



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0138356
(43) 공개일자 2015년12월09일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 38/00 (2006.01) B21B 3/00 (2006.01)
 C21D 8/06 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)
 C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)
 C22C 38/12 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)
 C22C 38/24 (2006.01) C22C 38/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
 C22C 38/00 (2013.01)
 B21B 3/00 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7031549
- (22) 출원일자(국제) 2014년04월23일
 심사청구일자 2015년11월03일
- (85) 번역문제출일자 2015년11월03일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2014/061460
- (87) 국제공개번호 WO 2014/175345
 국제공개일자 2014년10월30일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2013-092775 2013년04월25일 일본(JP)
 JP-P-2013-092782 2013년04월25일 일본(JP)

- (71) 출원인
 신닛테츠스미킨 카부시카이샤
 일본 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
- (72) 발명자
 오오바 히로시
 일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이샤 내
 이소 아라타
 일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이샤 내
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 장수길, 성재동

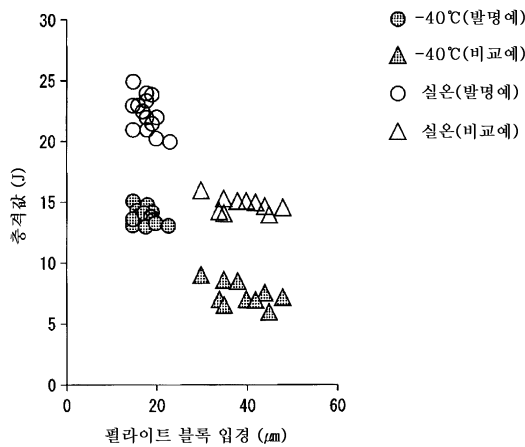
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 선재 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 선재는 소정의 성분 조성을 갖고, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하며, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 펠라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 이하이고, 상기 선재 축 방향에 수직인 상기 단면에 있어서 40 μ m 이상의 상기 입경을 갖는 상기 펠라이트 블록의 개수 밀도가 0 내지 20개/mm이다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

C21D 8/06 (2013.01)
C22C 38/001 (2013.01)
C22C 38/02 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/12 (2013.01)
C22C 38/14 (2013.01)
C22C 38/24 (2013.01)
C22C 38/32 (2013.01)

(72) 발명자

다다 다츠세이

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메
6방 1고 신타테즈스미킨카부시카이사 내

마나베 도시유키

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메
6방 1고 신타테즈스미킨카부시카이사 내

명세서

청구범위

청구항 1

성분 조성이, 질량%로

C: 0.60 내지 1.20%,

Si: 0.30 내지 1.30%,

Mn: 0.30 내지 0.90%,

P: 0.020% 이하,

S: 0.020% 이하,

N: 0.0025 내지 0.0060%,

Cr: 0 내지 1.00% 및

V: 0 내지 0.800%를 함유하고,

Al: 0.005 내지 0.100%,

Ti: 0.003 내지 0.050%,

B: 0.0005 내지 0.0040%

중 1종 또는 2종 이상을 더 함유하며,

잔부가 Fe 및 불순물을 포함하고,

선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 이하이며,

상기 선재 축 방향에 수직인 상기 단면에 있어서 40 μ m 이상의 상기 입경을 갖는 상기 펄라이트 블록의 개수 밀도가 0 내지 20개/mm²인

것을 특징으로 하는, 선재.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 성분 조성이, 질량%로

Cr: 0.10 내지 1.00% 및

V: 0.005 내지 0.800%

중 1종 또는 2종을 함유하는

것을 특징으로 하는, 선재.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 성분 조성이, 질량%로

C: 0.70 내지 0.90%,

Si: 0.80 내지 1.30%,

Mn: 0.60 내지 0.90% 및

V: 0 내지 0.500%

를 함유하는 것을 특징으로 하는, 선재.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 성분 조성이, 질량%로

Cr: 0.50 내지 1.00% 및

V: 0.300 내지 0.500%

중 1종 또는 2종을 함유하는

것을 특징으로 하는, 선재.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 기재된 상기 성분 조성을 갖는 강편을 950 내지 1040℃의 조압연 온도로 가열하여 조압연을 행하는 공정과,

750 내지 900℃의 마무리 압연 온도에서 선재 마무리 압연을 행하는 공정과,

이어서 730 내지 840℃의 권취 온도에서 권취를 행하는 공정과,

그 후, 15℃/초 이상의 냉각 속도로 상온까지 에어 블라스트 냉각을 행하는 공정을

구비하고,

상기 선재 마무리 압연에 있어서의 상기 마무리 압연 온도와 변형 속도가 하기 식 A를 만족시키는

것을 특징으로 하는, 선재의 제조 방법.

$$13.7 \leq \log_{10} \{ (d\varepsilon / dt) \times \exp(63800 / (1.98 \times (T + 273.15))) \} \leq 16.5 \quad (\text{식 A})$$

단, $d\varepsilon / dt$ 는 상기 선재 마무리 압연 시의 상기 변형 속도를 단위 s^{-1} 로 나타내고, T는 상기 마무리 압연 온도를 단위 $^{\circ}C$ 로 나타냄.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 주로 에너지 관련 시설의 LNG(액화천연가스) 탱크에 사용하는 PC 구조 보강용의 PC강연선의 재료인, 저온 연성 및 저온 인성이 우수한 선재에 관한 것이다.

[0002] 본 출원은, 2013년 4월 25일에 일본에서 출원된 일본 특허 출원 제2013-092782호 및 2013년 4월 25일에 일본에서 출원된 일본 특허 출원 제2013-092775호에 기초하여 우선권을 주장하며, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0003] LNG 탱크는 지상식 및 지하식으로 분류된다. 본 발명은 지상식 LNG용의 선재 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 지상식 LNG 탱크의 종래 기술로서는, 특허문헌 1 등에서 제창되어 있는, 금속제의 내조 및 외조를 구비하는, 소위, 금속 이중 셸식의 LNG 탱크가 있다.

[0004] 금속 이중 셸식의 LNG 탱크에서는 통상, 내조 및 외조 사이의 간극부에 보냉제를 충만시켜, LNG 탱크 내의 온도 상승과 그에 수반하는 LNG의 기화를 억제하고 있다. 단, 이 구조는, 내조 및 외조에 동시에 결함이 발생한 경우에 대량의 LNG가 유출되는 등의 피해가 발생할 가능성을 갖는다. 이 때문에, 최근에는 안전성을 더 높이기 위하여, PC 구조(Prestressed Concrete Structure)를 구비한 PC 방액제를 LNG 탱크의 외측에 배치하고, 이 PC 방액제의 내측을 종래의 금속 이중 셸식의 LNG 탱크와 일체화시키는 기술이 등장하였다.

[0005] 이 기술에 있어서의 PC 방액제는, LNG 탱크를 둘러싸는 원형 방액제를 형성하는 콘크리트와, 이 콘크리트의 내부에 매설된 PC강연선을 구비한다. PC강연선을 사용하여 콘크리트를 원주 방향을 따라 긴장시킴으로써 PC 방액제에 프리스트레스를 부여한다. LNG가 PC 방액제의 내부 LNG 탱크로부터 유출된 경우, 유출된 LNG의 액압에 의하여 PC 방액제에는 그 원주 방향으로 인장 응력이 가해지지만, PC 방액제에 프리스트레스가 부여되어 있으면 이 인장 응력이 완화된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2006-234137호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그러나 PC 방액제는 LNG 탱크 내부의 LNG에 열을 빼앗김으로써 항상 저온 상태이다. 또한 상술한 바와 같이 LNG의 누출이 발생한 경우에는, -162℃ 이하의 온도인 LNG와 콘크리트가 접촉함으로써, 콘크리트의 내부에서 PC 방액제를 보강하고 있는 PC강연선의 주위의 온도가 크게 저하될 수 있다. PC강연선의 저온 연성 및 저온 인성이 충분히 높지 않은 경우, PC강연선이 파단되어 PC 방액제가 파손될 우려가 있다. 이 때문에, 종래의 PC강연선용의 선재보다도 저온 연성 및 저온 인성이 우수한 선재가 요구되게 되었다. 본 발명은 이러한 시장의 요구에 부응하기 위하여, 저온 연성 및 저온 인성이 종래의 PC강연선용의 선재보다도 우수한 선재를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명자들은 PC식 LNG 탱크(PC 방액제를 구비하는 LNG 탱크)를 구성하고 있는 PC 방액제에 있어서의 긴장 부여 효과를 높이기 위하여 PC 방액제의 사용 환경의 실태 조사를 행하였다. 그 결과, 실제의 사용 환경에 있어서는, LNG 탱크 내부의 LNG에의 전열에 의하여 선재는 -40℃ 전후의 분위기 온도에 노출될 가능성이 있음을 알 수 있었다.

[0009] 따라서 종래의 PC강연선보다도 높은 저온 연성 및 저온 인성을 갖는 선재를 얻기 위한 방법에 대하여 다양한 검토를 행하였다. 구체적으로는, 먼저 저온 연성에 대하여 검토하기 위하여, 도 3에 도시되는 특수 형상을 갖는 인장 시험편을 선재로부터 제작하여 이 인장 시험편으로 인장 시험을 실시하였다. 또한 저온 인성에 대하여 검토하기 위하여, JIS Z 2202에 규정된 5mm 서브사이즈 샤프피 충격 시험편을 선재로부터 제작하여 이 시험편에 2mmU 노치 시험을 행하고, 이 시험에 의하여 얻어진 파면 형태의 특징과 샤프피 흡수 에너지의 관계를 조사하였다. 이들 시험의 결과로부터, 선재의 펠라이트 블록 입경의 평균값과, 조대한 펠라이트 블록의 개수 밀도가 -40℃에서의 저온 연성 및 파면 단위에 영향을 미치는 것을 알아내고, 이것이 저온 연성 및 저온 인성의 개선으로 이어지는 것을 확인하였다.

[0010] 그리고 상기 지건에 기초하면, 종래의 PC강연선용 선재보다도 저온 연성 및 저온 인성이 우수한 선재를 제공하는 것이 가능한 것을 알 수 있었다.

[0011] 즉, 상기 과제를 해결하는 것을 목적으로 하는 본 발명의 요지는 이하와 같다.

[0012] (1) 본 발명의 일 형태에 관한 선재는, 성분 조성이, 질량%로 C: 0.60 내지 1.20%, Si: 0.30 내지 1.30%, Mn: 0.30 내지 0.90%, P: 0.020% 이하, S: 0.020% 이하, N: 0.0025 내지 0.0060%, Cr: 0 내지 1.00% 및 V: 0 내지 0.800%를 함유하고, Al: 0.005 내지 0.100%, Ti: 0.003 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0040% 중 1종 또는 2종 이상을 더 함유하며, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하고, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 펠라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 이하이며, 상기 선재 축 방향에 수직인 상기 단면에 있어서 40 μ m 이상의 상기 입경을 갖는 상기 펠라이트 블록의 개수 밀도가 0 내지 20개/㎟이다.

[0013] (2) 상기 (1)에 기재된 선재는, 상기 성분 조성이, 질량%로 Cr: 0.10 내지 1.00% 및 V: 0.005 내지 0.800% 중 1종 또는 2종을 함유해도 된다.

[0014] (3) 상기 (1)에 기재된 선재는, 상기 성분 조성이, 질량%로 C: 0.70 내지 0.90%, Si: 0.80 내지 1.30%, Mn:

0.60 내지 0.90% 및 V: 0 내지 0.500%를 함유해도 된다.

[0015] (4) 상기 (3)에 기재된 선재는, 상기 성분 조성이, 질량%로 Cr: 0.50 내지 1.00% 및 V: 0.300 내지 0.500% 중 1종 또는 2종을 함유해도 된다.

[0016] (5) 본 발명의 다른 형태에 관한 선재의 제조 방법은, 상기 (3) 또는 (4)에 기재된 상기 성분 조성을 갖는 강편을 950 내지 1040℃의 조압연 온도로 가열하여 조압연을 행하는 공정과, 750 내지 900℃의 마무리 압연 온도에서 선재 마무리 압연을 행하는 공정과, 이어서 730 내지 840℃의 권취 온도에서 권취를 행하는 공정과, 그 후, 15℃/초 이상의 냉각 속도로 상온까지 에어 블라스트 냉각을 행하는 공정을 구비하고, 상기 선재 마무리 압연에 있어서의 상기 마무리 압연 온도와 변형 속도가 하기 식 A를 만족시킨다.

$$13.7 \leq \log_{10} \{ (d\varepsilon / dt) \times \exp(63800 / (1.98 \times (T + 273.15))) \} \leq 16.5 \quad (\text{식 A})$$

[0017]

[0018] 단, $d\varepsilon / dt$ 는 상기 선재 마무리 압연 시의 상기 변형 속도를 단위 s^{-1} 로 나타내고, T는 상기 마무리 압연 온도를 단위 ℃로 나타낸다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 상기 형태에 따르면, 펄라이트 블록 입경의 소형화 및 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도의 제한에 의하여, PC식 LNG 탱크의 PC 방액제의 긴장재로서 사용하는 데 적합한 PC강연선용 선재이며, -40℃ 근방에 있어서의 연성 및 인성이 종래 선재보다도 양호한 선재를 제공하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0020]

- 도 1은 선재의 평균 펄라이트 블록 입경과 선재의 드로잉값의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 2는 선재의 제조 공정에 있어서의 Z값과 선재의 펄라이트 블록 입경의 관계를 나타내는 그래프이다.
- 도 3은 저온 인장 시험편의 형상을 도시하는 도면이다.
- 도 4는 JIS Z 2202에 규정된 5mm 서브사이즈 샤르피 충격 시험편의 채취 위치를 도시하는 도면이다.
- 도 5a는 스텔모어법에 의하여 제조된 발명예의 펄라이트 블록 입경을 도시하는 도면이다.
- 도 5b는 비교예의 펄라이트 블록 입경을 도시하는 도면이다.
- 도 6은 발명예(No 6) 및 비교예(No 17)의 -40℃에서의 연성을 나타내는 도면이다.
- 도 7a는 DLP법에 의하여 제조된 발명예의 펄라이트 블록 입경을 도시하는 도면이다.
- 도 7b는 비교예의 펄라이트 블록 입경을 도시하는 도면이다.
- 도 8은 펄라이트 블록 입경(μm)과 흡수 에너지(샤르피 충격값)(J)의 관계를 나타내는 도면이다.
- 도 9a는 본 발명예의 충격 시험편의 파면을 SEM으로 관찰한 결과를 도시하는 사진이다.
- 도 9b는 비교예의 충격 시험편의 파면을 SEM으로 관찰한 결과를 도시하는 사진이다.
- 도 10은 스텔모어법에 의한 선재의 제조 방법의 일례를 도시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021]

본 실시 형태에 관한 저온 연성 및 저온 인성이 우수한 PC강연선용 선재(이하, 「본 실시 형태에 관한 선재」라고 하는 경우가 있음)는, 성분 조성이, 질량%로 C: 0.60 내지 1.20%, Si: 0.30 내지 1.30%, Mn: 0.30 내지 0.90%, P: 0.020% 이하, S: 0.020% 이하, N: 0.0025 내지 0.0060%, Cr: 0 내지 1.00% 및 V: 0 내지 0.800%를 함유하고, Al: 0.005 내지 0.100%, Ti: 0.003 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0040% 중 1종 또는 2종 이상을 더 함유하며, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하고, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μm 이하이며, 상기 선재 축 방향에 수직인 상기 단면에 있어서 40 μm 이상의 상기 입경을 갖는 상기 펄라이트 블록의 개수 밀도가 0 내지 20개/ mm^2 이다.

- [0022] 먼저, 본 실시 형태에 관한 선재의 성분 조성의 한정 이유에 대하여 설명한다. 이하, %는 질량%를 의미한다.
- [0023] (C: 0.60 내지 1.20%)
- [0024] C는 선재 중의 시멘타이트 분율을 높이고, 이것에 의하여 선재의 강도를 높이는 작용을 갖는 원소이다. 페이턴팅 조건을 조정함으로써 펠라이트의 라멜라 간격을 제어하고, 또한 가공에 의하여 선재의 강도를 높이는 것이 가능하다. 그러나 C 함유량이 0.60%를 하회하면, 설령 상술한 페이턴팅 조건의 조정을 행했다고 하더라도 PC 식 LNG 탱크의 PC 방액제를 충분히 긴장시킬 수 있는 강도가 얻어지지 않게 된다.
- [0025] 선재의 C 함유량이 1.20%를 초과하면 선재의 금속 조직 중에 망목형 시멘타이트가 발생한다. 이 망목형 시멘타이트에 의하여 신선 가공 중에 단선이 다발하여, 선재의 생산 활동에 지장을 초래하는 경우가 있다.
- [0026] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로서, 후술하는 바와 같이 DLP(Direct in-Line Patenting)법 및 스텔모어법 중 어느 것도 채용할 수 있지만, 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, C 함유량을 0.70 내지 0.90%로 하는 것이 바람직하다. 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, 선재의 냉각 속도가 DLP법에 의한 제조 시보다도 느려져 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 이 강도 저하를 보충하기 위하여 C 함유량의 하한값을 0.70%로 하는 것이 바람직하다. 또한 C 함유량이 과잉 증대되면 선재가 과공석강(펠라이트와 시멘타이트가 공존하는 조직을 갖는 강)으로 되므로, 선재를 냉각하는 공정에 있어서 구 오스테나이트 입경에 초석 시멘타이트가 망목형으로 생성된다. 이 망목형 초석 시멘타이트는 선재의 신선 가공성을 현저히 저하시킨다. 망목형 초석 시멘타이트의 석출을 회피하기 위해서는 C 함유량의 상한값을 0.90%로 하는 것이 바람직하다. C 함유량은, 더욱 바람직하게는 0.80 내지 0.90%이다.
- [0027] (Si: 0.30 내지 1.30%)
- [0028] Si는 정련 시에 탈산 원소로서 작용하는 원소이다. 0.30% 이상의 Si가 함유된 경우에 이 탈산 효과가 충분히 발현된다. 따라서 본 실시 형태에 관한 선재의 Si 함유량의 하한값은 0.30%이다. Si는 선재의 강도를 향상시키는 효과도 갖는데, 0.80% 이상의 Si가 함유된 경우에 이 강도 향상 효과가 발현된다. 따라서 본 실시 형태에 관한 선재의 Si 함유량의 하한값을 0.80%로 해도 된다. 또한 Si는 펠라이트의 고용 강화를 행하지만, 열처리 시의 항온 변태의 노즈를 높이는 작용이 있으므로 과잉량의 Si는 열처리의 비용을 증대시킨다. 따라서 제조 설비의 능력을 고려하여 Si 함유량의 상한을 1.30%로 한다.
- [0029] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로서, DLP법 및 스텔모어법 중 어느 것을 채용해도 되지만, 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, Si 함유량을 0.80 내지 1.30%로 하는 것이 바람직하다. 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, 선재의 냉각 속도가 DLP법에 의한 제조 시보다도 느려져 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 이 강도 저하를 보충하기 위하여 Si 함유량의 하한값을 0.80%로 하는 것이 바람직하다. Si 함유량은, 더욱 바람직하게는 0.90 내지 1.25%이다.
- [0030] (Mn: 0.30 내지 0.90%)
- [0031] Mn은 고용 강화 원소이며, 선재의 연성 및 인성을 향상시키는 효과와, 켄칭성을 향상시키는 효과를 갖는다. 선재의 연성 및 인성을 확보하기 위하여 0.30% 이상의 Mn을 함유시킬 필요가 있다. 또한 선재의 연성을 더 높이기 위하여 Mn 함유량의 하한값을 0.60%로 해도 된다. 한편, Mn 함유량이 0.90%를 초과하면 선재의 제조 시에 선재의 중심부에서 변태 지연이 발생하고, 이것에 의하여 미변태 오스테나이트부에 마이크로마르텐사이트가 생성된다. 이 선재 중심부의 마이크로마르텐사이트는 선재의 신선 가공 시에 단선을 발생시킨다. 따라서 Mn 함유량의 상한값을 0.90%로 할 필요가 있다.
- [0032] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로서, DLP법 및 스텔모어법 중 어느 것도 채용할 수 있지만, 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, Mn 함유량을 0.60 내지 0.90%로 하는 것이 바람직하다. 스텔모어법을 사용하여 선재를 제조하는 경우, 선재의 냉각 속도가 DLP법에 의한 제조 시보다도 느려져 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 이 강도 저하를 보충하기 위하여 Mn 함유량의 하한값을 0.60%로 하는 것이 바람직하다. Mn 함유량은, 더욱 바람직하게는 0.70 내지 0.90%이다.
- [0033] (P: 0.020% 이하)
- [0034] (S: 0.020% 이하)
- [0035] P는 강을 취화시키는 작용을 갖는다. 따라서 P 함유량의 상한값을 0.020%로 할 필요가 있다. 또한 선재의 저온 취화의 방지를 더욱 확실하게 행하는 경우에는 P 함유량의 상한값을 0.010%, 0.005% 또는 0.001%로 해도

된다.

- [0036] S는 선재 중의 Mn과 결합하여 MnS를 형성하는 원소이다. S는 강을 정련 및 응고시키는 과정에서 강의 중심부에 편석하므로 강의 중심부에 MnS가 집적되는데, 이 MnS는 강의 저온 연성을 저하시킨다. S 함유량이 0.020%를 초과한 경우에 이 저온 연성의 저하가 현저해지므로, S 함유량은 0.020% 이하로 한다. 또한 선재의 저온 취화의 방지를 더욱 확실하게 행하는 경우에는 S 함유량의 상한값을 0.010%, 0.005% 또는 0.001%로 해도 된다.
- [0037] 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서, P 및 S의 함유량은 낮은 쪽이 바람직하다. 따라서 P 및 S 각각의 함유량의 하한값은 0%이다.
- [0038] (N: 0.0025 내지 0.0060%)
- [0039] N은 Al, Ti 및 B와 결합하여 질화물을 형성하는 원소이다. 이들 질화물은 오스테나이트의 석출핵으로 되므로, 이들 질화물의 개수를 제어함으로써 강의 가열 시에 오스테나이트 입경을 제어할 수 있다. 질화물의 양이 증가하면 결정립이 미세화된다. N 함유량이 0.0025% 미만이면 질화물을 충분히 형성하지 않아, 입경의 미세화 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 한편, N 함유량이 0.0060%를 초과하면, Al, Ti 및 B와 결합하지 않는 프리 N이 과잉으로 된다. 이 과잉 프리 N에 의하여 시효 경화가 일어나 선재의 연성 및 인성이 저하된다. 따라서 N 함유량은 0.0025 내지 0.0060%로 할 필요가 있다. 바람직하게는, N 함유량은 0.0025 내지 0.0040%이다.
- [0040] 본 실시 형태에 관한 선재는 상기 원소 외에, Al: 0.005 내지 0.100%, Ti: 0.003 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0040% 중 1종 또는 2종 이상을 더 함유한다.
- [0041] (Al: 0.005 내지 0.100%)
- [0042] Al은 강의 정련 시에 탈산재로서 작용한다. 또한 Al은 강 중의 N과 화합물을 형성하여 N을 고정하는 작용을 갖는다. N을 고정함으로써 강의 시효 경화를 방지할 수 있다. 또한 B를 동시에 함유하는 경우에는 N을 고정함으로써 고용 B양을 증가시킬 수 있다.
- [0043] 그러나 Al 함유량이 0.005% 미만이면 Al에 의한 N 고정의 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 한편, Al 함유량이 0.100%를 초과하면, 강 중의 산소와 결합하여 생성되는 Al₂O₃이 클러스터를 형성한다. 이 클러스터는 신선 가공 시에 균열의 기점으로 된다. 따라서 Al 함유량을 0.005 내지 0.100%로 해도 된다. 바람직하게는, Al 함유량은 0.020 내지 0.050%이다.
- [0044] (Ti: 0.003 내지 0.050%)
- [0045] Ti는 Al과 마찬가지로 강의 탈산재로서 작용한다. 또한 Ti는 강 중의 N과 화합물을 형성하여 N을 고정하는 작용을 갖는다. N을 고정함으로써 강의 시효 경화를 방지할 수 있다. 또한 B를 동시에 함유하는 경우에는 N을 고정함으로써 고용 B양을 증가시킬 수 있다.
- [0046] 그러나 Ti 함유량이 0.003% 미만이면 Ti에 의한 N 고정의 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 한편, Ti 함유량이 0.050%를 초과하면, 강 중의 탄소와 결합하여 생성되는 TiC가 증가한다. 이 TiC는 신선 가공 시에 균열의 기점으로 된다. 따라서 Ti 함유량을 0.003 내지 0.050%로 해도 된다. 바람직하게는, Ti 함유량은 0.020 내지 0.040%이다.
- [0047] 또한 상술한 바와 같이 Al과 Ti는 마찬가지로의 효과를 갖는다. 따라서 Ti의 첨가에 의하여 Al의 첨가량을 저감시킬 수 있으며, 이 경우에도 마찬가지로의 효과가 얻어진다.
- [0048] (B: 0.0005 내지 0.0040%)
- [0049] B는 오스테나이트 중에 고용 B로서 존재한 경우, 선재의 켈칭성을 향상시키는 작용을 갖는다. B 함유량이 0.0005% 미만이면 켈칭성 향상의 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 한편, B 함유량이 0.0040%를 초과하면, B가 Fe 및 C와 화합물을 형성하여 Fe₂₃(C, B)₆ 등의 석출물을 형성한다. 이 석출물은 신선 가공 시의 균열의 기점으로 된다. 따라서 B 함유량을 0.0005 내지 0.0040%로 해도 된다. 바람직하게는, B 함유량은 0.0009 내지 0.0030%이다.
- [0050] 또한 본 실시 형태에 관한 선재는 상기 원소 외에, 질량%로 Cr: 0 내지 1.00%, V: 0 내지 0.800%를 더 함유해도 된다.
- [0051] (Cr: 0 내지 1.00%)

- [0052] 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서, Cr의 함유는 필수적이지는 않다. 따라서 Cr 함유량의 하한값은 0%이다. 그러나 Cr은 펄라이트의 라멜라 간격을 작게 하여 선재의 강도를 높이는 작용을 갖는다. 이 작용에 의하여 신선 가공 시의 선재의 강도 상승이 커진다. 이 효과는 Cr 함유량이 0.10% 이상인 경우에 얻어지므로, Cr 함유량을 0.10% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또한 강도를 더욱 향상시키는 경우, 0.50% 이상의 Cr을 함유시키는 것이 바람직하다. Cr 함유량이 1.00%를 초과하면 펄라이트 변태의 종료 시간이 길어져, 선재의 냉각 과정에서 과냉 조직이 생성되어 선재의 연성이 열화된다. 따라서 Cr 함유량의 상한을 1.00%로 하는 것이 바람직하다.
- [0053] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로서, DLP법 및 스텔모어법 중 어느 것도 채용할 수 있지만, 스텔모어법을 사용하여 제조하는 경우, Cr 함유량을 0.50 내지 1.00%로 하는 것이 더욱 바람직하다. 스텔모어법을 사용하여 제조하는 경우, 선재의 냉각 속도가 DLP법에 의한 제조 시보다도 느려져 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 이 강도 저하를 보충하기 위하여 Cr 함유량의 하한값을 0.5%로 하는 것이 더욱 바람직하다. Cr 함유량은, 가일층 바람직하게는 0.50 내지 0.90%이다.
- [0054] (V: 0 내지 0.800%)
- [0055] 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서, V의 함유는 필수적이지는 않다. 따라서 V 함유량의 하한값은 0%이다. 그러나 V는 C와 결합하여 페라이트 중에 탄화물로서 석출되는 원소이다. 이 탄화물의 석출에 의하여 페라이트가 경화되어 선재를 고강도화할 수 있다. 이 작용은 V를 0.005% 이상 함유한 경우에 얻어진다. 그러나 V 함유량이 0.800%를 초과하면 조대한 탄화물이 석출된다. 이 조대한 탄화물은 선재의 가공 시에 균열의 기점으로 된다. 따라서 V 함유량은 0.005% 이상 0.800% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0056] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로서, DLP법 및 스텔모어법 중 어느 것도 채용할 수 있지만, 스텔모어법을 사용하여 제조하는 경우, V 함유량을 0.300 내지 0.500%로 하는 것이 더욱 바람직하다. 스텔모어법을 사용하여 제조하는 경우, 선재의 냉각 속도가 DLP법에 의한 제조 시보다도 느려져 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 이 강도 저하를 보충하기 위하여 V 함유량의 하한값을 0.300%로 하는 것이 더욱 바람직하다. 또한 가공 변형을 받은 된 경우에 VC 석출물의 지철 계면부에 마이크로크랙 보이드가 형성되기 때문에, V 함유량의 상한값을 0.500%로 하는 것이 더욱 바람직하다. V 함유량은, 가일층 바람직하게는 0.300 내지 0.400%이다.
- [0057] (잔부: Fe 및 불순물)
- [0058] 본 실시 형태에 관한 선재의 성분 조성의 잔부는 Fe 및 불순물을 포함한다. 불순물이란, 강재를 공업적으로 제조할 때, 광석 또는 스크랩 등과 같은 원료, 또는 제조 공정의 다양한 요인에 의하여 혼입되는 성분이며, 본 실시 형태에 관한 선재의 특성에 악영향을 미치지 않는 범위에서 허용되는 것을 의미한다.
- [0059] (선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 펄라이트 블록 입경의 평균값: 23 μ m 이하)
- [0060] 본 실시 형태에서는, 펄라이트 블록 입계는, 방위 차가 9° 이상인 인접하는 2개의 펄라이트의 경계라고 정의되고, 펄라이트 블록은 펄라이트 블록 입계에 의하여 둘러싸인 영역이라고 정의되며, PBS(펄라이트 블록 입경)는 펄라이트 블록의 원 상당 직경이라고 정의된다. 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서는, 상술한 바와 같이 성분 조성이 규정되는 것 외에, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 평균 PBS(펄라이트 블록 입경)가 23 μ m 이하로 된다.
- [0061] 평균 PBS(펄라이트 블록 입경)가 23 μ m를 초과하는 경우, 선재의 드로잉값이 저하된다. 본 실시 형태에 관한 선재는 30% 이상의 드로잉값을 가질 필요가 있다. 과거의 제조 실적을 감안하여, 선재의 신선 가공에 있어서 신선 중의 단선 등을 방지하기 위해서는 30% 이상의 드로잉값이 필요한 것이 판명되어 있다. 본 발명자들이 검토한 결과, 평균 펄라이트 블록 입경과 드로잉값 사이에는 도 1의 그래프에 의하여 나타나는 관계가 있음을 알 수 있었다. 도 1로부터, 평균 PBS(펄라이트 블록 입경)가 23 μ m 이하인 경우에 30% 이상의 드로잉값이 얻어지는 것을 알 수 있다. 또한 평균 PBS(펄라이트 블록 입경)가 23 μ m를 초과하는 경우, 균열 선단부의 분기 빈도가 저하된다. 균열 선단부의 분기는 균열 전파를 억제하는 효과를 가지므로, 균열 선단부의 분기 빈도가 저하됨으로써 파면 단위가 커져 저온 연성 및 저온 인성이 저하된다. 그 때문에 평균 PBS(펄라이트 블록 입경)를 23 μ m 이하로 한다. 바람직하게는, 평균 펄라이트 블록 입경은 18 μ m 이하이다.
- [0062] EBSD 장치를 사용하면, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 임의인 개소에 있어서의, 임의의 크기의 시야각 내의, 펄라이트 블록의 원 상당 직경의 평균값을 얻을 수 있다. 본 실시 형태에 있어서의 선재의 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 평균 PBS는 이하의 수순에 따라 구해진다. 먼저, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 (1) 표층부

(선재 표면으로부터 30 μ m의 깊이의 영역), (2) 1/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 1/4의 깊이의 영역), (3) 중심부, (4) 3/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 3/4의 깊이의 영역. 즉, 선재 중심부에 대하여 (2)의 반대측의 영역) 및 (5) 반대측의 표층부(즉, 선재 중심부에 대하여 (1)의 반대측의 영역)로 이루어지는 5개소 각각에 있어서, 300 μ m \times 180 μ m의 시야각 내의 펄라이트 블록의 원 상당 직경의 평균값(1차 평균값)을 EBSD 장치를 사용하여 측정한다. 다음으로, 각 1차 평균값의 평균값(2차 평균값)을 산출한다. 이 2차 평균값이, 본 실시 형태에 있어서의 선재의 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 평균 PBS이다.

[0063] (선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 0 내지 20개/mm²)

[0064] 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서는, 상술한 바와 같이 성분 조성 및 펄라이트 블록 입경의 평균값이 규정되는 것 외에, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록 입경이 40 μ m 이상인 펄라이트 블록의 개수 밀도를 0 내지 20개/mm²로 한다.

[0065] 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록은 파괴의 기점으로 되므로, 설령 그 개수가 소수였다고 하더라도 선재의 연성 및 인성을 저하시킨다. 본 실시 형태에 관한 선재에 있어서는, 상술한 바와 같이 펄라이트 블록 입경의 평균값을 제어하는 것 외에, 조대 펄라이트 블록의 생성을 억제하는 것도 필요해진다. 이러한 이유에 의하여 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도를 제한한다. 이하, 「40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록」을 「조대 펄라이트 블록」 또는 「조대 PB」라고 칭하는 경우가 있다.

[0066] 선재 축 방향에 수직인 상기 단면에 있어서, 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된 경우, 선재의 연성 및 인성이 요구 수준을 만족시키지 않게 된다. 따라서 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도를 20개/mm² 이하로 제한할 필요가 있다. 바람직하게는, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도의 상한값은 18개/mm²이다. 조대 펄라이트 블록은 적은 편이 바람직하므로, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도의 하한값은 0개/mm²이다.

[0067] EBSD 장치를 사용하면, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 임의의 개소에 있어서의, 임의의 크기의 시야각 내의, 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도를 얻을 수 있다. 본 실시 형태에 있어서의, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록 입경이 40 μ m 이상인 펄라이트 블록의 개수 밀도는 이하의 수순에 따라 구해진다. 먼저, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 (1) 표층부(선재 표면으로부터 30 μ m의 깊이의 영역), (2) 1/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 1/4의 깊이의 영역), (3) 중심부, (4) 3/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 3/4의 깊이의 영역, 즉, 선재 중심부에 대하여 (2)의 반대측의 영역) 및 (5) 반대측의 표층부(즉, 선재 중심부에 대하여 (1)의 반대측의 영역)로 이루어지는 5개소 각각에 있어서, 300 μ m \times 180 μ m의 시야각 내의 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도를 EBSD 장치를 사용하여 측정한다. 다음으로, 각 개소의 개수 밀도의 평균값을 산출한다. 이 평균값이, 본 실시 형태에 있어서의 선재의 축 방향에 수직인 단면에 있어서 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도이다.

[0068] 다음으로, 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에 대하여 설명한다.

[0069] 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법으로는 DLP(Direct in-Line Patenting)법 및 스텔모어법이 있다.

[0070] 스텔모어법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 도 10에 도시된 바와 같이 (1) 질량%로 C: 0.70 내지 0.90%, Si: 0.80 내지 1.30%, Mn: 0.60 내지 0.90%, P: 0.020% 이하, S: 0.020% 이하, N: 0.0025 내지 0.0060%, Cr: 0 내지 1.00% 및 V: 0 내지 0.500%를 함유하고, Al: 0.005 내지 0.100%, Ti: 0.003 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0040% 중 1종 또는 2종 이상을 더 함유하며, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하는 성분 조성을 갖는 강편을 950 내지 1040 $^{\circ}$ C의 조압연 온도로 가열하고 난 후에 조압연을 행하고, (2) 750 내지 900 $^{\circ}$ C의 마무리 압연 온도에서 선재 마무리 압연을 행하며, (3) 730 내지 840 $^{\circ}$ C의 권취 온도에서 권취를 행하고, (4) 15 $^{\circ}$ C/초 이상의 냉각 속도로 상온까지 에어 블라스트 냉각을 행한다. 이때, 마무리 압연 온도와 변형 속도가 하기 식 1의 관계를 만족시킬 필요가 있다.

$$13.7 \leq \log_{10} \{ (d\varepsilon/dt) \times \exp(63800 / (1.98 \times (T + 273.15))) \} \leq 16.5 \quad (\text{식 1})$$

[0071]

[0072] 단, $d\varepsilon/dt$ 는 선재 마무리 압연 시의 변형 속도를 단위 s^{-1} 로 나타내고, T는 마무리 압연 온도를 단위 $^{\circ}$ C로 나타낸다.

[0073] 또한 스텔모어법에 의한 제조를 행하는 경우, 강편이, 질량%로 Cr: 0.50 내지 1.00% 및 V: 0.300 내지 0.500

% 중 1종 또는 2종을 더 함유해도 된다.

[0074] (조압연에 제공하는 강편의 성분 조성: 상술한 규정 범위 내)

[0075] 스텔모어법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 조압연에 제공하는 강편의 성분 조성은 상술한 규정 범위 내로 할 필요가 있다. 이 규정 범위는, 본 실시 형태에 관한 선재의 성분 조성으로서 상술된 규정 범위보다도 좁다. 스텔모어법은 권취 후에 에어 블라스트 냉각을 행하는 제조 방법이며, 에어 블라스트 냉각에 의한 냉각 속도는, 후술하는 DLP법에 있어서의 용융염에 의한 직접 열처리의 냉각 속도보다도 느리다. 냉각 속도가 느린 경우, 최종적으로 얻어지는 선재의 연성 및 인성이 비교적 낮아진다. 따라서 스텔모어법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우에는, DLP법에 있어서의 용융염에 의한 직접 열처리를 행하는 경우보다도, 연성 및 인성의 향상을 위하여 합금 원소인 C, Mn 및 Si를 비교적 많이 함유시킬 필요가 있다. 또한 스텔모어법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조할 때, Cr 및 V를 함유시킴으로써 선재의 특성을 향상시키는 경우에는, Cr 및 V도, DLP법에 있어서의 용융염에 의한 직접 열처리를 행하는 경우보다도 비교적 많이 함유시키는 것이 바람직하다.

[0076] (조압연에 제공하기 전의 강편의 가열 온도: 950 내지 1040℃)

[0077] 스텔모어법에 의한, 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에서는, 조압연에 제공하기 전의 강편의 가열 온도(조압연 온도)를 950 내지 1040℃로 한다. 조압연 전의 강편의 가열 온도가 950℃ 미만인 경우, 선재 압연 시의 풀 반력이 급격히 증가하여 풀 크랙 손상 등의 설비 트러블이 발생하는 경우가 있다. 따라서 조압연 전의 강편의 가열 온도를 950℃ 이상으로 한다. 한편, 조압연 전의 강편의 가열 온도가 1040℃를 초과하면, 강편 중에 석출되어 있는 질화알루미늄(AlN)의 용체화가 과잉 진행된다. AlN은 상술한 바와 같이 오스테나이트의 석출 핵으로 되어, 오스테나이트의 결정립경에 미세화에 기여한다. 제조 단계의 선재 오스테나이트 입경을 미세화함으로써, 최종적으로 얻어지는 선재의 펄라이트 입경을 미세화할 수 있다. 그러나 AlN의 용체화가 과잉 진행된다면 오스테나이트 결정립경의 조대화가 진행된다. 이 경우, 나중에 선재를 제조한 단계에서 선재의 PBS가 조대화된다. 이 경우, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23μm 초과로 되고, 및/또는 40μm 이상의 상기 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다. 이러한 현상을 회피하기 위하여 조압연 전의 강편의 가열 온도를 1040℃ 이하로 한다.

[0078] (선재 마무리 압연의 온도: 750 내지 900℃)

[0079] 스텔모어법에 의한, 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에서는, 선재 마무리 압연을 750 내지 900℃의 온도 영역에서 행한다. 선재 마무리 압연의 온도(마무리 압연 온도)가 750℃ 미만인 경우, 압연 시의 풀 반력의 증가에 의하여 풀 크랙 손상 등의 설비 트러블이 발생하는 경우가 있으므로, 선재 마무리 압연의 온도를 750℃ 이상으로 한다. 한편, 선재 마무리 압연의 온도가 900℃를 초과하면 오스테나이트 결정립경이 조대화된다. 이 경우, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23μm 초과로 되고, 및/또는 40μm 이상의 상기 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다. 펄라이트 블록의 조대화에 의하여 선재의 연성이 열화된다. 이러한 현상을 회피하기 위하여 선재 마무리 압연의 온도를 900℃ 이하로 한다.

[0080] (선재 마무리 압연 시의 마무리 압연 온도와 변형 속도와의 관계: $13.7 \leq \log_{10}Z \leq 16.5$)

[0081] 스텔모어법에 의한 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에서는, 추가로 선재 마무리 압연 시의 마무리 압연 온도와 변형 속도 사이의 관계를 규정할 필요가 있다. 구체적으로는, 선재 마무리 압연 시의 선재의 변형 속도 $d\varepsilon/dt$, 선재의 소성 변형의 활성화 에너지 Q 및 선재 마무리 압연 시의 마무리 압연 온도 T 를, 이하의 식 2에 의하여 표시되는 Zener-Hollomon의 식에 대입하여 얻어지는 Z 값(Zener-Hollomon parameter)의 상용 로그($\log_{10}Z$)가 13.7 내지 16.5일 필요가 있다.

[0082]
$$Z = (d\varepsilon/dt) \times \exp(Q/RT) \quad (\text{식 } 2)$$

[0083] 「 $d\varepsilon/dt$ 」는 변형 속도를 단위 s^{-1} 로 나타내는 것이다. 「 R 」은 기체상수이며, 그 값은 1.98cal/mol·deg이다. 「 T 」는 마무리 압연 온도를 단위 K로 나타내는 것이다. 마무리 압연 온도의 단위를 ℃로 하는 경우, 식 2에 있어서의 「 T 」를 「 $(T+273.15)$ 」로 할 필요가 있다. 「 Q 」는 선재의 소성 변형의 활성화 에너지를 나타낸다. 상술된 화학 조성을 갖는, 본 실시 형태에 관한 선재의 소성 변형의 활성화 에너지는 63800cal/mol이라 간주된다.

[0084] 본 실시 형태에 관한 제조 방법에 있어서는, 선재 마무리 압연 시의 선재의 변형 속도 $d\varepsilon/dt$ 를 이하의 식에 의하여 구할 수 있다.

[0085] $d \varepsilon / d t = \varepsilon \times 2 \times \pi \times (N / 60) \times L_d$ (식 3)

[0086] $\varepsilon = \ln (h_2 / h_1)$ (식 4)

[0087] $L_d = (r / \Delta h)^{1/2}$ (식 5)

[0088] $\Delta h = h_1 - h_2$ (식 6)

[0089] 「 ε 」은 선재 마무리 압연 시의 변형량이며, 무차원수이다. 「 h_1 」은 선재 마무리 압연 전의 선재의 직경을 단위 mm로 나타내는 것이고, 「 h_2 」는 선재 마무리 압연 후의 선재의 직경을 단위 mm로 나타내는 것이다. 「 N 」은 선재 마무리 압연을 행하는 롤의 회전수를 단위 rpm으로 나타내는 것이다. 「 L_d 」는 선재 마무리 압연 시의 투영 접촉 길이를 단위 mm로 나타내는 것이다. 투영 접촉 길이란, 압연 시에 롤과 피압연재(선재)가 접촉하고 있는 영역의, 압연 방향을 따른 길이이다. r 은 선재 마무리 압연 시의 롤 반경을 단위 mm로 나타내는 것이다. Δh 는 선재 마무리 압연 시의 압하량을 단위 mm로 나타내는 것이다. 식 3 내지 식 6으로부터 알 수 있는 바와 같이, 변형 속도란, 압연 속도 및 압하율의 양쪽에 관계하는 압연 조건이다.

[0090] 본 발명자들이 검토한 결과, 선재 마무리 압연 시의 Z값과, 최종적으로 얻어지는 선재의 평균 펄라이트 블록 입경 사이에는, 도 2에 나타나는 상관 관계가 있음을 알 수 있었다. 도 2로부터 알 수 있는 바와 같이, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 평균 펄라이트 블록 입경을 23 μ m 이하로 하기 위해서는 $\log_{10}Z$ 를 13.7 이상으로 할 필요가 있다. 또한 40 μ m 이상의 입경을 갖는 조대한 펄라이트 블록의 개수 밀도를 0 내지 20개/mm²로 억제하기 위해서도, 마찬가지로 $\log_{10}Z$ 를 13.7 이상으로 할 필요가 있다. 한편, $\log_{10}Z$ 를 16.5 초과로 하는 것은 설비 능력을 고려하면 곤란하다. Zener-Hollomon의 식을 보면 알 수 있는 바와 같이, Z값을 크게 하기 위해서는 압연 온도를 낮추는 것과 변형 속도를 크게 하는 것이 필요해지기 때문이다. 따라서 스텔모어법을 사용한 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에서는, $\log_{10}Z$ 의 상한값을 16.5로 하였다. $\log_{10}Z$ 는, 바람직하게는 14.0 내지 16.0이다. $\log_{10}Z$ 가 상술한 범위를 하회한 경우, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 초과로 되고, 및/또는 40 μ m 이상의 상기 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다.

[0091] 선재 마무리 압연의 속도(마무리 압연 속도)는 $\log_{10}Z$ 가 13.7 내지 16.5의 범위 내인 한, 특별히 한정되지 않는다. 바람직한 선재 마무리 압연의 속도는, 예를 들어 선 직경이 12mm인 선재를 제조하는 경우, 15.5 내지 25.2m/초이다. 선재 마무리 압연의 속도가 15.5m/초 미만이면 변형 속도가 저하된다. 이 경우, PBS를 충분히 작게 할 수 없는 경우가 있다. 따라서 선재 마무리 압연의 속도는 15.5m/초 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, 선재 마무리 압연의 속도가 25.2m/초를 초과하면, 가공 시의 발열이 커져 오스테나이트 결정립경이 조대화되는 경우가 있다. 이 경우에도 PBS를 미세화할 수 없다. 상술한 식 3 내지 6으로부터 알 수 있는 바와 같이, 선 직경이 12mm가 아닌 선재를 제조하는 경우에는, $\log_{10}Z$ 가 13.7 내지 16.5의 범위 내로 되도록 선재 마무리 압연 속도를 상술한 범위로부터 적절히 변경할 필요가 있다.

[0092] (권취 온도: 730 내지 840℃)

[0093] (권취 후의 에어 블라스트 냉각 속도: 15℃/초 이상)

[0094] 스텔모어법에 의한 본 실시 형태에 관한 선재의 제조 방법에서는, 선재 마무리 압연에 이어서 선재를 730 내지 840℃로 권취하고, 그 후, 15℃/초 이상의 냉각 속도로 에어 블라스트 냉각을 행한다. 권취 온도가 730℃ 미만이면 스케일 생성량이 적어져 메커니컬 디스케일링성이 열화되므로, 권취 온도를 730℃ 이상으로 한다. 권취 온도가 840℃를 초과하면 오스테나이트 입경이 커진다. 이 경우, 최종적으로 얻어지는 선재의 펄라이트 블록 입경을 23 μ m 이하로 조절할 수 없게 되고, 및/또는 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다. 따라서 권취 온도를 840℃ 이하로 한다. 권취 온도는, 바람직하게는 750 내지 820℃이다.

[0095] 권취 후의 선재를 에어 블라스트 냉각에 의하여 상온까지 냉각한다. 상온이란, 기본적으로 JIS Z 8703에 미리 정해져 있는 바와 같이 5 내지 35℃의 온도 영역을 나타낸다. 그때, 냉각 속도가 15℃/초 미만(즉, 완냉각)이면 오스테나이트 입경이 커져, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펄라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 초과로 되고, 및/또는 40 μ m 이상의 상기 입경을 갖는 펄라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다. 이것에 의하여, 최종적으로 얻어지는 선재의 연성이 열화된다. 따라서 에어 블라스트 냉각 시의 냉각 속도를 15℃/초

이상으로 한다. 에어 블라스트 냉각 시의 냉각 속도는, 바람직하게는 25℃/초 이상이다. 에어 블라스트 냉각 시의 냉각 속도의 상한값을 규정할 필요는 없지만, 설비 능력을 고려하면 그 상한값은 약 50℃/초이다.

[0096] DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, (1) 성분 조성이, 질량%로 C: 0.60 내지 1.20%, Si: 0.30 내지 1.30%, Mn: 0.30 내지 0.90%, P: 0.020% 이하, S: 0.020% 이하, N: 0.0025 내지 0.0060%, Cr: 0 내지 1.00% 및 V: 0 내지 0.800%를 함유하고, Al: 0.005 내지 0.100%, Ti: 0.003 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0040% 중 1종 또는 2종 이상을 더 함유하며, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하는 성분 조성을 갖는 강편을 950 내지 1040℃로 가열하고 난 후에 선재 압연을 행하고, (2) 750 내지 800℃의 온도 영역에서 권취를 행하며, (3) 권취 종료 후, 즉시 500 내지 600℃의 용융염으로 직접 열처리를 실시한다.

[0097] 또한 DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 원재료인 강편이, 질량%로 Cr: 0.10 내지 1.00% 및 V: 0.005 내지 0.800% 중 1종 또는 2종을 더 함유해도 된다.

[0098] (선재 압연에 제공하는 강편의 성분 조성: 상술한 규정 범위 내)

[0099] DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 선재 압연에 제공하는 강편의 성분 조성은 상술한 규정 범위 내로 할 필요가 있다. 이 규정 범위는, 본 실시 형태에 관한 선재의 성분 조성으로서 상술된 규정 범위와 동일하다. DLP법에 의한 제조 방법은, 연성 및 인성의 향상을 위한 합금 원소가 비교적 적은 강편으로부터 연성 및 인성이 우수한 선재가 얻어진다는 이점이 있다. 단, DLP법에 의한 제조 방법에서는 용융염에 의한 직접 열처리가 필수적이므로, 이 제조 방법의 실시를 위해서는 스틸모어법에 의한 제조 방법보다도 많은 설비가 필요해진다.

[0100] (선재 압연의 가열 온도: 950 내지 1040℃)

[0101] DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 강편의 선재 압연 전의 가열 온도를 950 내지 1040℃로 한다. 가열 온도를 950℃ 미만으로 한 경우, 선재 압연 시의 롤 반력이 현저히 증가하여 롤 크랙 손상 등의 설비 트러블이 발생할 우려가 있으므로, 선재 압연 전의 가열 온도를 950℃ 이상으로 한다. 한편, 선재 압연 전의 가열 온도가 1040℃를 초과하면, 강편 중에 석출되어 있는 질화알루미늄(AlN)의 용체화가 진행되어 오스테나이트 결정립경의 조대화가 진행되고, 최종적으로 얻어지는 선재의 펠라이트 블록 입경(PBS)이 조대화된다. 이 경우, 선재 축 방향에 수직인 단면에 있어서 펠라이트 블록의 입경의 평균값이 23 μ m 초과로 되고, 및/또는 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펠라이트 블록의 개수 밀도가 20개/mm² 초과로 된다. 이러한 현상을 회피하기 위하여 선재 압연 전의 가열 온도를 1040℃ 이하로 한다. 선재 압연 전의 가열 온도는, 바람직하게는 980 내지 1030℃이다. 또한 선재 압연에 있어서의 마무리 온도는 특별히 제한되지 않으며, 합리적인 온도를 적절히 선택할 수 있다.

[0102] (권취 온도: 750 내지 800℃)

[0103] DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 선재 압연 후의 권취 온도를 750 내지 800℃로 한다. 권취 온도가 750℃ 미만이면, 나중의 항온 변태 처리 공정에서의 항온 변태 후에 선재의 길이 방향의 인장 강도의 변동이 커진다. 따라서 권취 온도를 750℃ 이상으로 한다. 권취 온도가 800℃를 초과하면 오스테나이트 입경이 커진다. 이 경우, 최종적으로 얻어지는 선재의 펠라이트 블록 입경을 23 μ m 이하로 조절할 수도, 40 μ m 이상의 입경을 갖는 펠라이트 블록의 개수 밀도를 20개/mm² 이하로 조절할 수도 없게 되므로, 권취 온도를 800℃ 이하로 한다.

[0104] (항온 변태 처리 방법: 직접 열처리)

[0105] (항온 변태 처리 온도: 500 내지 600℃)

[0106] DLP법에 의하여 본 실시 형태에 관한 선재를 제조하는 경우, 선재를 권취한 후, 즉시 500 내지 600℃의 용융염에 침지시켜 항온 변태 처리를 행한다. 항온 변태 처리 온도가 500℃ 미만이면 선재의 표층부에 비(非)펠라이트 조직이 많이 생성된다. 이 경우, 선재의 내부에 생성되어 있는 펠라이트 조직과, 선재의 표층부의 비펠라이트 조직의 계면에 있어서 가공 변형의 불균일이 발생하며, 이 불균일은 신선 가공 단계에서 단선을 발생시키는 경우가 있다. 따라서 항온 변태 처리의 온도는 500℃ 이상으로 한다. 항온 변태 처리 온도가 600℃를 초과하면, 설비의 열변형이 커지는 등의 조업상의 문제가 발생하므로, 항온 변태 처리 온도는 600℃ 이하로 한다. 또한 이 항온 변태 처리는 직접 열처리(온라인 열처리)에 의하여 행해질 필요가 있다. 만약 직접 열처리가 행해지지 않은 경우(즉, 오프라인 열처리에 의하여 항온 변태 처리가 행해진 경우), 오프라인 열처리가 포함하는 재가열 공정에 의하여 γ 입자의 성장이 발생한다. 이 현상은 선재의 PBS의 입경을 23 μ m 이하로 제어하는 것을

방해한다.

- [0107] 실시예
- [0108] 다음으로, 본 발명의 실시예에 대하여 설명한다. 실시예를 제작한 때의 여러 조건은 본 발명의 실시 가능성 및 효과를 확인하기 위하여 채용된 조건예이며, 본 발명은 이 조건예에 한정되지 않는다. 본 발명은, 본 발명의 요지를 일탈하지 않고 본 발명의 목적을 달성하는 한, 다양한 조건을 채용할 수 있는 것이다.
- [0109] (실시예)
- [0110] 이하, 스텔모어법을 사용한 제조 방법에 의한 실시예에 대하여 설명한다.
- [0111] 먼저, 표 1-1에 나타내는 성분 조성의 용강을 연속 주조하여 300mm×500mm의 주조편으로 하고, 이어서 분괴 압연에 의하여 이 주조편을 122mm 제곱의 강편으로 압연하였다. 그 후, 표 1-2에 나타내는 가열 온도에서 강편을 가열하고, 추가로 표 1-2에 나타내는 조건에서 강편을 압연함으로써 12mmφ의 선재를 얻었다. 선재 마무리 압연 시의 롤의 반경은 75.5mm였다. No. S1 내지 S16은 본 발명의 조건을 만족시키는 발명예이며, No. S17 내지 S41은 본 발명의 조건을 만족시키지 않는 비교예이다.
- [0112] 압연한 선재로부터 도 3에 도시하는 인장 시험편을 제조하였다. 이 인장 시험편에, -40℃의 저온 분위기에서 드라이아이스 및 알코올로 온도 조절하면서 인장 시험을 행함으로써, 선재의 -40℃에서의 인장 강도와 연성을 측정하였다.
- [0113] 또한 상기 선재로부터 JIS Z 2202에 규정된 샤르피 충격 시험편을, 도 4에 도시하는 채취 방법으로 채취함으로써, 5mm 서브사이즈의 2mmU 노치 샤르피 충격 시험편을 제작하였다. 이들 샤르피 충격 시험편에 -40℃에서의 샤르피 충격 시험을 행함으로써, LNG 탱크의 PC 방액제의 실사용 환경 온도에 가까운 -40℃의 온도에서의 선재의 충격값을 구하였다.
- [0114] 선재의 평균 PBS(필라이트 블록 입경)는 이하의 수순에 따라 구해졌다. 먼저, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 (1) 표층부(선재 표면으로부터 30μm의 깊이의 영역), (2) 1/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 1/4의 깊이의 영역), (3) 중심부, (4) 3/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 3/4의 깊이의 영역, 즉, 선재 중심부에 대하여 (2)의 반대측의 영역) 및 (5) 반대측의 표층부(즉, 선재 중심부에 대하여 (1)의 반대측의 영역)로 이루어지는 5개소 각각에 있어서, 300μm×180μm의 시야각 내의 필라이트 블록의 원 상당 직경의 평균값(1차 평균값)을 EBSD 장치를 사용하여 측정하였다. 다음으로, 각 1차 평균값의 평균값(2차 평균값)을 산출하였다. 이 2차 평균값을, 선재의 축 방향에 수직인 단면에 있어서의 평균 PBS로 하였다. 또한 EBSD 장치로의 측정 시에는, 방위 차가 9° 이상인 인접하는 2개의 필라이트의 경계를 필라이트 블록 입계라고 판단하였다.
- [0115] 선재의, 조대 필라이트 블록의 개수 밀도는 이하의 수순에 따라 구해졌다. 먼저, 선재의 축 방향에 수직인 단면의 (1) 표층부(선재 표면으로부터 30μm의 깊이의 영역), (2) 1/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 1/4의 깊이의 영역), (3) 중심부, (4) 3/4 D부(선재 표면으로부터 선재의 직경 D의 3/4의 깊이의 영역, 즉, 선재 중심부에 대하여 (2)의 반대측의 영역) 및 (5) 반대측의 표층부(즉, 선재 중심부에 대하여 (1)의 반대측의 영역)로 이루어지는 5개소 각각에 있어서, 300μm×180μm의 시야각 내의 40μm 이상의 입경을 갖는 필라이트 블록의 개수 밀도를 EBSD 장치를 사용하여 측정하였다. 다음으로, 각 개소의 개수 밀도의 평균값을 산출하였다. 이 평균값을, 선재의 축 방향에 수직인 단면에 있어서 40μm 이상의 입경을 갖는 필라이트 블록의 개수 밀도로 하였다.

[0116]

[표 1-1]

No	화학 성분 단위: 질량%										
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	Cr	V
S1	0.70	0.80	0.76	0.017	0.010	0.020	0.038	0.0024	0.0031	0.50	-
S2	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S3	0.88	0.90	0.72	0.008	0.006	-	0.048	-	0.0047	-	-
S4	0.88	1.00	0.73	0.006	0.009	0.025	0.005	0.0035	0.0041	0.50	0.320
S5	0.90	0.90	0.80	0.009	0.007	0.042	0.010	0.0019	0.0060	0.50	0.310
S6	0.85	0.85	0.90	0.010	0.010	0.032	-	0.0020	0.0045	-	0.400
S7	0.90	0.85	0.72	0.012	0.000	0.033	0.025	0.0040	0.0035	0.60	-
S8	0.87	1.30	0.70	0.015	0.005	0.040	0.035	0.0036	0.0025	-	-
S9	0.87	0.95	0.71	0.015	0.006	0.060	-	0.0028	0.0036	-	-
S10	0.87	0.96	0.74	0.011	0.009	0.060	-	-	0.0025	-	0.500
S11	0.87	0.98	0.75	0.020	0.007	-	0.015	0.0030	0.0042	0.66	-
S12	0.90	1.30	0.60	0.016	0.009	0.005	0.011	0.0029	0.0036	0.56	-
S13	0.90	0.82	0.70	0.009	0.008	0.035	0.005	-	0.0039	-	-
S14	0.90	0.82	0.70	0.009	0.008	-	-	0.0035	-	-	-
S15	0.90	0.85	0.74	0.007	0.010	0.028	0.023	0.0033	0.0029	0.80	0.400
S16	0.90	0.85	0.74	0.007	0.010	0.028	0.023	0.0033	0.0029	0.80	0.400
S17	0.70	0.85	<u>0.35</u>	0.020	<u>0.022</u>	0.005	-	-	-	-	-
S18	0.82	<u>0.75</u>	0.81	<u>0.022</u>	0.019	0.030	-	-	-	-	-
S19	<u>0.50</u>	0.80	0.76	0.017	0.010	0.020	0.038	0.0024	0.0031	0.50	-
S20	<u>1.03</u>	0.85	0.74	0.007	0.010	0.028	0.023	0.0033	0.0029	0.80	0.400
S21	<u>0.92</u>	0.91	0.75	0.035	0.023	0.033	-	-	-	-	-
S22	0.82	<u>1.38</u>	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S23	0.82	0.85	<u>1.10</u>	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S24	0.82	0.85	<u>0.30</u>	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S25	0.82	0.85	0.72	<u>0.042</u>	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S26	0.82	0.85	0.72	0.015	<u>0.038</u>	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S27	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	<u>0.120</u>	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S28	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	<u>0.120</u>	0.0037	0.0036	1.00	-
S29	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	<u>0.0055</u>	0.0036	1.00	-
S30	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	<u>0.001</u>	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S31	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	<u>0.001</u>	0.0037	0.0036	1.00	-
S32	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	<u>0.0002</u>	0.0036	1.00	-
S33	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	<u>1.50</u>	-
S34	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	<u>0.620</u>
S35	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S36	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S37	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S38	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S39	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S40	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-
S41	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	1.00	-

밑줄이 쳐진 값은 본 발명의 규정 범위 외임.

[0117]

[0118]

[표 1-2]

No	조압연 전의 가열 온도	마무리 압연 온도	선재 마무리 압연 시의 변형 속도	log ₁₀ Z	권취 온도	냉각 속도	비고
	°C	°C	s ⁻¹		°C	°C/s	
S1	950	750	607	16.5	730	15	본 발명에
S2	950	800	607	15.8	750	15	
S3	960	750	607	16.5	730	22	
S4	970	800	607	15.8	780	20	
S5	980	800	607	15.8	790	15	
S6	980	850	607	15.2	800	16	
S7	1000	900	607	14.7	790	17	
S8	1000	850	607	15.2	785	15	
S9	1000	850	607	15.2	800	15	
S10	1020	850	607	15.2	790	20	
S11	1030	800	607	15.8	790	20	
S12	1030	800	607	15.8	795	22	
S13	1040	750	607	16.5	730	20	
S14	1040	750	607	16.5	730	20	
S15	1040	900	607	14.7	830	25	
S16	1040	900	607	14.7	830	25	
S17	<u>1080</u>	<u>1050</u>	371	<u>13.2</u>	<u>880</u>	<u>5</u>	비교예
S18	<u>1080</u>	<u>1000</u>	371	<u>13.6</u>	<u>850</u>	<u>10</u>	
S19	950	750	371	16.3	730	15	
S20	1040	900	371	14.5	800	25	
S21	<u>1100</u>	<u>1100</u>	371	<u>12.8</u>	<u>900</u>	<u>12</u>	
S22	950	800	607	15.8	750	15	
S23	950	800	607	15.8	750	15	
S24	950	800	607	15.8	750	15	
S25	950	800	607	15.8	750	15	
S26	950	800	607	15.8	750	15	
S27	950	800	607	15.8	750	15	
S28	950	800	607	15.8	750	15	
S29	950	800	607	15.8	750	15	
S30	950	800	607	15.8	750	15	
S31	950	800	607	15.8	750	15	
S32	950	800	607	15.8	750	15	
S33	950	800	607	15.8	750	15	
S34	950	800	607	15.8	750	15	
S35	<u>1150</u>	800	607	15.8	750	15	
S36	950	<u>720</u>	607	<u>16.9</u>	750	15	
S37	950	<u>1150</u>	607	<u>12.6</u>	750	15	
S38	950	800	607	15.8	<u>890</u>	15	
S39	950	800	607	15.8	750	<u>7</u>	
S40	950	<u>950</u>	607	14.2	750	15	
S41	950	900	42	<u>13.5</u>	750	15	

밑줄이 쳐진 값은 본 발명의 규정 범위 외임.
 최종 선 직경: 12mm, 소성 변형의 활성화 에너지: 63800cal/mol

[0119]

표 2

No	평균 PBS	조대 PB의 개수 밀도	-40℃에서의 인장 강도	-40℃에서의 연성	-40℃에서의 샤르피 충격값	실온에서의 샤르피 충격값	비교	
	μm		MPa	%	J	J		
S1	15	0	1201	17.0	16.1	24.5	본 발명에	
S2	18	2	1265	15.2	14.8	24.2		
S3	19	0	1295	16.2	15.1	23.2		
S4	18	3	1430	17.0	14.6	23.1		
S5	15	3	1450	13.3	13.9	23.0		
S6	16	12	1460	14.2	13.4	22.0		
S7	17	15	1410	15.1	13.2	21.9		
S8	15	12	1400	15.6	13.5	22.0		
S9	18	11	1410	15.5	14.9	21.7		
S10	20	6	1460	13.0	14.0	21.2		
S11	19	4	1400	14.3	13.4	21.6		
S12	18	5	1490	12.5	13.2	21.0		
S13	20	0	1390	15.6	13.1	20.7		
S14	20	0	1390	14.0	13.2	20.7		
S15	23	18	1420	13.0	13.0	20.5		
S16	23	18	1420	13.0	13.0	20.1		
S17	<u>33</u>	<u>142</u>	1255	9.9	8.9	5.3	비교예	
S18	<u>37</u>	<u>85</u>	1280	6.3	7.1	8.2		
S19	<u>25</u>	19	980	10.0	13.2	13.5		
S20	<u>29</u>	<u>22</u>	1530	8.0	2.9	3.6		
S21	<u>48</u>	<u>180</u>	1390	5.1	3.2	4.2		
S22	18	2	1298	8.0	5.0	5.8		
S23	18	2	1105	15.2	14.8	15.2		
S24	18	2	1390	4.5	4.2	5.6		
S25	18	2	1281	7.6	3.8	4.5		
S26	18	2	1265	5.6	8.2	9.3		
S27	18	2	1235	7.0	9.0	9.5		
S28	18	2	1265	6.2	14.8	15.0		
S29	18	2	1260	8.1	8.9	9.5		
S30	18	2	1235	7.0	4.3	5.2		
S31	18	2	1265	6.9	8.1	9.3		
S32	18	2	1260	8.1	8.9	9.0		
S33	18	2	1320	7.2	6.3	6.5		
S34	18	2	1336	9.5	4.3	4.8		
S35	<u>25</u>	<u>95</u>	1390	3.2	3.1	3.5		
S36	밀 부하 증대로 인하여 압연 불능					-		
S37	<u>32</u>	<u>80</u>	1265	15.2	6.3	6.9		
S38	<u>27</u>	2	1265	8.0	11.0	11.3		
S39	18	<u>55</u>	1220	3.6	4.2	5.3		
S40	20	<u>75</u>	1270	8.0	7.2	7.5		
S41	<u>35</u>	<u>68</u>	1262	6.8	6.0	6.8		

밑줄이 쳐진 값은 본 발명의 규정 범위 외임.

[0120]

발명예의 가열 온도, 마무리 온도 및 권취 온도는 적절한 온도 범위 내에 있다. 이것에 의하여, 발명예의 펄라이트 블록이 미립화되어 발명예의 평균 PBS 및 조대 PB의 개수 밀도가 적절한 수준으로 제어되었다. 한편, 가열 온도, 마무리 온도 및 권취 온도가 적절한 온도 범위보다도 높은 비교예의 평균 PBS 및 조대 PB의 개수 밀도는 본 발명의 규정 범위 외로 되었다. 발명예는 저온 강도, 저온 인성 및 실온 인성에 대하여 비교예보다도 양호한 특성을 나타내었다. 비교예 S36은 마무리 압연 온도가 적절한 온도 범위를 하회했으므로, 밀 부하가 증대되어 압연을 행할 수 없었다.

[0122]

도 5a 및 도 5b에 발명예의 펄라이트 블록의 SEM 사진과 비교예의 펄라이트 블록의 SEM 사진을 도시한다. 발명예의 펄라이트 블록 입경이 비교예의 펄라이트 블록 입경보다 작은 것을 이들 SEM 사진으로부터 판별할 수 있었다.

- [0123] 도 6에 발명예(No. S6)와 비교예(No. S17)의 -40°C 에서의 인장 시험의 결과를 나타낸다. -40°C 의 저온 환경 하에서 발명예의 연성은 비교예의 연성보다 높아, 양호한 것을 판별할 수 있었다. 또한 표 2로부터도 발명예의 연성이 비교예의 연성보다도 높은 경향이 있음을 판별할 수 있었다. 연성의 차이는 도 5a 및 도 5b에 도시하는 펄라이트 블록 입경의 차이에 의하여 발생했다고 추측된다.
- [0124] 다음으로, DLP법을 사용한 제조 방법에 의한 실시예에 대하여 이하에 설명한다.
- [0125] 먼저, 표 3에 나타내는 성분 조성의 용강을 연속 주조하여 $300\text{mm}\times 500\text{mm}$ 의 주조편으로 한 후, 122mm 제곱의 강편으로 압연하였다. 그 후, 표 3에 나타내는 가열 온도에서 강편을 가열하고, 추가로 표 3에 나타내는 조건에서 강편에 압연과, 권취와, 용융염을 사용한 열처리를 행함으로써 $12\text{mm}\phi$ 의 선재를 얻었다. No. D1 내지 D16 및 No. D30 내지 D36은, 권취 후에 재가열되지 않고 용융염에 침지되는 열처리(직접 열처리)에 의하여 제조되었다. No. D17 내지 D29에는 표 3에 나타내는 조건에서 권취가 행해지고, 그 후, 950°C 로 재가열하여 납 페이팅 처리를 행하는 열처리(오프라인 열처리)가 행해졌다.
- [0126] 상기 선재의, -40°C 에서의 인장 강도, -40°C 에서의 연성 및 -40°C 에서의 충격값을 구하였다. 이들 값을 구하기 위한 시험 방법은, 상술한 No. S1 내지 No. S41에 대하여 행해진 각 시험의 방법과 동일하다. 또한 상기 선재에 대하여 실온에서의 샤르피 충격 시험을 행하여, 실온에서의 선재의 충격값을 구하였다. 실온에서의 샤르피 충격 시험의 실시 방법은, 시험 온도 이외에는 상술한 -40°C 에서의 샤르피 충격 시험의 실시 방법과 동일하였다. 상기 선재의 평균 PBS 및 조대 펄라이트 블록의 개수 밀도는, 상술한 No. S1 내지 No. S16에 적용된 측정 방법에 의하여 측정되었다.

표 3

No	화학 성분 단위: 질량%											선제 압연 전의 온도 °C	권취 온도 °C	온라인 열처리 온도 °C	비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	Cr	V				
D1	0.80	0.80	0.76	0.017	0.010	0.020	0.038	0.0024	0.0031	-	-	950	750	500	본 발명에
D2	0.82	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	-	0.120	950	750	500	
D3	0.88	0.90	0.72	0.008	0.006	0.030	0.048	0.0039	0.0047	-	-	960	780	520	
D4	0.88	1.00	0.73	0.006	0.009	0.025	0.005	0.0035	0.0041	0.27	0.320	970	780	520	
D5	0.90	0.90	0.80	0.009	0.007	0.042	0.010	-	0.0060	0.23	0.210	980	790	520	
D6	0.92	0.85	0.90	0.010	0.010	0.032	0.018	0.0020	0.0045	-	0.030	980	800	520	
D7	0.92	0.85	0.72	0.012	0.000	0.033	-	0.0040	0.0025	0.15	-	1000	790	550	
D8	0.95	1.30	0.70	0.015	0.005	-	0.035	0.0036	0.0035	-	-	1000	785	550	
D9	0.95	0.95	0.71	0.015	0.006	0.085	0.031	0.0028	0.0036	-	-	1000	800	550	
D10	0.98	0.96	0.74	0.011	0.009	0.060	-	-	0.0025	-	0.120	1020	790	550	
D11	0.98	0.98	0.75	0.013	0.007	0.032	-	0.0030	0.0042	0.16	-	1030	790	560	
D12	0.98	1.00	0.40	0.016	0.009	0.005	0.011	0.0029	0.0036	0.41	-	1030	795	560	
D13	1.00	0.82	0.38	0.009	0.008	0.035	0.005	-	0.0039	-	-	1040	800	575	
D14	1.18	0.85	0.35	0.020	0.010	0.028	0.023	0.0033	0.0029	0.48	0.010	1040	800	575	
D15	0.98	0.98	0.75	0.013	0.007	0.032	0.040	0.0030	0.0042	0.16	-	1030	790	560	
D16	1.00	0.85	0.35	0.020	0.010	-	-	0.0038	0.0029	0.48	0.010	1040	800	575	
No	화학 성분 단위: 질량%											선제 압연 전의 온도 °C	권취 온도 °C	온라인 열처리 온도 °C	비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	Cr	V				
D17	0.64	0.80	0.76	0.017	0.010	0.020	0.038	0.0024	0.0031	-	-	950	750	500	비교예
D18	0.82	0.32	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	-	0.120	950	750	500	
D19	0.88	0.63	0.72	0.008	0.006	0.030	0.048	0.0039	0.0047	-	-	960	780	520	
D20	0.83	0.85	0.35	0.020	0.022	0.024	0.110	-	0.0045	0.22	-	1080	850	560	
D21	0.87	0.75	0.81	0.022	0.019	0.030	0.160	-	0.0040	-	0.520	1080	850	565	
D22	0.88	0.91	0.75	0.035	0.023	-	-	-	-	-	-	1100	850	550	
D23	0.91	0.92	0.73	0.018	0.032	0.041	0.060	0.0030	0.0035	0.32	-	1100	850	550	
D24	0.92	0.85	0.25	0.023	0.026	0.120	0.210	0.0025	0.0045	0.61	-	1120	850	563	
D25	0.95	0.88	0.60	0.032	0.011	0.027	0.340	-	0.0051	0.41	-	1120	860	570	
D26	0.98	1.31	0.45	0.025	0.015	0.023	0.110	-	0.0023	0.32	0.100	1130	860	570	
D27	0.95	1.30	0.70	0.015	0.005	-	0.035	0.0036	0.0015	-	-	1130	850	570	
D28	1.05	1.20	0.85	0.027	0.019	0.027	0.190	0.0054	0.0037	-	0.250	1130	860	575	
D29	1.10	0.96	0.79	0.019	0.011	0.025	0.230	-	0.0073	-	0.330	1135	860	580	
No	화학 성분 단위: 질량%											선제 압연 전의 온도 °C	권취 온도 °C	온라인 열처리 온도 °C	비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	Cr	V				
D30	0.50	0.85	0.72	0.015	0.010	0.060	0.040	0.0037	0.0036	-	0.120	950	750	500	비교예
D31	1.25	0.90	0.72	0.008	0.006	0.030	0.048	0.0039	0.0047	-	-	960	780	520	
D32	1.05	1.20	0.85	0.027	0.019	0.027	0.190	0.0054	0.0037	-	0.250	1135	860	420	
D33	0.95	1.30	0.70	0.015	0.005	-	0.035	0.0036	0.0015	-	-	1130	850	450	
D34	0.88	0.90	0.72	0.008	0.006	0.030	0.048	0.0039	0.0047	-	-	1080	780	520	
D35	0.90	0.90	0.80	0.009	0.007	0.042	0.010	-	0.0060	0.23	0.210	980	735	520	
D36	0.90	0.90	0.80	0.009	0.007	0.042	0.010	-	0.0060	0.23	0.210	980	880	520	
D37	0.92	0.24	0.72	0.012	0.000	0.033	-	0.0040	0.0025	0.15	-	1000	790	550	
D38	0.95	1.30	0.20	0.015	0.005	-	0.035	0.0036	0.0035	-	-	1000	785	550	

밑줄이 쳐진 값은 본 발명의 규정 범위 외임.

[0127]

표 4

No	평균 PBS	조대 PB의 개수 밀도	-40℃에서의 인장 강도	-40℃에서의 연성	-40℃에서의 샤르피 충격값	실온에서의 샤르피 충격값	비교
	μm		MPa	%	J	J	
D1	15	0	1201	18.0	15.0	25.0	본 발명에
D2	18	0	1265	17.8	14.7	24.0	
D3	19	0	1295	17.1	14.0	23.9	
D4	18	0	1380	16.8	13.0	23.4	
D5	15	0	1390	16.6	13.2	23.0	
D6	16	0	1430	16.2	13.8	23.0	
D7	17	0	1410	16.3	13.5	22.5	
D8	15	0	1490	15.9	13.6	21.0	
D9	18	0	1460	15.6	14.0	22.0	
D10	20	0	1530	15.5	13.2	22.0	
D11	19	0	1540	14.8	13.6	21.5	
D12	18	0	1530	14.5	13.0	21.0	
D13	20	20	1540	13.4	13.2	20.3	
D14	23	18	1580	13.1	13.0	20.0	
D15	22	0	1530	13.7	13.0	21.0	
D16	23	0	1542	13.5	13.0	20.0	
No	평균 PBS	조대 PB의 개수 밀도	-40℃에서의 인장 강도	-40℃에서의 연성	-40℃에서의 샤르피 충격값	실온에서의 샤르피 충격값	비교
	μm		MPa	%	J	J	
D17	28	44	1100	9.7	10.1	17.0	비교예
D18	27	51	1210	9.5	10.0	15.0	
D19	28	50	1230	9.2	9.5	16.0	
D20	30	79	1255	8.7	9.0	16.0	
D21	35	120	1280	8.6	8.6	15.3	
D22	38	60	1310	8.0	8.5	15.1	
D23	40	140	1420	7.0	7.0	15.1	
D24	44	160	1400	7.5	7.5	14.7	
D25	48	180	1480	6.0	7.2	14.6	
D26	34	120	1580	5.4	7.0	14.3	
D27	42	100	1525	5.6	6.9	15.0	
D28	35	170	1540	5.4	6.5	14.1	
D29	45	160	1570	5.4	6.0	14.0	
No	PBS	조대 PB의 개수 밀도	-40℃에서의 인장 강도	-40℃에서의 연성	-40℃에서의 샤르피 충격값	실온에서의 샤르피 충격값	비교
	μm		MPa	%	J	J	
D30	21	20	1010	11	18.2	22.0	비교예
D31	23	23	1590	5.1	3.0	9.0	
D32	41	40	1310	6.3	6.2	14.0	
D33	39	60	1300	6.9	6.0	14.3	
D34	25	56	1375	6.2	8.5	14.0	
D35	30	65	1250	5.1	7.8	13.0	
D36	45	70	1385	9.2	9.8	15.2	
D37	15	0	1380	3	4.2	9.5	
D38	39	52	1490	4.9	5.3	13.2	

밑줄이 쳐진 값은 본 발명의 규정 범위 외임.

[0128]

[0129]

표 3의 No. D1 내지 D16은 본 발명의 조건을 만족시키는 발명예이다. 한편, 표 4의 No. D17 내지 D38은 본 발명의 조건을 만족시키지 않는 비교예이다. 발명예의 펄라이트 블록 입경 및 조대 PB의 개수 밀도는 적절한 수준으로 제어되었지만, 한편, 비교예의 펄라이트 블록 입경 및 조대 PB의 개수 밀도는 본 발명의 규정 범위 외로 되었다. 발명예는 저온 강도, 저온 인성 및 실온 인성에 대하여 비교예보다도 양호한 특성을 나타내었다.

[0130]

도 7a 및 도 7b에 발명예의 펄라이트 블록의 SEM 사진과 비교예의 펄라이트 블록의 SEM 사진을 도시한다. 발명예 및 비교예의 펄라이트 블록 입경(PBS)이 명확히 상이한 것을 SEM 사진으로부터 판별할 수 있었다.

[0131]

도 8에, 표 및 표 4에 나타내는 충격값에 기초하여 펄라이트 블록 입경(μm)과 충격값의 관계를 나타낸다. 도 8로부터 본 발명예의 충격값(PBS: 15 내지 23μm)은 실온에서도, -40℃에서도, 비교예(PBS: 30 내지 45μm)의 충격값보다도 높은 것을 판별할 수 있었다.

[0132] 도 9a 및 도 9b에 발명예 및 비교예의 샤프피 충격 시험편의 파면을 SEM으로 관찰한 결과를 도시한다. 도 9a에 발명예의 파면 단위를 도시하고 도 9b에 비교예의 파면 단위를 도시한다. 발명예의 파면 단위는 비교예의 파면 단위보다도 미세하게 되어 있었다. 이것은, 인성에 대하여 발명예 쪽이 우수한 것을 나타내고 있다. 이 점에 있어서도 PBS 미세화의 효과를 확인할 수 있었다.

[0133] 이상으로부터 발명예의 인성은 실온에서도, 실제로 LNG 탱크의 보강 PC로서 선재가 사용될 때 노출되는 -40℃의 환경 하에서도, 비교예의 인성에 비하여 높은 것을 판별할 수 있었다.

산업상 이용가능성

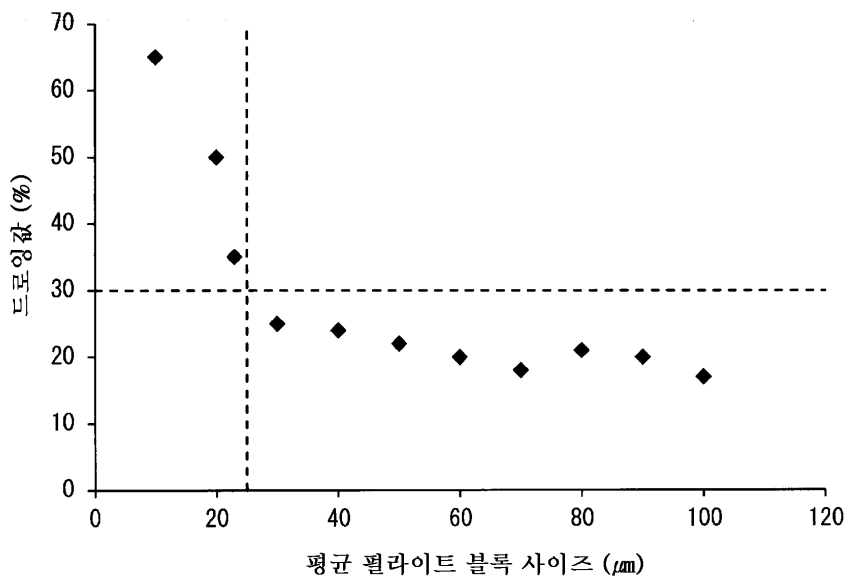
[0134] 본 발명에 따르면, 펄라이트 블록 입경의 소형화에 의하여, PC식 LNG의 PC 방액제의 긴장재용으로 사용하는 PC 강연선용 선재의 -40℃ 근방에 있어서의 연성이 종래 선재보다도 양호한 선재를 제공하는 것이 가능해졌다. 따라서 본 발명은, 최근 들어 점점 수요가 높아진 LNG 탱크 관련 설비를 구성하는 일 부재인 PC강연선의 저온 사용 환경 하에 있어서의 신뢰성 향상에 기여하는 것이며, 산업상 이용가능성이 높은 것이다.

부호의 설명

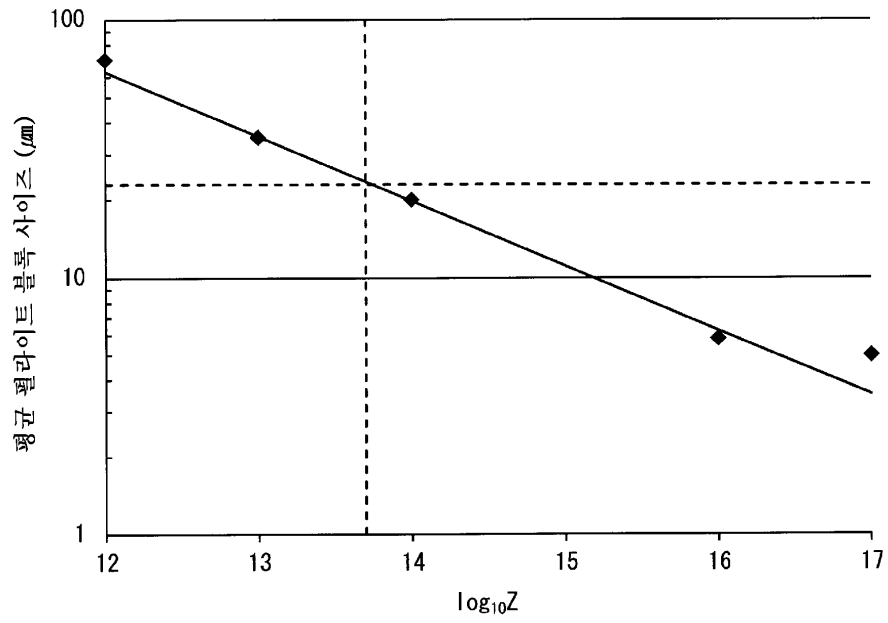
- [0135] 1: 선재
- 2: 2mmU 노치 샤프피 충격 시험편
- 3: 2mmU 노치

도면

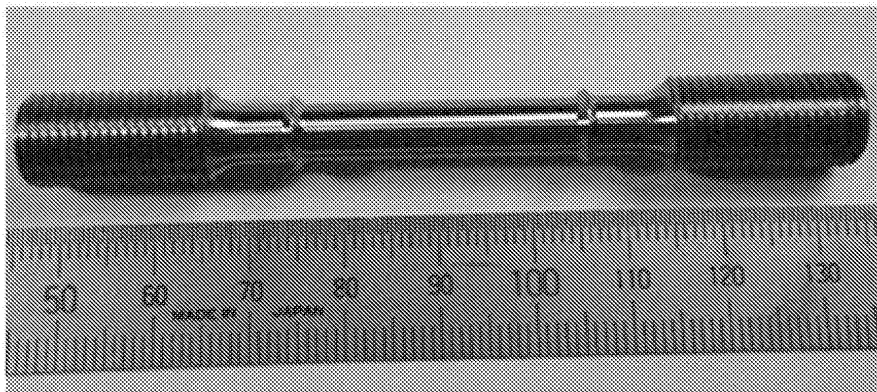
도면1



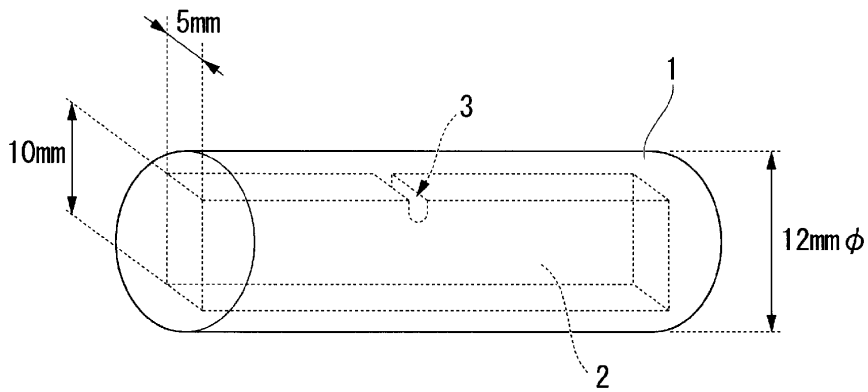
도면2



도면3

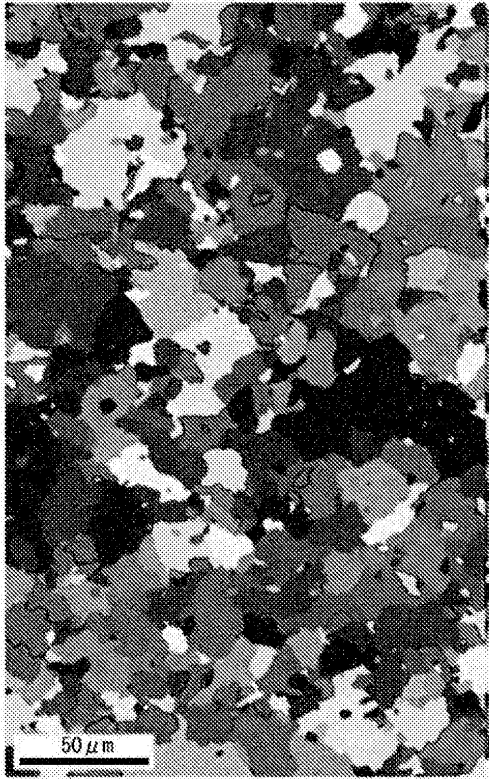


도면4



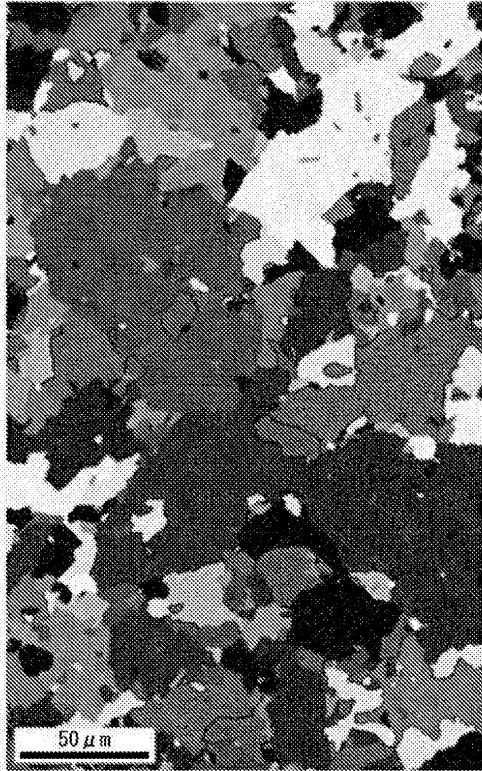
도면5a

발명 예

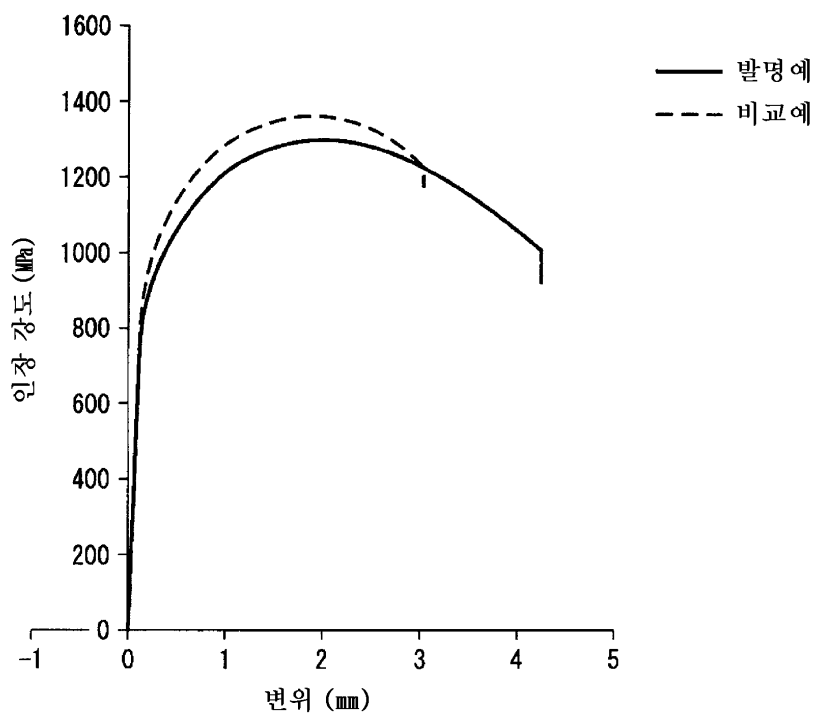


도면5b

비교예

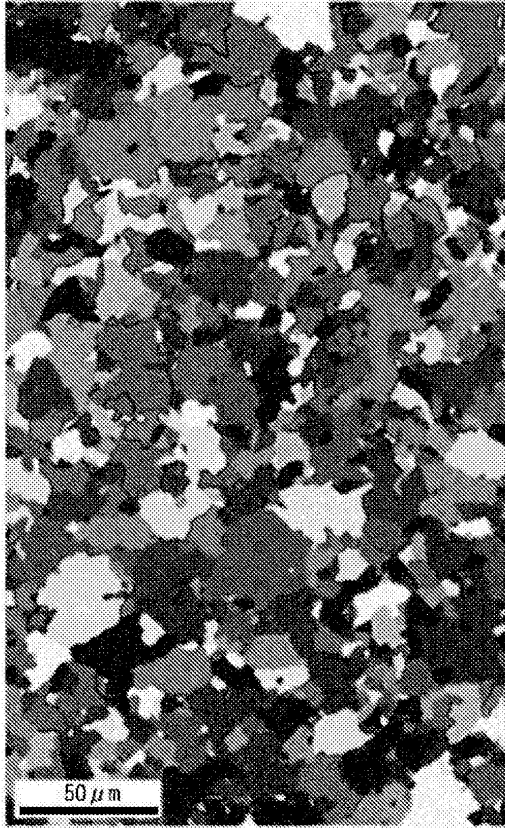


도면6



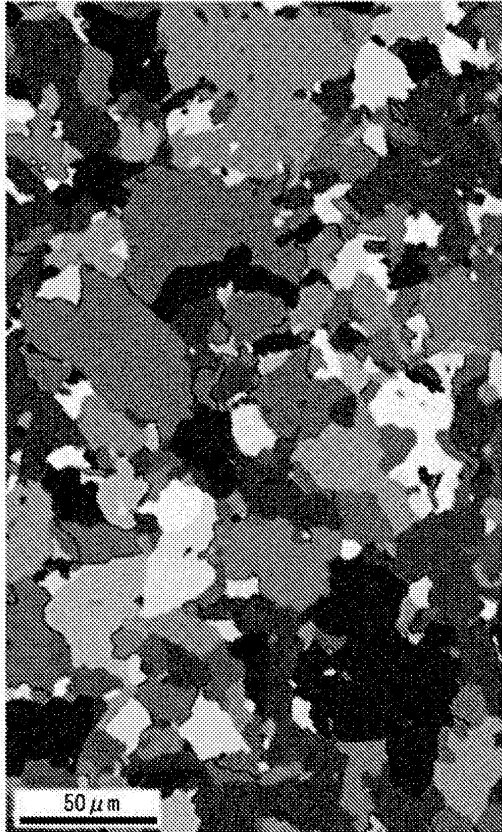
도면7a

발명 예

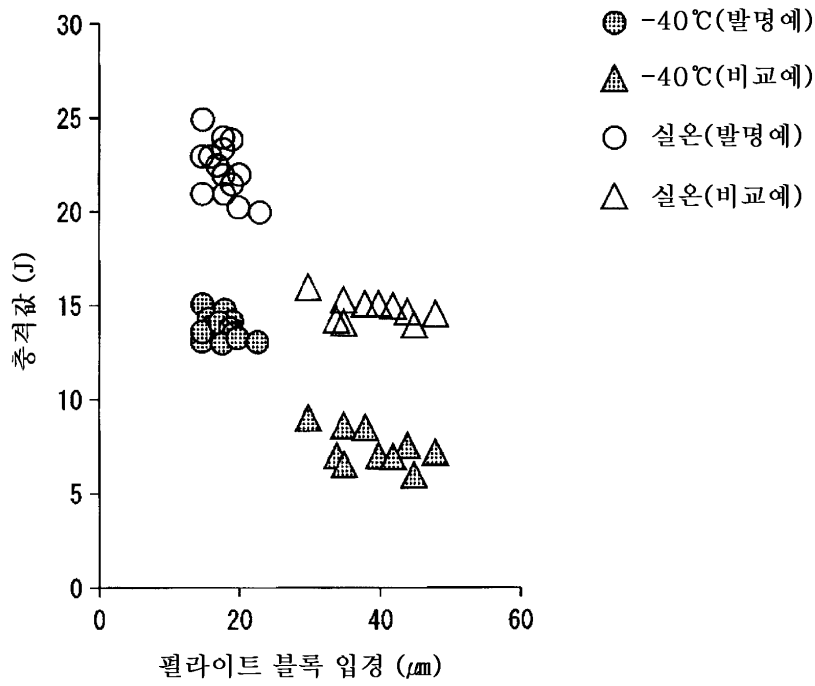


도면7b

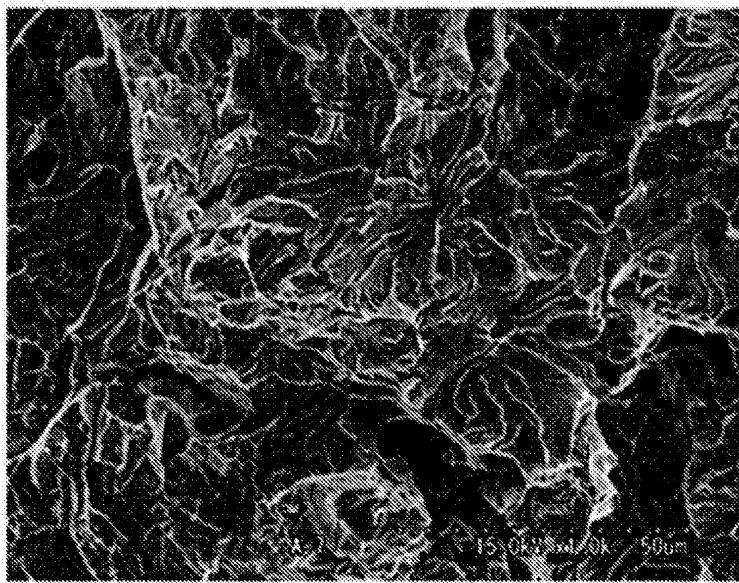
비교예



도면8

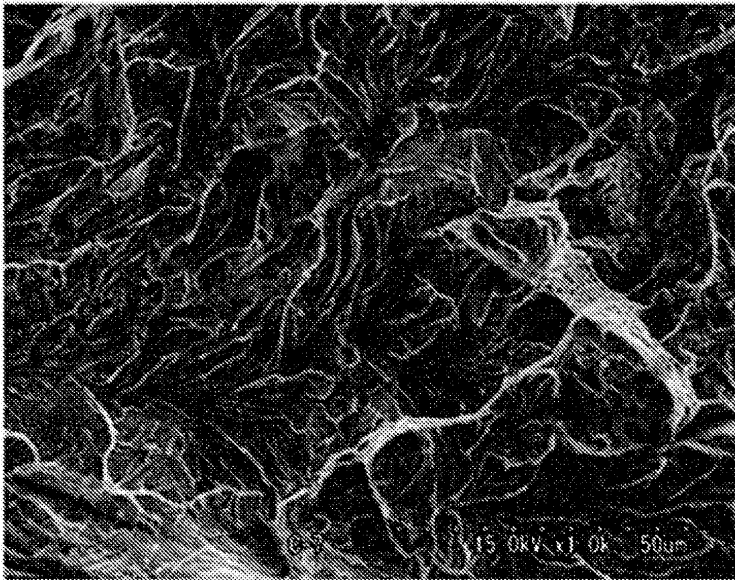


도면9a



발명예 (×1000)

도면9b



비교예(×1000)

도면10

