-	1.67	-	-	-	3.5
AF	0.20	0.15	0.39	0.029	0.005	0.028	0.0028	-	-	-	-	-	-	1.79	-	-	2.6
AG	0.15	0.19	0.29	0.030	0.006	0.029	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5
AH	0.09	0.20	0.55	0.025	0.004	0.023	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8
AI	0.05	0.14	0.33	0.021	0.003	0.032	0.0036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4

※1 성분 조성은, 상기 이외는 잔부 Fe 및 불가피적 불순물이다.

표 2

강관 No.	강종	열간 압연 공정				냉각 공정				권취 공정		열연 강관의 열연 강관의 두께 (mm)
		가열 온도 (°C)	조압연 온도 (°C)	마무리 압연 온도 (°C)	930°C 이하에서의 압하율 (%)	판두께 중심부의 냉각 속도 Vc (°C/s)	판 표면의 냉각 속도 Vs (°C/s)	Vs/Vc	냉각 온도 (°C)	공시 시간 (s)	권취 온도 (°C)	
1	A	1200	990	825	52	10	14	1.4	590	32	570	24
2	B	1200	950	800	50	9	10	1.1	550	7	550	28
3	C	1150	1000	795	48	2	4	2.0	620	45	600	22
4	D	1250	975	805	58	13	14	1.1	560	14	555	26
5	E	1150	880	760	55	12	13	1.1	590	28	585	32
6	F	1250	860	795	43	11	14	1.3	555	6	550	26
7	G	1200	1100	810	51	7	9	1.3	670	55	665	22
8	H	1150	1040	825	59	8	9	1.1	580	22	575	25
9	I	1200	1055	840	54	5	7	1.4	555	18	555	24
10	J	1250	950	810	48	6	11	1.8	620	38	600	25
11	K	1200	1015	795	49	9	9	1.0	670	67	640	20
12	L	1150	915	800	46	10	10	1.0	580	31	565	24
13	M	1250	970	805	50	3	6	2.0	595	10	570	20
14	N	1200	860	765	51	14	15	1.1	680	89	675	20
15	O	1250	1035	815	52	15	16	1.1	650	64	630	22
16	P	1150	1135	845	55	9	9	1.0	645	58	630	26
17	Q	1300	1150	850	47	7	8	1.1	600	62	585	25
18	R	1300	1075	835	49	8	9	1.1	615	47	600	28
19	S	1200	1010	820	41	9	12	1.3	605	36	595	32
20	T	1300	1060	835	59	11	12	1.1	555	46	550	24
21	U	1200	995	795	57	14	18	1.3	575	50	555	20
22	V	1200	935	780	56	7	8	1.1	620	62	605	20
23	W	1200	1015	800	55	8	14	1.8	590	33	580	26
24	X	1150	865	805	46	9	10	1.1	605	27	590	20
25	Y	1150	970	810	49	10	11	1.1	560	17	550	22
26	Z	1150	955	795	40	13	14	1.1	580	41	570	28
27	AA	1250	1070	810	41	7	12	1.7	660	87	645	25
28	AB	1250	1085	800	52	9	10	1.1	610	64	585	22
29	AC	1150	1005	805	46	12	13	1.1	605	40	585	26
30	AD	1150	910	815	45	11	13	1.2	590	39	570	24
31	AE	1300	1100	835	50	10	14	1.4	600	44	580	20
32	AF	1300	1125	835	53	8	12	1.5	580	21	565	28
33	AG	1200	970	805	51	12	15	1.3	630	33	610	32
34	AH	1200	950	790	55	11	14	1.3	610	46	595	24
35	AI	1200	985	760	52	6	10	1.7	585	20	570	26
36	C	1350	1000	795	48	2	4	2.0	620	43	600	22
37	C	1150	1100	925	35	2	4	2.0	620	59	600	22
38	C	1150	920	795	68	2	4	2.0	620	56	600	22
39	C	1150	1000	795	48	25	35	1.4	620	3	600	22
40	C	1150	1000	795	48	12	30	2.5	620	45	600	22
41	C	1150	1000	795	48	2	4	2.0	540	11	500	22
42	C	1150	1000	815	48	2	4	2.0	770	96	750	22
43	C	1150	1000	795	48	1	2	2.0	670	59	660	22
44	C	1150	1000	795	70	30	36	1.2	560	32	550	20
45	C	1150	1000	795	48	15	29	1.9	570	2	550	22

[0202]

[0203]

얻어진 열연 강관을, 롤 성형에 의해 원통 형상의 환형 강관으로 성형하고, 그의 맞담 부분을 진봉 용접했다. 그 후, 환형 강관의 상하 좌우에 배치한 물에 의해 모서리 형상(관축 방향 수직 단면에서 볼 때 정방형 형상)으로 성형하고, 모서리부 및 평판부를 갖고, 표 4에 나타내는 변 길이(mm) 및 두께(mm)의 롤 성형 각형 강관을 얻었다.

[0204]

얻어진 열연 강관으로부터 시험편을 채취하고, 이하에 나타내는 조직 관찰, 경도 측정, 인장 시험, 샤르피 충격 시험을 실시했다.

[0205]

[조직 관찰]

[0206]

조직 관찰용의 시험편은, 열연 강관의 폭 방향 중앙부 또한 판두께 t/2의 위치(t: 판두께)(본 발명에 있어서의 판두께 중심부) 및 판 표리면 중의 강관 이면(열간 압연 시의 하면)의 위치로부터 채취했다. 강관 표면(열간 압연 시의 상면)과 강관 이면(열간 압연 시의 하면)의 조직은 동등하고, 강관 표리면의 어느 쪽으로부터 조직 관찰용 시험편을 채취해도 좋지만, 여기에서는, 조직 관찰용 시험편의 채취 위치를 강관 이면(열간 압연 시의 하면)으로 통일했다. 관찰면이 열간 압연 시의 압연 방향에 평행한 수직 단면(관찰면의 법선 방향이 판폭 방향이 되는 단면)이 되도록 하고, 연마한 후, 나이탈 부식하여 제작했다.

[0207]

또한, 최종적으로 얻어진 강관의 양면 중 어느 것이 이면인가에 대해서는, 냉각 후의 권취에 있어서, 열간 압연의 표면측(상면측)이 열연 코일의 외측이 되도록 권취하는 점에서, 권취 후의 열연 강관의 일부를 절단하면 원호 형상의 강관이 얻어지기 때문에, 원호 형상의 강관의 형상으로부터 열연 코일의 외측과 내측을 판별하여, 압연 시의 표리면을 특정했다.

- [0208] 조직 관찰은, 광학 현미경(배율: 1000배) 또는 주사형 전자 현미경(SEM, 배율: 1000배)을 이용하고, 열연 강판의 판두께 $t/2$ 위치(판두께 중심부) 및 강판 이면(판 표리면)에 있어서의 조직을 관찰하여, 관찰했다. 얻어진 광학 현미경상 및 SEM상으로부터, 페라이트, 펄라이트, 의사 펄라이트, 상부 베이나이트의 면적률을 구했다.
- [0209] 각 조직의 면적률은, 5시야에서 관찰을 행하고, 각 시야에서 얻어진 값의 평균값으로서 산출했다. 여기에서는, 조직 관찰에 의해 얻어진 면적률을, 각 조직의 면적률로 했다. 페라이트, 펄라이트, 의사 펄라이트, 상부 베이나이트의 면적률은, 광학 현미경상 또는 SEM상을 이용하고, 이하에 나타내는 형상 및 색으로 각 상을 판별하여 각 상의 면적을 산출하고, 광학 현미경상 또는 SEM상의 전체의 면적으로 나누어 각 상의 면적률을 산출했다.
- [0210] 여기에서, 페라이트는 확산 변태에 의한 생성물이고, 전위 밀도가 낮고 거의 회복한 조직을 나타낸다. 폴리곤넬 페라이트 및 의폴리곤넬 페라이트가 이에 포함된다. 펄라이트는 시멘타이트와 페라이트가 층 형상으로 나열된 조직이고, 의사 펄라이트는 페라이트 중에 점렬 형상으로 나열된 시멘타이트가 확인되는 조직이다. 또한, 상부 베이나이트는 전위 밀도가 높은 라스 형상의 페라이트와 시멘타이트의 복상 조직이다. 상기의 형상 외에, 페라이트는 백색, 펄라이트는 흑색, 의사 펄라이트는 흑색 또는 회색, 상부 베이나이트는 백색 또는 회색인 점에서 판별했다.
- [0211] 또한, 평균 결정 입경(평균 원상당 지름)은, 판두께 $t/2$ 위치(판두께 중심부)를 대상으로 하고, SEM/EBSD법을 이용하여 측정했다. 측정 영역은 $500\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m} (=0.5\text{mm}^2)$, 측정 스텝 사이즈는 $0.5\mu\text{m}$ 로 했다. 결정 입경은, 인접하는 결정립의 사이의 방위차를 구하고, 방위차가 15° 이상의 경계를 결정 입계로서 측정했다. 얻어진 결정 입계로부터 각 결정립의 입경(원상당 지름)을 산출하고, 그의 산술 평균을 구하고, 평균 결정 입경(평균 원상당 지름)으로 했다. 또한, 원상당 지름이 $40.0\mu\text{m}$ 이상인 결정립의 면적의 총합을 산출하고, 측정 영역의 면적(0.5mm^2)으로 나눔으로써, 원상당 지름이 $40.0\mu\text{m}$ 이상인 결정립의 면적률을 산출했다. 원상당 지름 및 결정립의 면적의 산출은, SEM/EBSD법의 측정으로 얻어진 데이터를 EDAX사 제조의 OIM Analysis를 이용하여 해석함으로써 얻었다.
- [0212] 또한, 결정립의 장경과 단경은, JIS R 1670(2006)에 기재된 방법으로 측정하여, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))를 산출했다. 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 수를 측정하여, 측정 영역의 면적(0.5mm^2)으로 나눔으로써, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수(개/mm)를 산출했다. 또한, 결정 입경 해석 및 결정립 개수의 측정에 있어서는, 결정 입경이 $2.0\mu\text{m}$ 미만의 것은 측정 노이즈로서 해석 대상으로부터 제외했다.
- [0213] [인장 시험]
- [0214] 얻어진 열연 강판으로부터, 인장 방향이 압연 방향과 평행해지도록, JIS5호 인장 시험편을 채취했다. 채취한 인장 시험편에 대해서, JIS Z 2241(2011)의 규정에 준거하여 인장 시험을 실시하고, 항복 강도 YS, 인장 강도 TS를 측정하여, (항복 강도)/(인장 강도)로 정의되는 항복비를 산출했다. 또한, 시험편 개수는 각 2개로 하고, 그들의 평균값을 산출하여 YS, TS, 항복비를 구했다.
- [0215] [샤르피 충격 시험]
- [0216] 얻어진 열연 강판의 판두께 t 의 $t/2$ 위치(판두께 중심부)에 있어서, 시험편 길이 방향이 압연 방향과 평행해지도록 채취한, JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거한 V 노치 표준 시험편을 이용했다. JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거하여, 시험 온도: -80°C , -60°C , -40°C , -20°C , 0°C 에서 샤르피 충격 시험을 실시했다. 또한, 시험편 개수는 각 시험 온도에서 3개로 하고, 연성-취성 전이 온도 및 흡수 에너지의 평균값(J)을 구했다.
- [0217] [경도]
- [0218] JIS Z 2244(2020)의 규정에 준거하여, 시험력 9.8N(1kgf)으로 비커스 경도를 측정했다. 각 10점 측정하고, 최대값과 최소값을 제외한 8점의 평균값을 산출하여, 평균값(8점의 비커스 경도의 합계/8)을 그 시험편의 경도로 했다. 시험편에는, 전술한 조직 관찰용의 시험편을 이용하여, 강판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치와, 판두께 중심부에 있어서 경면 연마한 후, 경도 측정을 행했다. 강판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도에 대해서는, 큰 쪽의 경도를 강판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도로 한다.
- [0219] 또한, 강판 표리면으로부터 판두께 방향으로 1.0mm 내부의 위치의 경도와 판두께 중심부의 경도의 차(경도차)를 산출했다.

[0220] 얻어진 결과를 표 3에 나타낸다.

표 3

강판 No.	평판 강도		판두께 중심부의 면적률(%)※2		평판부 결정 입자 크기		판두께 중심부의 결정 입자 크기		판 표면(판이머) 의 면적률(%)※2		열연 강관		기계 특성					비고	
	F	DP	P	DP	P	DP	F	DP	F	DP	판 표면의 경도 (HV)	판 표면과 판이머 중심보다 고경도인 쪽 (HV)	관두께 중심부의 경도 (HV)	경도 차 (HV)	항복 강도 YS (MPa)	인장 강도 TS (MPa)	확 비		-20℃에 있어 서의 샤프티티 률수 (%)
1	A	87	4	6	3	10	15.3	6	9.5	88	4	5	3	9	275	445	0.62	157	-52
2	B	86	5	7	2	12	17.9	5	7.0	85	5	7	3	12	266	440	0.61	140	-48
3	C	90	4	5	1	9	21.3	11	10.0	90	3	5	2	8	264	427	0.62	137	-45
4	D	80	6	10	4	16	20.1	3	12.5	82	5	9	4	14	283	407	0.70	124	-40
5	E	86	4	7	4	10	12.9	6	10.0	86	4	6	4	10	268	428	0.63	155	-55
6	F	87	3	7	3	10	19.9	9	10.5	88	3	6	3	9	257	411	0.63	146	-49
7	G	86	6	8	0	14	25.4	6	13.5	86	5	8	1	13	258	433	0.60	162	-61
8	H	75	10	12	3	22	20.7	0	20.0	75	10	11	4	21	276	457	0.80	124	-48
9	I	84	2	1	3	13	18.6	3	15.6	85	6	3	12	18	273	420	0.65	166	-60
10	J	86	7	7	2	12	19.6	7	18.0	86	4	7	3	12	266	434	0.62	145	-38
11	K	87	7	6	0	13	23.7	6	18.9	87	7	6	0	13	263	423	0.62	133	-33
12	L	72	10	14	4	24	19.8	0	11.3	73	9	12	4	21	220	461	0.58	119	-31
13	M	85	4	7	4	11	16.7	9	12.5	85	3	7	5	10	236	428	0.60	147	-36
14	N	89	6	5	0	11	28.9	15	5.5	89	5	5	1	10	261	430	0.61	131	-34
15	O	90	2	8	0	10	20.6	12	9.0	91	4	3	0	9	254	413	0.62	130	-35
16	P	90	5	5	0	10	23.2	10	7.5	90	4	5	1	9	257	407	0.63	118	-27
17	Q	78	9	10	3	19	17.9	1	16.5	79	8	9	4	17	249	449	0.60	120	-30
18	R	86	5	8	1	13	16.4	8	10.0	86	4	8	2	12	267	431	0.62	125	-32
19	S	87	4	5	4	9	15.5	7	9.5	88	3	4	8	14	270	430	0.63	137	-30
20	T	84	6	6	4	12	13.3	4	19.0	84	6	6	4	12	275	438	0.63	129	-33
21	U	92	2	3	3	5	14.8	8	10.5	91	2	3	4	5	269	343	0.78	132	-35
22	V	71	12	16	1	28	19.0	7	21.0	72	10	18	2	28	160	438	0.64	86	-15
23	W	57	14	19	10	33	20.3	23	19.5	60	12	17	11	29	325	413	0.79	70	-12
24	X	75	5	17	3	22	21.6	19	20.5	79	3	15	3	18	286	440	0.65	89	-16
25	Y	81	3	4	12	7	18.3	0	43.5	80	2	4	14	6	314	414	0.76	183	-62
26	Z	78	5	7	10	12	16.7	0	39.5	79	5	6	10	11	296	423	0.70	62	-10
27	AA	76	7	8	9	15	21.7	0	40.0	75	7	11	14	14	280	419	0.67	55	-8
28	AB	82	4	7	7	11	17.9	0	32.5	82	3	7	8	10	277	424	0.65	77	-12
29	AC	80	5	5	10	10	20.3	0	36.5	78	4	6	12	10	294	433	0.66	85	-10
30	AD	80	4	7	9	11	19.8	0	33.0	78	3	8	11	11	291	428	0.68	69	-9
31	AE	80	11	7	2	18	18.9	3	17.5	81	6	10	3	16	277	423	0.65	92	-17
32	AF	74	12	4	10	16	12.8	0	35.5	73	9	11	16	16	304	455	0.67	103	-19
33	AG	86	6	8	0	14	20.5	8	23.0	86	6	7	1	13	251	408	0.62	91	-15
34	AH	77	4	6	13	10	19.0	0	37.0	77	4	5	14	3	316	407	0.76	144	-41
35	AI	96	3	1	0	4	34.2	21	4.5	92	4	2	2	6	227	285	0.77	54	-4
36	C	87	4	6	3	10	35.8	23	20.5	89	3	6	2	9	236	369	0.61	89	-14
37	C	89	5	5	1	10	33.6	24	21.0	90	4	5	1	9	257	407	0.63	91	-13
38	C	87	4	5	4	9	23.4	18	32.5	87	4	4	5	8	276	440	0.63	101	-16
39	C	72	3	4	21	7	15.2	0	21.5	69	2	4	25	6	348	443	0.78	159	-55
40	C	80	3	5	12	8	17.6	3	16.0	79	3	4	14	7	335	436	0.77	96	-17
41	C	83	4	5	8	9	18.7	5	13.0	83	3	5	9	8	326	430	0.76	139	-46
42	C	85	6	9	0	15	38.7	0	4.5	86	6	7	1	13	231	377	0.61	76	-13
43	C	95	4	1	0	5	33.7	22	6.5	91	6	2	1	8	246	354	0.69	69	-10
44	C	70	4	2	24	6	8.9	0	25.5	65	5	2	28	7	354	468	0.77	169	-62
45	C	65	7	6	22	13	15.3	0	26.5	62	7	5	26	12	381	421	0.79	145	-49

※2: F: 페라이트, P: 페라이트, DP: 의사 페라이트, B: 상부 베이스나이트

[0221] 또한, 얻어진 각형 강관(롤 성형 각형 강관)으로부터 시험편을 채취하고, 이하에 나타내는 인장 시험, 샤르피 충격 시험을 실시했다.

[0222] [인장 시험]

[0223] 도 2는, 평판부의 인장 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략도이다.

[0224] 인장 시험은, 도 2에 나타내는 바와 같이, 인장 방향이 관측 방향과 평행해지도록, 각형 강관의 평판부로부터 JIS5호 인장 시험편을 채취했다. 채취한 인장 시험편에 대해서, JIS Z 2241(2011)의 규정에 준거하여 인장 시험을 실시하고, 항복 강도 YS, 인장 강도 TS를 측정하여, (항복 강도)/(인장 강도)로 정의되는 항복비를 산출했다. 또한, 평판부의 인장 시험편은, 각형 강관의 용접부를 12시 방향으로 했을 때의 3시의 변부에 있어서의, 평판부의 폭 중앙부의 위치(도 2 중, 부호 X 참조)로부터 채취했다. 또한, 시험편 개수는 각 2개로 하고, 그들

의 평균값을 산출하여 YS, TS, 항복비를 구했다.

[0226] [샤르피 충격 시험]

[0227] 도 3은, 샤르피 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략도이다.

[0228] 샤르피 충격 시험은, 도 3에 나타내는 바와 같이, 각형 강관의 관 외면으로부터 두께 t의 t/4 위치에 있어서, 시험편 길이 방향이 관축 방향과 평행해지도록, 각형 강관의 평판부로부터 채취한, JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거한 V 노치 표준 시험편을 이용했다(도 3 중, 부호 Y 참조). JIS Z 2242(2018)의 규정에 준거하여, 시험 온도: -60℃, -40℃, -20℃, 0℃, +20℃에서 샤르피 충격 시험을 실시했다. 또한, 시험편 개수는 각 시험 온도에서 3개로 하고, 연성-취성 전이 온도 및 흡수 에너지의 평균값(J)을 구했다.

[0229] 얻어진 결과를 표 4에 나타낸다.

표 4

강관 No.	각형 강관							비고
	일변의 길이 (mm)	두께 (mm)	기계 특성				연성-취성 전이 온도 (°C)	
			항복 강도 YS (MPa)	인장 강도 TS (MPa)	항복비	-20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지		
1	300	24	390	462	0.84	132	-42	본 발명에
2	450	28	407	458	0.89	118	-26	본 발명에
3	300	22	327	438	0.75	109	-21	본 발명에
4	500	26	351	422	0.83	103	-23	본 발명에
5	550	32	399	446	0.89	121	-28	본 발명에
6	450	26	350	423	0.83	108	-20	본 발명에
7	500	22	355	447	0.79	106	-22	본 발명에
8	500	25	382	467	0.82	131	-45	본 발명에
9	400	24	357	426	0.84	90	-10	본 발명에
10	350	25	401	444	0.90	106	-27	본 발명에
11	200	20	385	432	0.89	112	-26	본 발명에
12	200	24	334	479	0.70	119	-29	본 발명에
13	250	20	330	439	0.75	120	-30	본 발명에
14	300	20	359	448	0.80	105	-24	본 발명에
15	400	22	375	426	0.88	98	-15	본 발명에
16	450	26	346	418	0.83	96	-17	본 발명에
17	400	25	382	465	0.82	104	-21	본 발명에
18	450	28	404	448	0.90	111	-15	본 발명에
19	550	32	386	440	0.88	127	-31	본 발명에
20	300	24	377	449	0.84	106	-13	본 발명에
21	250	20	339	361	0.94	102	-12	비교예
22	250	20	359	444	0.81	22	8	비교예
23	400	26	401	423	0.95	17	10	비교예
24	300	20	384	454	0.85	21	7	비교예
25	350	22	401	433	0.93	101	-26	비교예
26	400	28	384	439	0.87	38	-1	비교예
27	400	25	371	432	0.86	31	3	비교예
28	350	22	374	434	0.86	39	-4	비교예
29	550	26	357	450	0.79	37	-2	비교예
30	550	24	360	441	0.82	28	0	비교예
31	500	20	329	446	0.74	38	-2	비교예
32	550	28	389	469	0.83	25	5	비교예
33	550	32	375	427	0.88	30	2	비교예
34	300	24	394	417	0.94	105	-24	비교예
35	300	26	262	377	0.69	36	10	비교예
36	300	22	285	402	0.71	35	2	비교예
37	300	22	319	420	0.76	37	-2	비교예
38	300	22	342	446	0.77	33	0	비교예
39	300	22	441	457	0.96	118	-32	비교예
40	300	22	415	446	0.93	31	-3	비교예
41	300	22	402	441	0.91	121	-33	비교예
42	300	22	275	389	0.71	26	4	비교예
43	300	22	283	396	0.71	55	2	비교예
44	300	20	465	478	0.97	125	-44	비교예
45	300	22	399	437	0.91	112	-30	비교예

[0230] 표 3, 4 중, 강 No. 1~20은 본 발명에이고, 강 No. 21~45는 비교예이다.

[0231]

- [0232] 표 3에 나타내는 바와 같이, 본 발명예의 열연 강관은, 모두 관두께 중심부 및 관 표면부에 있어서의 강 조직이, 합계의 면적률 6~25%의 펄라이트 및 의사 펄라이트, 면적률 5% 이하의 상부 베이나이트를 포함하고, 또한 관두께 중심부에 있어서, 서로 이웃하는 결정의 방위차 15° 이상의 경계에 의해 둘러싸이는 영역을 결정립으로 했을 때, 관두께 중앙부의 강 조직의 평균 결정 입경이 10.0~30.0 μ m, 원상당 지름이 40.0 μ m 이상인 결정립의 면적률이 20% 이하이고, 장경과 단경의 비(=(장경)/(단경))가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 이하이고, 또한, 강관 표면과 관두께 중심부의 경도차가 40HV 이하였다. 또한, 항복 강도가 250MPa 이상, 인장 강도가 400MPa 이상, 항복비가 0.75 이하, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 100J 이상, 연성-취성 전이 온도가 -20℃ 이하였다.
- [0233] 또한, 표 4에 나타내는 바와 같이, 본 발명예의 열연 강관을 이용하여 제조한 각형 강관은, 모두 평판부에 있어서의 항복 강도가 295MPa 이상, 평판부에 있어서의 인장 강도가 400MPa 이상, 평판부에 있어서의 항복비가 0.90 이하, 평판부의 -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지가 40J 이상, 평판부의 연성-취성 전이 온도가 -5℃ 이하였다.
- [0234] 비교예의 No. 21(강 U)은, Mn/Si=0.8이고, 본 발명의 범위 외로 되어 있었기 때문에, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 6% 미만인 되어, 인장 강도 및 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0235] 비교예의 No. 22(강 V)는, Mn/Si=7.9이고, 본 발명의 범위 외로 되어 있었기 때문에, 펄라이트 및 의사 펄라이트의 합계의 면적률이 25% 초과가 되어, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0236] 비교예의 No. 23(강 W)은, C의 함유량이 본 발명의 범위를 상회하고 있었기 때문에, 제2상의 면적률이 본 발명의 범위 외가 되고, 또한, 결정 입경(원상당 지름) 40.0 μ m 이상인 결정립의 면적률이 20% 초과가 되어, 항복비, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0237] 비교예의 No. 24(강 X)는, Si의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 의사 펄라이트의 면적률이 과도하게 증가하여, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0238] 비교예의 No. 25(강 Y)는, Mn의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0239] 비교예의 No. 26(강 Z)은, Nb의 함유량이 본 발명의 범위를 상회하여, 상부 베이나이트의 양이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0240] 비교예의 No. 27(강 AA)은, Ti의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되고, 또한, 조대한 탄화물이나 질화물이 형성되었다고 생각된다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되고, 그 결과, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0241] 비교예의 No. 28(강 AB)은, V의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0242] 비교예의 No. 29(강 AC)는, Cr의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0243] 비교예의 No. 30(강 AD)은, Mo의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 30개/mm² 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, -20℃에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0244] 비교예의 No. 31(강 AE)은, Cu의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, Cu가 조대하게 석출됐다고 생각

된다. 그 결과, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.

- [0245] 비교예의 No. 32(강 AF)는, Ni의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 $30\text{개}/\text{mm}^2$ 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0246] 비교예의 No. 33(강 AG)은, Ca의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, Ca 산화물 클러스터가 형성되었다고 생각된다. 그 결과, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0247] 비교예의 No. 34(강 AH)는, B의 함유량이 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 장경과 단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 $30\text{개}/\text{mm}^2$ 초과가 되고, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0248] 비교예의 No. 35(강 AI)는, C의 함유량이 본 발명의 범위를 하회하고 있었기 때문에, 펠라이트 및 의사 펠라이트의 합계의 면적률이 6% 미만인 되고, 평균 결정 입경이 $30.0\mu\text{m}$ 초과가 되고, 추가로 결정 입경(원상당 지름) $40.0\mu\text{m}$ 이상인 결정립의 면적률이 20% 초과가 되어, 항복 강도, 인장 강도, 항복비, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0249] 비교예의 No. 36(강 C)은, 슬래브 가열 온도가 본 발명의 범위를 상회하고 있고, 결정립이 조대화하여, 평균 결정 입경이 $30.0\mu\text{m}$ 초과가 되고, 결정 입경(원상당 지름) $40.0\mu\text{m}$ 이상인 결정립의 면적률이 20% 초과가 되었다. 그 결과, 항복 강도, 인장 강도, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0250] 비교예의 No. 37(강 C)은, 마무리 압연 종료 온도가 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 930°C 이하에서의 합계 압하율이 본 발명의 범위를 하회하고, 조대한 베이나이트의 생성을 억제할 수 없어, 평균 결정 입경이 $30.0\mu\text{m}$ 초과가 되고, 결정 입경(원상당 지름) $40.0\mu\text{m}$ 이상인 결정립의 면적률이 20% 초과가 되었다. 그 결과, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0251] 비교예의 No. 38(강 C)은, 930°C 이하에서의 합계 압하율이 본 발명의 범위를 상회하고 있고, 압연 방향으로 신장한 조대한 베이나이트가 생성되어, 장경/단경의 비가 3.0 이상인 결정립의 개수가 $30\text{개}/\text{mm}^2$ 초과가 되었다. 그 결과, 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0252] 비교예의 No. 39(강 C)는, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 V_c 가 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 나아가서는 공냉 시간이 본 발명의 범위를 하회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되어, 본 발명의 범위 외가 되었다. 그 결과, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0253] 비교예의 No. 40(강 C)은, V_s/V_c 가 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되어, 강판 표층부에 다량의 상부 베이나이트가 생성했다고 생각된다. 그 결과, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0254] 비교예의 No. 41(강 C)은, 냉각 정지 온도 및 권취 온도가 본 발명의 범위를 하회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되었다. 그 결과, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0255] 비교예의 No. 42(강 C)는, 냉각 정지 온도 및 권취 온도가 본 발명의 범위를 상회했기 때문에, 평균 결정 입경이 $30.0\mu\text{m}$ 초과가 되었다. 그 결과, 항복 강도, 인장 강도, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0256] 비교예의 No. 43(강 C)은, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 V_c 가 본 발명의 범위를 하회했기 때문에, 평균 결정 입경이 $30.0\mu\text{m}$ 초과가 되고, 입경 $40.0\mu\text{m}$ 이상인 면적률이 20% 초과가 되고, 또한, 판두께 중심부의 펠라이트 및 의사 펠라이트의 합계의 면적률이 6% 미만인 되어, 항복 강도, 인장 강도, -20°C 에 있어서의 샤르피 흡수 에너지 및 연성-취성 전이 온도가 소망하는 값에 도달하지 않았다.
- [0257] 비교예의 No. 44(강 C)는, 930°C 이하에서의 합계 압하율이 본 발명의 범위를 상회하고 있고, 판두께 중심부의 평균 냉각 속도 V_c 가 본 발명의 범위를 크게 상회했기 때문에, 상부 베이나이트의 면적률이 5% 초과가 되고, 또한, 평균 결정 입경이 $10.0\mu\text{m}$ 미만인 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.

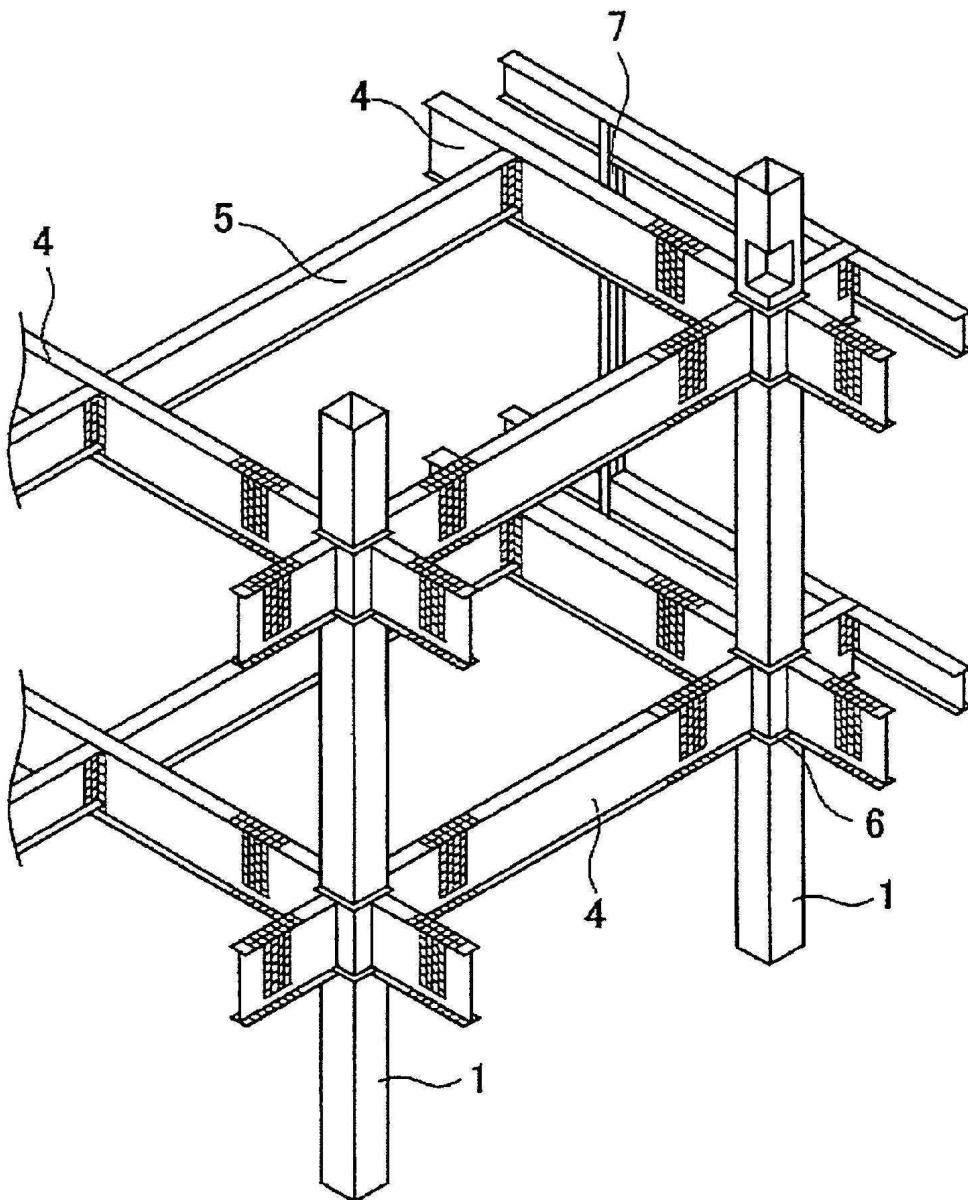
[0258] 비교예의 No. 45(강 C)는, 공냉 시간이 본 발명의 범위를 하회했기 때문에, 판 표층부와 판두께 중앙부의 온도차가 커졌다고 추정된다. 그 결과, 강판 표층부에 다량의 베이나이트가 생성되고, 그 결과, 경도차가 40HV 초과가 되어, 항복비가 소망하는 값에 도달하지 않았다.

부호의 설명

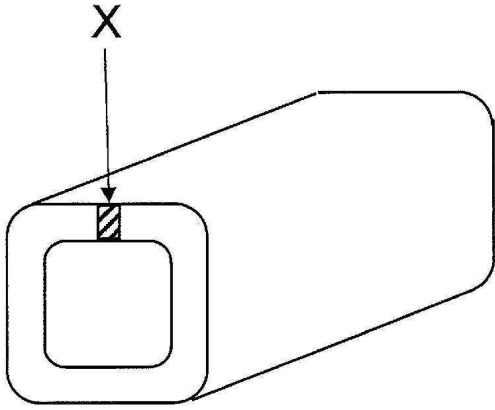
- [0259] 1 : 각형 강관
 4 : 대들보
 5 : 소들보
 6 : 다이어프램
 7 : 샷기둥

도면

도면1



도면2



도면3

