



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월20일
(11) 등록번호 10-2706843
(24) 등록일자 2024년09월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 38/58 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
 C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)
 C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/34 (2006.01)
 C22C 38/38 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)
 C22C 38/46 (2006.01) C22C 38/48 (2006.01)
 H01F 1/147 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
 C22C 38/58 (2013.01)
 C21D 8/1222 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7032670
- (22) 출원일자(국제) 2022년03월30일
 심사청구일자 2023년09월22일
- (85) 번역문제출일자 2023년09월22일
- (65) 공개번호 10-2023-0143192
- (43) 공개일자 2023년10월11일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/016029
- (87) 국제공개번호 WO 2022/210890
 국제공개일자 2022년10월06일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2021-061872 2021년03월31일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
 W02020166718 A1*
 W02020153387 A1
 JP2020139198 A
 W02020111783 A1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 닛폰세이테츠 가부시카이가이사
 일본 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
- (72) 발명자
 나토리 요시아키
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우치 2쵸메
 6방 1고 닛폰세이테츠가부시카이가이사 내
 야시키 히로요시
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우치 2쵸메
 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카이가이사 내
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 양영준, 최인호, 성재동

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 구분승

(54) 발명의 명칭 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법

(57) 요약

이 무방향성 전자 강판은, 소정의 화학 조성을 함유하고, 인장 강도가 580MPa 이상이며, 지철의 재결정부의 평균 결정 입경이 50 μ m 이하이며, 지철 중에 함유되는 원 상당 직경이 1 μ m 이상이고 또한 S 함유량이 5질량% 이상인 개재물에 있어서, Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수에 비하여, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수가 5배 이상이다.

(52) CPC특허분류

C22C 38/001 (2013.01)
C22C 38/008 (2013.01)
C22C 38/02 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/34 (2013.01)
C22C 38/38 (2013.01)
C22C 38/44 (2013.01)
C22C 38/46 (2013.01)
C22C 38/48 (2013.01)

다케다 가즈토시

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

(72) 발명자

후쿠치 미나코

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

명세서

청구범위

청구항 1

화학 조성이 질량%로,

Si: 2.5 내지 4.5%,

sol.Al: 0 내지 2.0%,

Mn: 0.1 내지 3.5%,

C: 0 내지 0.0030%,

P: 0 내지 0.10%,

S: 0 내지 0.0030%,

N: 0 내지 0.050%,

O: 0 내지 0.050%,

Mg: 0.0003 내지 0.0050%,

Ti: 0 내지 0.0030%,

V: 0 내지 0.10%,

Sb: 0 내지 0.10%,

Nd: 0 내지 0.10%,

Bi: 0 내지 0.10%,

W: 0 내지 0.10%,

Nb: 0 내지 0.10%,

Y: 0 내지 0.10%,

그리고,

Ni: 0 내지 0.5%,

Cr: 0 내지 0.5%,

Cu: 0 내지 0.5%,

Sn: 0 내지 0.2%,

La: 0 내지 0.0050%, 및

Ce: 0 내지 0.0050%

로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유하고,

잔부: Fe 및 불순물이며,

인장 강도가 580MPa 이상이며,

지철의 재결정부의 평균 결정 입경이 50 μ m 이하이며,

지철 중에 함유되는 원 상당 직경이 1 μ m 이상이고 또한 S 함유량이 5질량% 이상인 개재물에 있어서, Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수에 비하여, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수가 5배 이상인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

청구항 2

제1항에 있어서,
원 상당 직경이 5 μ m 이상인 개재물의 개수 밀도가 1.0개/mm² 미만인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

청구항 3

제1항에 있어서,
판 두께가 0.30mm 미만인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

청구항 4

제1항에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법이며,
주조에 의해 강 슬래브를 제조하는 공정,
상기 강 슬래브를 가열하는 공정,
가열한 상기 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판으로 하는 공정,
상기 열연 강판을 권취하는 권취 공정,
상기 열연 강판을 냉간 압연하고 냉연 강판으로 하는 공정, 및
상기 냉연 강판을 마무리 어닐링하여 무방향성 전자 강판을 얻는 공정을
구비하고,
상기 주조에 있어서, 1300 $^{\circ}$ C에서 1200 $^{\circ}$ C까지의 냉각 속도를 50 $^{\circ}$ C/s 이하로,
상기 강 슬래브의 가열에 있어서, 중심 온도 1100 $^{\circ}$ C 이상에서의 체재 시간을 2시간 미만(0을 포함하지 않음)으
로 하고,
상기 권취 공정에 있어서, 상기 열연 강판의 권취 온도를 700 $^{\circ}$ C 이상으로 하고,
상기 마무리 어닐링에 있어서, 최고 도달 온도를 700 내지 900 $^{\circ}$ C로 하는 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강
판의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본원은, 2021년 3월 31일에, 일본에서 출원된 특허 출원 제2021-61872호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0002] 최근, 세계적인 전기 기기의 에너지 절약화의 고조에 의해, 모터의 재료로서 사용되는 무방향성 전자 강판에 대해서도, 보다 고성능의 특성이 요구되어 오고 있다. 특히 철손에 대해서는 저감 요구가 강해, Si나 Al 함유량을 증가시켜 고유 저항을 높이고, 또한 결정 입경을 크게 함으로써 저철손화를 실현해 왔다.

[0003] 특허문헌 1에는, 황화물을 무해화해서 입성장을 향상시킨 강판에 있어서 현재화하는 질화 문제를 해소한, 보다 철손이 낮은 무방향성 전자 강판이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2005-330527호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 모터를 하이브리드 자동차의 구동 모터의 용도 등에 대한 사용은, 가감속 운전에 따른 회전수 변화, 차체 진동, 자석 삽입공 내에서의 자석의 진동 등에 기인하는, 응력 변화를 수반하는 환경하에서의 사용이 된다. 그 때문에, 고속 회전 시나 응력 집중부에 적용할 수 있는 고강도성과 함께, 반복 응력하에서의 피로 특성, 즉 피로 강도가 높은 것도 요구된다.
- [0006] 그러나, 인장 강도를 580MPa 이상으로 고강도화한 무방향성 전자 강판에서는, 강도에 알맞은 피로 강도를 얻지 못하는 경우가 있었다. 본 발명에서는, 580MPa 이상의 인장 강도를 구비하고, 피로 강도가 우수한 무방향성 전자 강판을 제공하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명자들은, 무방향성 전자 강판의 피로 강도에 관하여 예의 검토하였다. 그 결과, 피로 강도가 낮은 전자 강판에 있어서는, 연질의 MnS가 변형돼 균열의 기점이 된다는 것을 알 수 있었다. 또한, 피로 강도가 높은 전자 강판에서는, 개재물 중의 MnS의 양이 상대적으로 적다는 것을 알 수 있었다.
- [0008] 예의 검토를 더욱 진행한 결과, 개재물 중의 황화물을 Mg를 함유하는, 보다 경화된 개재물로 함으로써, 피로 강도가 향상된다는 것을 알 수 있었다.
- [0009] 본 발명은, 상기 지견에 기초하여, 검토를 더욱 진행하여 이루어진 것으로, 그 요지는 이하와 같다.
- [0010] (1) 본 발명의 일 양태에 따른 무방향성 전자 강판은, 화학 조성이 질량%로, Si: 2.5 내지 4.5%, sol.Al: 0 내지 2.0%, Mn: 0.1 내지 3.5%, C: 0 내지 0.0030%, P: 0 내지 0.10%, S: 0 내지 0.0030%, N: 0 내지 0.050%, O: 0 내지 0.050%, Mg: 0.0003 내지 0.0050%, Ti: 0 내지 0.0030%, V: 0 내지 0.10%, Sb: 0 내지 0.10%, Nd: 0 내지 0.10%, Bi: 0 내지 0.10%, W: 0 내지 0.10%, Nb: 0 내지 0.10%, Y: 0 내지 0.10%, 그리고, Ni: 0 내지 0.5%, Cr: 0 내지 0.5%, Cu: 0 내지 0.5%, Sn: 0 내지 0.2%, La: 0 내지 0.0050% 및 Ce: 0 내지 0.0050%로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유하고, 잔부: Fe 및 불순물이며, 인장 강도가 580MPa 이상이며, 지철의 재결정부의 평균 결정 입경이 50 μ m 이하이며, 지철 중에 함유되는 원 상당 직경이 1 μ m 이상이고 또한 S 함유량이 5질량% 이상인 개재물에 있어서, Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수에 비하여, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수가 5배 이상인 것을 특징으로 한다.
- [0011] (2) 상기 (1)에 기재된 무방향성 전자 강판에서는, 원 상당 직경이 5 μ m 이상인 개재물의 개수 밀도가 1.0개/mm² 미만이어도 된다.
- [0012] (3) 상기 (1)에 기재된 무방향성 전자 강판은, 판 두께가 0.30mm 미만이어도 된다.
- [0013] (4) 본 발명의 다른 양태에 따른 무방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 (1)에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법이며, 주조에 의해 강 슬래브를 제조하는 공정, 상기 강 슬래브를 가열하는 공정, 가열한 상기 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판으로 하는 공정, 상기 열연 강판을 권취하는 권취 공정, 상기 열연 강판을 냉간 압연하고 냉연 강판으로 하는 공정, 및 상기 냉연 강판을 마무리 어닐링하여 무방향성 전자 강판을 얻는 공정을 구비하고, 상기 주조에 있어서, 1300 $^{\circ}$ C에서 1200 $^{\circ}$ C까지의 냉각 속도를 50 $^{\circ}$ C/s 이하로, 상기 강 슬래브의 가열에 있어서, 중심 온도 1100 $^{\circ}$ C 이상에서의 체재 시간을 2시간 미만(0을 포함하지 않음)으로 하고, 상기 권취 공정에 있어서, 상기 열연 강판의 권취 온도를 700 $^{\circ}$ C 이상으로 하고, 상기 마무리 어닐링에 있어서, 최고 도달 온도를 700 내지 900 $^{\circ}$ C로 하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명에 따르면 580MPa 이상의 인장 강도를 구비하고, 피로 강도가 더욱 우수한 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 본 발명의 실시 형태에 대하여 상세히 설명한다.

- [0016] 본 발명의 일 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판에 있어서는, 지철 중의 개재물 중 황화물을 Mg를 함유하는, 보다 경화된 개재물로 함으로써, 피로 강도를 향상시킨다. 본 발명에 있어서, Mg를 함유하는, 보다 경화된 개재물은 다음과 같이 정의된다. 에너지 분산형 X선 분석법(Energy Dispersive X-ray Spectrometry: 이하, 「EDS」라고도 함)에 의한 원소 농도 분석에 있어서, 검출된 모든 원소(단 C를 제외함)에 대하여 정량한 경우에, Mg가 5질량% 초과 검출되며 또한 S가 5질량% 이상 검출되는 개재물을, 「Mg를 함유하는, 보다 경화된 개재물」이라고 정의한다. 본 발명에서는, 상기 Mg를 함유하는, 보다 경화된 개재물 중 원 상당 직경이 1 μ m 이상인 개재물에 주목한다.
- [0017] 그리고, 원 상당 직경이 1 μ m 이상인 개재물, 또한 S 함유량이 5질량% 이상인 개재물에 있어서, 「Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물」의 개수에 비하여, 「Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물」의 개수가 5배 이상이 되도록 한다.
- [0018] 이에 의해, 개재물이 경화되고, 개재물이 변형되어 균열의 기점이 되는 일이 적어져 피로 강도가 향상된다. 지철 중에 함유되는 원 상당 직경이 1 μ m 이상이고 또한 S 함유량이 5질량% 이상인 개재물에 있어서, Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수에 비하여, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수가 10배 이상인 것이 바람직하다.
- [0019] 개재물의 분석은, 판 두께 전체 두께의 영역을, SEM을 사용하여 관찰하여, 행한다. 관찰할 수 있는 면적을 얻기 위해서 경사 연마에 의해 관찰면을 준비해도 되고, 강판을 복수매를 적층하여 관찰면을 준비해도 된다. 폭 방향(압연 직각 방향) 및 판 두께 방향을 포함하는 면이 관찰면이 되도록, 강판을 잘라내어 수지 매립한다. 이어서, 수지 매립된 강판의 관찰면을 연마한다. 관찰하는 면적은 존재하는 개재물의 개수에 따라서 변경해도 상관없지만, 5mm² 이상으로 한다. 개재물의 크기의 판단은, 화상 해석 소프트웨어를 이용하여 개재물의 크기를 측정하고, 원상당으로 환산했을 때의 직경에 따라 정의하여 행한다. 개재물은 EDS를 사용하여 원소 분석을 행할 수 있고, 성분은 개개의 개재물에 있어서 한 덩어리 전체에서의 평균값에 따라 정의한다.
- [0020] 각 시야에 있어서, 원 상당 직경이 1.0 μ m 이상이고 S 함유량이 5질량% 이상 검출되는 개재물의 개수를 구한다. 구체적으로는, 우선, 각 시야에 있어서의 개재물을 콘트라스트로부터 특정한다. 특정한 개재물 중, 원 상당 직경이 1.0 μ m 이상인 개재물에 대하여, 원소 농도 분석(EDS 분석)을 실시한다. 검출된 모든 원소(단 C를 제외함)에 대하여 정량하고, 원 상당 직경이 1.0 μ m 이상이며, Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물과, 원 상당 직경이 1.0 μ m 이상이며, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물을 특정한다.
- [0021] 5mm² 이상의 면적이 되는 관찰한 시야 범위에서 특정된 개재물 중, 원 상당 직경이 1.0 μ m 이상이며, S 함유량이 5질량% 이상이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물 중, Mg 함유량이 5질량% 이하인 개재물과, Mg 함유량이 5질량% 초과인 개재물의 각각의 개수를 구해 그 비를 계산한다.
- [0022] 관찰한 시야의 총 면적에 기초하여, 개수 밀도(개/mm²)를 구할 때에, 얻어진 수치의 소수 제3위를 반올림한다. 또한, 개수 밀도의 측정은, 주사 전자 현미경에 조성 분석 기능을 부여된 장치(SEM-EDS 장치)를 사용하여 행한다.
- [0023] 또한, 조대한 개재물이 존재하면, 당해 개재물이 균열의 기점이 되어 피로한이 저하되는 경우가 있다. 그 때문에, 조대한 개재물은 적은 편이 바람직하다. 구체적으로는, 원 상당 직경이 5 μ m 이상인 개재물의 개수 밀도가 1.0개/mm² 미만인 것이 바람직하다.
- [0024] 원 상당 직경이 5 μ m 이상인 개재물의 개수 밀도가 1.0개/mm² 미만으로 하는 방법은, 특별히 제한되지는 않지만, 예를 들어 용강이 텀디쉬에 체류하고 있는 동안에, 개재물을 용강 표면으로 부상시키는 것, 연속 주조에 있어서, 주형 내의 용강에 전자브레이크를 작용시켜 용강이 주형 내에 체류하는 시간을 길게 하여 개재물을 용강 표면으로 부상시키는 것 또는 연직 방향으로 긴 주형을 사용하여, 용강이 주형 내에 체류하는 시간을 길게 하여 개재물을 용강 표면으로 부상시키는 것 등의 후에, 부상한 개재물을 제거한다는 방법을 들 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명에 규정하는 Mg를 함유하는 개재물을 실현함으로써도 원 상당 직경이 5 μ m 이상인 개재물의 개수 밀도를 1.0개/mm² 미만으로 하는 데 기여한다. 원 상당 직경이 5 μ m 이상이 되는 조대한 개재물로는, 예를 들어 Al₂O₃이나 MnS 등을 생각할 수 있다. Al과 Mg는, Mg 쪽이 Al보다도 탈산력이 높다. 그 때문에, Mg를 활용하는 본 발명에서는, 제강 단계에서 부차적으로 Al₂O₃을 환원하여 MgO가 생성되기 쉽다. Al₂O₃ 상태 그대로라면 비중이 커서 용강 중에 잔류되기 쉽지만, MgO는 비중이 작아 부상되기 쉽기 때문에, 제거하기 쉽다. 또한, MnS에

대해서는, Mg는 Mn보다도 황화물을 형성하기 쉽고, 또한 MnS보다도 고온에서 석출이 개시되기 쉽다. 그 때문에, MnS의 석출량을 줄인다. 또한 먼저 균일하게 분산된 MgS가 후에 석출하는 MnS의 석출 사이트가 됨으로써, 단체로 형성되는 조대한 MnS의 형성 빈도를 억제한다. 따라서, Mg 개재물의 제어에 의해, 조대한 개재물이 형성하는 것을 억제할 수 있다.

[0026] 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판에서는, 마이크로 조직은 거의 100%의 페라이트를 갖는다. 마이크로 조직의 잔부는 개재물 등이다. 그리고, 재결정부의 평균 결정 입경이 50 μ m 이하이다. 결정립이 조대화하면, 강도가 저하된다. 여기서 재결정부란 페라이트 입자 중, 에스펙트비(압연 방향의 길이/판 두께 방향의 길이)가 3 이하인 결정립(재결정립)을 가리킨다. 한편, 미재결정립은, 상기 에스펙트비가 3 초과이다. 마이크로 조직의 관찰 및 미재결정립 및 재결정립의 입경을 구하는 경우, 이하의 방법에 의해 구할 수 있다. 강판의 압연 방향 및 판 두께 방향을 포함하는 관찰면을 갖는 시험편을 제작하고, 판 두께의 중심부를 관찰한다. 시험편의 관찰면을 경면에 연마한 후, 3% 나이탈 부식액에 10초 침지하여, 에칭에 의해 조직을 현출시킨다. 에칭한 관찰면을, 광학 현미경을 사용하여 500배의 배율로 관찰한다. 에칭 후의 관찰면에서 에스펙트비가 3 이하인 결정립을 특정하고, 이로부터 평균 결정 입경을 산출한다. 평균 결정 입경은 JIS G 0551:2013 「강-결정립도의 현미경 시험 방법」에 따라서 구하는 것으로 한다. 재결정부의 평균 결정 입경의 하한은 특별히 한정할 필요는 없지만, 결정립이 과도하게 미세화하고, 평균 결정 입경이 너무 작아지면, 강판의 판 형상이 나빠지는 경우가 있다. 그 때문에, 재결정부의 평균 결정 입경은 10 μ m 이상으로 하는 것이 바람직하고, 12 μ m 이상이 보다 바람직하며, 15 μ m 이상이 더욱 바람직하다. 또한, 미재결정 입자의 비율은 100%여도 된다. 재결정립이 관찰되지 않는 경우, 본 발명에서 규정하는 평균 결정 입경은 0인 것으로 한다.

[0027] 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판은, 인장 강도가 580MPa 이상이다. 인장 강도를 높이기 위한 화학 조성은 알려져 있으므로, 적절히 조정하면 된다. 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 화학 조성은, 예를 들어 후술하는 화학 조성으로 할 수 있다. 또한, 인장 강도를 580MPa 이상으로 하기 위해서는, 후술하는 바와 같이, 마무리 어닐링 온도를 조정할 필요가 있다.

[0028] 인장 강도는 JIS Z2241:2011에 13B호 인장 시험편을 사용하여 측정한다.

[0029] 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 화학 조성은, 인장 강도가 580MPa 이상이 되는 무방향성 전자 강판에 적용할 수 있는 것이면, 특별히 한정되지는 않는다. 이하에, 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 바람직한 화학 조성의 예를 나타낸다. 화학 조성의 설명 「%」는 「질량%」를 의미하는 것으로 한다. 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판은, 화학 조성이 질량%로, Si: 2.5 내지 4.5%, sol.Al: 0 내지 2.0%, Mn: 0.1 내지 3.5%, C: 0 내지 0.0030%, P: 0 내지 0.10%, S: 0 내지 0.0030%, N: 0 내지 0.050%, O: 0 내지 0.050%, Mg: 0.0003 내지 0.0050%, Ti: 0.0030% 이하, V: 0 내지 0.10%, Sb: 0 내지 0.10%, Nd: 0 내지 0.10%, Bi: 0 내지 0.10%, W: 0 내지 0.10%, Nb: 0 내지 0.10%, Y: 0 내지 0.10% 및 Ni: 0 내지 0.5%, Cr: 0 내지 0.5%, Cu: 0 내지 0.5%, Sn: 0 내지 0.2%, La: 0 내지 0.0050% 및 Ce: 0 내지 0.0050%로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유하고, 잔부: Fe 및 불순물이다.

[0030] Si는 강판의 강도를 높이는 원소이다. 또한, Si는, 비저항을 증가시키는 원소이며, 철손 저감을 위해서 함유시킨다. 이 효과와, 포화 자속 밀도의 저하나 강의 취화를 방지한다는 관점에서, Si 함유량은 2.5 내지 4.5%로 하는 것이 바람직하다. Si 함유량은, 바람직하게는 2.8% 이상이며, 더욱 바람직하게는 3.0% 이상이다. 또한, Si 함유량은, 보다 바람직하게는 4.2% 이하이며, 더욱 바람직하게는 4.0% 이하이다.

[0031] sol.Al은 Si와 마찬가지로 비저항을 증가시키는 원소이며, 철손 저감을 위해서 함유시킨다. 철손 저감의 효과는 Si에서도 얻어지므로, sol.Al은 함유시키지 않아도 된다. 그 때문에, sol.Al 함유량은 0%여도 된다. sol.Al 함유량은 0.3% 이상, 0.4% 이상, 0.5% 이상 또는 0.6% 이상이어도 된다. 한편, 포화 자속 밀도의 저하를 방지한다는 관점에서, sol.Al 함유량은 2.0% 이하로 하는 것이 바람직하다. sol.Al 함유량은, 보다 바람직하게는 1.8% 이하이며, 더욱 바람직하게는 1.5% 이하이다. sol.Al 함유량은 1.2% 이하여도 된다. 여기서, sol.Al은, Al₂O₃ 등의 산화물로 되어 있지 않으며, 산에 가용하는 산 가용 Al을 의미하고, Al의 분석 과정에서 발생하는, 여과지상의 불용해 잔사를 공제하여 측정된 Al로서 구해진다.

[0032] Mn은, Si, sol.Al과 마찬가지로 비저항을 증가시키는 작용을 갖고 있으므로, 철손 저감을 위해서 함유시킨다. 또한, Mn은 강판의 강도를 높이는 원소이기도 하다. 이 효과와, 포화 자속 밀도의 저하나 강의 취화를 방지한다는 관점에서, Mn 함유량은 0.1 내지 3.5%로 하는 것이 바람직하다. Mn 함유량은, 보다 바람직하게는 0.4% 이상이며, 더욱 바람직하게는 0.6% 이상이며, 한층 더 바람직하게는 0.8% 이상이다. Mn 함유량은 0.9% 이상, 1.0% 이상, 1.2% 이상이어도 된다. 또한, Mn 함유량은, 보다 바람직하게는 3.3% 이하이며, 더욱 바람직

직하계는 3.5% 이하이다. Mn 함유량은 3.0% 이하여도 된다.

- [0033] C는 불순물로서 함유된다. 철손 저감을 위해서, C 함유량은 0.0030% 이하로 하는 것이 바람직하다. C 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0025% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.0020% 이하이다. C 함유량의 하한은, 특별히 제한되지는 않고, 0%여도 되지만, C 함유량은, 제조 비용의 관점에서, 0.0010% 이상이어도 된다.
- [0034] P는 강관의 강도를 향상시키는 원소이다. 강관의 강도는 Si나 Mn에서도 향상시킬 수 있으므로, P는 함유시키지 않아도 된다. 그 때문에, P 함유량은 0%여도 된다. P 함유량은 0.01% 이상, 0.02% 이상, 0.04% 이상이어도 된다. 한편, 강관의 취화를 방지한다는 관점에서, P 함유량은 0.10% 이하로 하는 것이 바람직하다. P 함유량은, 보다 바람직하게는 0.08% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.06% 이하이다. P 함유량은 0.04% 이하여도 된다.
- [0035] S는 불순물로서 함유된다. 철손 저감을 위해서 S 함유량은 0.0030% 이하로 하는 것이 바람직하다. S 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0025% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.0020% 이하이다. 또한, S 함유량이 5질량% 이상인 개재물을 형성시키기 위해서, 강관의 S 함유량은 0% 초과이다. S 함유량은 0.0006% 이상, 0.0007% 이상이어도 된다.
- [0036] N은 불순물로서 함유된다. 철손 저감을 위해서, N 함유량은 0.050% 이하로 하는 것이 바람직하다. N 함유량이 0.050% 이하이면 과잉 개재물이나 석출물의 생성이 억제되어, 자기 특성이나 피로 강도의 저하를 한층 억제할 수 있다. N 함유량은 0.0027% 이하, 0.0025% 이하, 0.0020% 이하여도 된다. 또한, N은, 무방향성 전자 강관에 함유되지 않아도 되기 때문에, N 함유량의 하한은 0%여도 되지만, 과도한 비용 증가를 억제하기 위해서, N 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다. N 함유량은 0.0014% 이상, 0.0017% 이상, 0.0020% 이상이어도 된다.
- [0037] O는 불순물로서 함유된다. 철손 저감을 위해서, O 함유량은 0.050% 이하로 하는 것이 바람직하다. O 함유량이 0.050% 이하이면 과잉 개재물이나 석출물의 생성이 억제되어, 자기 특성이나 피로 강도의 저하를 한층 억제할 수 있다. O 함유량은 0.0027% 이하, 0.0025% 이하, 0.0020% 이하여도 된다. 또한, O는, 무방향성 전자 강관에 함유되지 않아도 되기 때문에, O 함유량의 하한은 0%여도 되지만, 과도한 비용 증가를 억제하기 위해서, O 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다. O 함유량은 0.0014% 이상, 0.0017% 이상, 0.0020% 이상이어도 된다.
- [0038] Mg는 결정립의 성장을 촉진하는 작용을 통해서 철손을 저감시키는 원소임과 함께, 개재물 중의 황화물을, Mg를 함유하는 보다 경화된 개재물로 하고, 피로 강도를 향상시키는 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서, 비용면을 고려하여 Mg 함유량은 0.0003 내지 0.0050%로 하는 것이 바람직하다. Mg 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상이며, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이상이다. Mg 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0040% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.0030% 이하이다.
- [0039] Ti는 불순물로서 포함되는 원소이다. Ti는, 지철 중의 C, N, O 등과 결합하여 TiN, TiC, Ti 산화물 등의 미세 석출물을 형성하고, 어닐링 중의 결정립의 성장을 저해해서 자기 특성을 열화시킨다. 그 때문에, Ti 함유량은 0.0030% 이하로 하는 것이 바람직하다. Ti 함유량은 보다 바람직하게는 0.0020% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이하이다. Ti는 함유될 필요는 없으므로, 함유량의 하한은 0%이다. 정련 비용을 고려하여, Ti 함유량은 0.0003% 이상 또는 0.0005% 이상으로 해도 된다.
- [0040] 화학 조성의 잔부는 Fe 및 불순물이다. 불순물이란, 원재료에 포함되는 성분, 또는 제조의 과정에서 혼입되는 성분이며, 의도적으로 강관에 함유시킨 것이 아닌 성분을 말한다. 불순물로서는, 예를 들어 Zn, B를 들 수 있다.
- [0041] 또한, 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강관은, V: 0 내지 0.10%, Zr: 0 내지 0.10%, Sb: 0 내지 0.10%, Nd: 0 내지 0.10%, Bi: 0 내지 0.10%, W: 0 내지 0.10%, Nb: 0 내지 0.10%, Y: 0 내지 0.10%, Ca: 0 내지 0.0050%를 함유해도 된다.
- [0042] V, Nb는, 무방향성 전자 강관이 강도의 증가에 기여하는 원소이다. V 및 Nb는 함유되지 않아도 되기 때문에, V 및 Nb의 각 함유량은 0%여도 되지만, 상기 효과를 얻기 위해서, V 및 Nb의 각 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다. V 및 Nb의 각 함유량은 0.0023% 이상이어도 된다. 한편, V 및 N의 각 원소를 과잉으로 함유하면 미세한 석출물에 의해 입성장성이 저해되어 철손이 열위가 되기 때문에, V 및 Nb의 각 함유량은 0.10% 이하인 것이 바람직하다. V 및 Nb의 각 함유량은, 바람직하게는 0.0050% 이하이다.

- [0043] Zr, Nd, Bi, W 및 Y는, 미세한 석출물을 저감시키고, 결정립의 입성장성을 개선하는 원소이다. 그 결과, 생산성이 개선된다. 상기 원소는 함유되지 않아도 되기 때문에, Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 함유량은 0%여도 되지만, 상기 효과를 얻기 위해서, Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다. Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 함유량은, 보다 바람직하게는 0.0015% 이상이다. 한편, Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 원소를 과잉으로 함유해도, 상기 효과는 포화하기 위해서, Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 함유량은 0.10% 이하인 것이 바람직하다. Zr, Nd, Bi, W 및 Y의 각 함유량은, 바람직하게는 0.0010% 이하이다.
- [0044] Sb는, 자기 특성, 예를 들어 B50을 향상시키는 원소이다. Sb는 함유되지 않아도 되기 때문에, Sb 함유량은 0%여도 되지만, 상기 효과를 얻기 위해서, Sb 함유량은 0.0050% 이상인 것이 바람직하다. Sb 함유량은, 보다 바람직하게는 0.01% 이상이다. 한편, Sb를 과잉으로 함유해도, 상기 효과는 포화되기 때문에 Sb 함유량은 0.10% 이하인 것이 바람직하다. Sb 함유량은, 바람직하게는 0.05% 이하이다.
- [0045] 또한, 상술한 원소 이외에, Fe의 일부 대신에, Ni, Cr, Cu, Sn, La 및 Ce로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상의 원소를 강판에 함유시켜도 된다.
- [0046] Ni는 강판의 전기 저항을 높여 철손을 저감시키는 원소이다. Ni는 함유될 필요가 없으며, Ni 함유량의 하한은 0%이다. Ni 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Ni 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 제품 비용의 관점에서, Ni 함유량은 0.5% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.4% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0047] Cr은 내식성이나 고주파 특성을 향상시키는 원소이다. Cr은 함유될 필요가 없으며, Cr 함유량의 하한은 0%이다. Cr 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Cr 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 제품 비용의 관점에서, Cr 함유량은 0.5% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.4% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0048] Cu는 강판의 전기 저항을 높이고, 철손을 저감하는 원소이다. Cu는 함유될 필요가 없으며, Cu 함유량의 하한은 0%이다. Cu 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Cu 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 제품 비용의 관점, 강의 취화를 방지한다는 관점에서, Cu 함유량은 0.5% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.4% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0049] Sn은 자기 특성에 있어서 바람직한 결정 방위를 발달시키는 원소이다. Sn은 함유될 필요가 없으며, Sn 함유량의 하한은 0%이다. Sn 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지한다는 관점에서, Sn 함유량은 0.2% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.1% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0050] La는 황화물을 조대화시켜 열처리 공정에서의 결정립의 성장성을 개선하고 저철손화에 기여하는 원소이다. La는 함유될 필요가 없으며, La 함유량의 하한은 0%이다. La 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, La 함유량은 0.005% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0010% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지한다는 관점에서, La 함유량은 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.0030% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0051] Ce는 황화물을 조대화시켜, 열처리 공정에서의 결정립의 성장성을 개선하고, 저철손화에 기여하는 원소이다. Ce는 함유될 필요가 없으며, Cu 함유량의 하한은 0%이다. Ce 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Ce 함유량은 0.005% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0010% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지한다는 관점에서, Ce 함유량은 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.0030% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0052] 또한, 추가로 상술한 원소 이외에, Fe 대신에, As, Ga, Ge, Se, Co 및 Pb로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상의 원소를, 각각 0 내지 0.01%의 범위에서 함유해도 된다.
- [0053] 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 판 두께는, 바람직하게는 0.30mm 미만이다. 판 두께가 0.30mm 미만이면, 자기 특성의 저하가 억제된다.
- [0054] 다음으로, 본 발명의 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 대하여 설명한다.
- [0055] 우선, 소정의 화학 조성을 갖는 강 슬래브를 제조한다. 슬래브는, 먼저, 전로, 전기로 등에 의해 용제하고, 추

가로 필요에 따라 진공 탈가스 처리하고, 용강을 얻는다. 그리고, 얻어진 용강을, 연속 주조, 또는 조괴 후 분괴 압연하고, 30 내지 400mm 정도의 두께의 슬래브로 한다. 이때, 1300℃에서 1200℃까지의 냉각 속도를 50℃/s 이하로 한다. 이 냉각 속도가 너무 빠르면, MgS가 MnS에 우선하여 제조되지 않고, Mg 함유량이 5질량% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5질량% 이상인 개재물의 개수가 저하되고, 그 결과, 무방향성 전자 강판의 피로 강도가 저하된다. 강 슬래브의 두께는, 150mm 이상이어도 된다. 또한, 강 슬래브의 두께는 350mm 이하여도 된다.

[0056] 강 슬래브를 제조 후, 강 슬래브를 재가열하여 열간 압연을 실시하고, 열연 강판으로 한다. 이때, 강 슬래브의 가열에 있어서, 중심 온도가 1100℃ 이상으로 되는 체재 시간을 2시간 미만으로 한다(단, 0은 포함하지 않음). 이 체재 시간이 너무 길면, Mg 함유량이 적은 황화물이 증가하고, 그 결과, 무방향성 전자 강판의 피로 강도가 저하된다. 열간 압연의 조건은 특별히 한정되지는 않는다. 예를 들어, 마무리 압연 시의 최종 압연 온도는 700 내지 1050℃로 할 수 있다.

[0057] 열간 압연 후, 권취하고, 열연관 어닐링, 냉간 압연을 행한다. 열간 압연의 권취 온도는 700℃ 이상으로 한다. 열간 압연의 권취 온도는, 예를 들어 700 내지 1000℃로 한다. 권취 온도가 700℃를 하회하면, 그 시점에서 고용 상태였던 S가 단독에서의 MnS를 형성하고, Mg를 포함하지 않는 MnS가 형성되기 쉬워지기 때문에 바람직하지 않다. 그 밖의 조건은 특별히 한정되지는 않는다. 열연관 어닐링은 생략해도 된다. 열연관 어닐링은, 예를 들어 950℃ 이상 1050℃ 이하에서 10초간 이상 3분간 이하 유지하는 연속 어닐링으로 실시할 수 있다. 냉간 압연은, 예를 들어 실온 내지 300℃의 온도 범위에서, 압하율을 70 내지 90%로 하여 행할 수 있다.

[0058] 냉간 압연을 실시하고 냉연 강판으로 한 후, 강판에 마무리 어닐링을 실시하여 무방향성 전자 강판을 얻는다. 인장 강도가 높고, 피로 강도가 우수한 무방향성 전자 강판으로 하기 위해서는, 마무리 어닐링은 저온에서 실시한다. 구체적으로는, 최고 도달 온도를 700 내지 900℃로 하고, 균열 시간은, 예를 들어 10 내지 60초로 하여 마무리 어닐링을 실시한다. 여기서, 균열 시간이란 최고 도달 온도 -10℃가 유지되는 시간을 말하는 것으로 한다. 보다 최적의 최고 도달 온도는, 화학 성분에 따라서, 적절히 조정하면 된다. 저온에서의 마무리 어닐링에 의해, 결정립의 성장을 억제하고, 재결정부의 평균 결정 입경을 50μm 이하로 하여 인장 강도가 높고, 피로 강도가 우수한 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다.

[0059] 이상과 같이 제조된 무방향성 전자 강판은, 580MPa 이상의 높은 인장 강도와 함께, 우수한 피로 강도를 갖는다.

[0060] 피로 강도는, JIS Z2273:2011에 준거한 편진동 인장 시험에 의해 구할 수 있다. 구체적으로는, 무방향성 전자 강판으로부터 압연 방향과 인장 방향을 일치시킨 피로 시험편을 채취한다. 시험편 형상은 JIS2-15호 시험편을 사용하였다. 평행부와 R부의 단부면을 600번의 연마지로 연마 후에 실온, 대기 분위기 중에서, 편진동 인장 시험을 실시한다. 응력비 0.10, 주파수 20Hz, 응력 부하 반복 횟수 200만 사이클 후에 있어서 파단하지 않은 최대 응력을 피로 강도(MPa)로 한다. 본 발명에 있어서는, 피로 강도가 450MPa 이상이면, 우수한 피로 강도를 갖는다고 판단한다.

[0061] 본 발명의 바람직한 실시 형태의 일 예에 대하여 설명하였지만, 본 발명은, 상기에 한정되는 것은 아니다. 상기는 예시이며, 본 발명의 청구범위에 기재된 기술적 사상과 실질적으로 동일한 구성을 갖고, 마찬가지로의 작용 효과를 발휘하는 것은, 어떠한 것이어도 본 발명의 기술적 범위에 포함된다. 예를 들어, 본 실시 형태에 따른 무방향성 전자 강판의 제조 방법에서는, 그 밖의 공지된 제조 공정을 포함하고 있어도 된다.

[0062] **실시예**

[0063] 이하, 실시예를 예시하여, 본 발명을 구체적으로 설명하지만, 본 발명은 이것에 한정되는 것은 아니다. 당업자라면 청구범위에 기재된 사상의 범주 내에서, 각종 변경예 또는 수정예에 상응할 수 있는 것은 명확하며, 이들에 대해서도 당연히 본 발명의 기술적 범위에 속하는 것으로 이해된다.

[0064] (실시예 1)

[0065] 화학 조성이 Si: 3.3%, sol.Al: 0.7%, Mn: 1.2%, C: 0.002%, P: 0.02%, S: 0.0010%, Ti: 0.0015%, 잔부: Fe 및 불순물인 강종(Mg 없음)과, 상기 강종의 Fe의 일부로 바꾸어 Mg: 0.0013%를 함유하는 강종(Mg 첨가)을 사용하여 전자 강판을 제작하고, 인장 강도, 피로 강도를, 전술한 방법으로 측정하였다.

[0066] 전자 강판의 제조에 있어서는, 주조에 있어서의 1300℃에서 1200℃까지의 냉각 속도는 30℃/s, 열간 압연 전의 강 슬래브의 가열에 있어서의 중심 온도 1100℃ 이상에서의 체재 시간은 1시간으로 하고, 권취 온도는 750℃로 하고, 마무리 어닐링 온도를 750 내지 1000℃의 사이에서 변경하였다.

[0067] 마무리 어닐링 온도, Mg 유무를 변경한 각각의 전자 강판의 인장 강도, 피로 강도를 표 1에 나타낸다. 본 시험

에서는, 인장 강도 580MPa 이상, 피로 강도 450MPa 이상을 양호하다고 판단하였다. 상기 화학 성분을 갖는 Mg를 첨가한 전자 강관에 있어서는, 마무리 어닐링 온도를 750 내지 800℃로 했을 때에 양호한 결과가 얻어졌다.

[표 1]

마무리 어닐링 온도 (°C)	Mg 첨가		Mg 없음	
	TS(MPa)	σ_{max} (MPa)	TS(MPa)	σ_{max} (MPa)
750	631	510	624	470
800	620	500	618	460
850	589	460	587	440
900	573	440	570	420
950	558	420	555	410
1000	541	410	539	400

(실시예 2)

표 2A, 2B에 나타난 성분을 갖는 무방향성 전자 강관을, 표 3A에 나타난 주조 시의 냉각 속도, 열간 압연 전의 가열로에 있어서의 1100℃ 이상의 체재 시간, 권취 온도, 마무리 어닐링의 최고 도달 온도의 조건에서, 표 3A에 나타난 판 두께의 무방향성 전자 강관을 제조하였다.

제조한 무방향성 전자 강관의 「Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 1mm²당 개수, 「Mg 함유량이 5% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 1mm²당 개수, 재결정부의 평균 결정 입경, 인장 강도, 피로 강도를 전술한 방법으로 측정하였다.

[마이크로 조직 관찰 시험]

각 시험 번호의 강관 마이크로 조직을 다음의 방법으로 관찰하고, 페라이트 조직의 재결정부의 입경을 구하였다. 각 강관의 압연 방향 및 판 두께 방향을 포함하는 면을 갖는 시험편을 제작하고, 시험편의 관찰면을 경면에 연마한 후, 3% 나이탈 부식액에 10초 침지하여 에칭에 의해 조직을 현출시켰다. 에칭한 관찰면을, 광학 현미경을 사용하여 배율 100배로 3시야 관찰하였다. 페라이트 입자의 에스펙트비(압연 방향의 길이/판 두께 방향의 길이)가 3 이하인 영역을 특정하고, 그 영역에 있어서의 페라이트의 평균 결정 입경을 JIS G 0551:2013 「강-결정립도의 현미경 시험 방법」에 따라서 구하였다.

[개재물의 개수 밀도 측정 시험]

판 두께 0.25mm의 강관을 8매 중첩하여, 폭 방향(압연 직각 방향) 및 판 두께 방향을 포함하는 면이 관찰면이 되도록 시험편을 수지 매립하고, 수지 매립된 시험편의 관찰면을 연마하였다. 중첩한 판 두께 전체 두께의 영역을, EDS가 부착된 SEM을 사용하여 관찰하였다. 개재물의 크기는, 화상 해석 소프트웨어를 이용하여 크기를 계측하고, 원 상당 직경으로서 환산했을 때의 직경을 산출하였다. 5mm²의 범위에 대하여 원 상당 직경이 1μm 이상인 개재물 전부에 대하여 관찰을 행하였다. 그리고, 1μm 이상이 되는 개재물에 대하여 EDS 분석을 행하고, 「S 함유량이 5질량% 이상」이고 또한 「Mn 함유량이 5질량% 이상」인 개재물 중, 「Mg양이 5질량% 이하와 5질량% 초과」인 개재물의 개수 밀도를 측정하였다. 총 면적에 기초하여, 개수 밀도(개/mm²)를 구할 때에, 얻어진 수치의 소수 제3위를 반올림하고, 원 상당 직경이 1μm 이상인 개재물의 개수 밀도로 하였다. 원 상당 직경이 5μm 초과인 개재물에 대해서는 성분에 관계없이 크기만으로 판별하고, 마찬가지로 총 면적에 기초하여 개수 밀도를 측정하였다. 여기에 대해서는 비율 계산의 필요가 없으므로 소수 제2위를 반올림하여 개수 밀도로 하였다.

[자기 특성]

무방향성 전자 강관의 주파수 400Hz, 자속 밀도 1.0T에 있어서의 철손 $W_{10/400}$ 을, JIS C 2550-1:2011에 기재된 엡스타인 시험기에 의한 전자 강대의 자기 특성의 측정 방법에 있어서의 여자 전류법에 의해 구하였다.

결과를 표 3B에 나타낸다. 표 3B 중의 「Mg: 5% 이하」는, 「Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 1mm²당 개수, 「Mg: 5% 초과」는, 「Mg 함유량이 5% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 1mm²당 개수를 의미하고, 비율은, 「Mg 함유량이 5질량% 이하이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 개수에 대한 「Mg 함유량이 5% 초과이고 또한 Mn 함유량이 5% 이상인 개재물」의 개수의 비율을 의미한다. 또한, 표 3 중의 「5μm 이상」은, 원 상당 직경이 5μm 이상인 개재물의 개수 밀도(개/mm²)를 의미한다.

시험 No.	강종	화학 조성(원량%, 잔부: Fe 및 불순물)													
		Si	solAl	Mn	C	P	S	N	O	Mg	Ti	V	Zr	Sb	
1	A	3.4	0.3	0.9	0.0021	0.01	0.0011	0.0026	0.0015	0.0007	0.0013	-	-	-	
2	B	2.6	1.3	1.5	0.0026	0.04	0.0021	0.0022	0.0028	0.0004	0.0007	-	-	-	
3	C	3.7	0.3	1.0	0.0029	0.01	0.0006	0.0024	0.0020	0.0003	0.0011	-	-	-	
4	D	3.2	0.4	0.5	0.0022	0.01	0.0022	0.0022	0.0026	0.0001	0.0014	-	-	-	
5	E	2.4	1.2	0.7	0.0022	0.08	0.0013	0.0023	0.0026	0.0010	0.0008	-	-	-	
6	F	3.5	0.2	0.4	0.0027	0.06	0.0007	0.0017	0.0014	0.0008	0.0018	-	-	-	
7	G	3.2	1.2	0.6	0.0016	0.01	0.0015	0.0014	0.0011	0.0006	0.0009	-	-	-	
8	H	4.1	0.3	0.4	0.0018	0.01	0.0018	0.0024	0.0016	0.0034	0.0022	-	-	-	
9	I	3.1	0.4	3.0	0.0022	0.01	0.0023	0.0019	0.0014	0.0021	0.0027	-	-	-	
10	J	2.8	1.8	1.2	0.0026	0.01	0.0014	0.0021	0.0019	0.0014	0.0012	-	-	-	
11	K	3.1	1.2	0.4	0.0018	0.02	0.0013	0.0017	0.0025	0.0011	0.0024	-	-	-	
12	L	3.3	0.5	0.5	0.0024	0.01	0.0021	0.0022	0.0017	0.0013	0.0011	-	-	-	
13	M	3.5	0.3	0.6	0.0015	0.01	0.0009	0.0027	0.0013	0.0011	0.0007	-	-	-	
14	N	3.5	0.5	0.6	0.0017	0.01	0.0007	0.0021	0.0020	0.0023	0.0016	-	-	-	
15	O	3.2	0.3	0.9	0.0014	0.01	0.0011	0.0018	0.0027	0.0025	0.0019	-	-	-	
16	P	3.3	0.7	0.9	0.0018	0.01	0.0017	0.0011	0.0022	0.0016	0.0006	0.0019	-	-	
17	Q	3.5	0.3	0.2	0.0022	0.01	0.0011	0.0014	0.0024	0.0023	0.0011	-	-	-	
18	R	3.2	0.6	0.4	0.0026	0.01	0.0008	0.0023	0.0015	0.0016	0.0013	-	-	-	
19	S	2.9	0.4	1.7	0.0011	0.02	0.0021	0.0016	0.0022	0.0017	0.0021	-	-	0.0050	
20	T	3.8	0.6	0.3	0.0024	0.01	0.0016	0.0017	0.0026	0.0016	0.0023	-	-	-	
21	U	3.1	0.2	0.2	0.0022	0.05	0.0028	0.0027	0.0028	0.0002	0.0029	-	-	-	
22	V	3.6	0.4	1.2	0.0017	0.01	0.0022	0.0015	0.0018	0.0016	0.0012	-	-	-	
23	W	3.7	0.9	0.1	0.0025	0.01	0.0027	0.0021	0.0018	0.0031	0.0011	-	0.0023	-	

「-」는 의도적으로 첨가하지 않았음을 나타낸다.

[표 2A]

[0080]

[0081]

[0082]

[표 2B]

시험 No.	강종	화학 조성(질량%, 잔부: Fe 및 불순물)											
		Nd	Bi	W	Nb	Y	Ni	Cr	Cu	Sn	La	Ce	Zn
1	A	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-
2	B	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-
3	C	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-
4	D	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-
5	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	F	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-
7	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	H	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	-
9	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	J	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-
11	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	N	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.0010	0.0020	-	-
15	O	-	-	-	-	-	0.05	0.05	-	-	-	-	-
16	P	-	-	0.0011	0.0016	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Q	0.0010	-	-	-	0.0011	-	-	-	0.0020	0.0010	-	-
18	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	S	-	0.0012	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-
20	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0013	-
21	U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

「-」는 의도적으로 첨가하지 않았음을 나타낸다.

[0083]

[0084]

[표 3A]

시험 No.	강종	슬래브 두께 (mm)	주조에 있어서의 1300℃ 내지 1200℃의 냉각 속도 (°C/s)	슬래브의 가열에 있어서의 중심 온도 1100℃ 이상에서의 체재 시간 (시간)	권취 온도 (°C)	마무리 야일형에 있어서의 최고 도발 온도 (°C)	판 두께 (mm)
1	A	250	30	1	720	810	0.25
2	B	250	30	1	720	840	0.25
3	C	250	30	1	720	890	0.25
4	D	250	30	1	720	760	0.25
5	E	250	30	1	720	800	0.25
6	F	250	30	1	900	810	0.25
7	G	250	30	1	720	880	0.25
8	H	250	30	1	720	890	0.25
9	I	350	30	1	720	860	0.25
10	J	150	30	1	720	850	0.25
11	K	250	60	1	720	820	0.25
12	L	250	30	3	720	800	0.25
13	M	250	30	1	720	950	0.25
14	N	250	30	1	720	850	0.25
15	O	250	30	1	720	740	0.25
16	P	250	1	1	720	840	0.25
17	Q	250	50	1	720	850	0.25
18	R	250	1	1	680	810	0.25
19	S	250	1	1	720	710	0.25
20	T	250	0.5	1	720	880	0.25
21	U	250	1	1	720	730	0.30
22	V	250	1	1	720	690	0.25
23	W	250	1	1	720	890	0.25

밑줄은 본 발명의 범위 외, 또는 목표로 하는 특성이 얻어지지 않았음을 나타낸다.

[0085]

[0086] [표 3B]

시험 No.	강종	Mg 5% 이하 (개/mm ²)	Mg 5% 초과 (개/mm ²)	비율	5 μm 이하 (개/mm ²)	거칠기의 재결정부의 평균 결정 입경 (μm)	인장 강도 (MPa)	피로 강도 (MPa)	W10/400 (W/kg)	비고
1	A	0.04	0.77	19.3	0.7	18	608	480	16.2	본 발명에
2	B	0.13	0.84	6.5	0.7	21	583	480	15.4	본 발명에
3	C	0.04	0.22	5.5	0.9	36	614	470	13.6	본 발명에
4	D	0.35	0.14	0.4	1.1	12	605	440	18.2	비교예
5	E	0.30	1.30	4.3	0.6	17	561	440	16.7	비교예
6	F	0.02	0.56	28.0	0.7	19	616	490	16.2	본 발명에
7	G	0.06	0.90	15.0	0.7	31	600	480	14.0	본 발명에
8	H	0.01	2.10	210.0	0.3	45	639	490	12.9	본 발명에
9	I	0.03	1.82	60.7	0.4	27	605	470	14.1	본 발명에
10	J	0.03	1.21	40.3	0.5	26	605	470	14.3	본 발명에
11	K	0.15	0.43	2.9	0.3	20	606	440	15.7	비교예
12	L	0.22	0.84	3.8	0.5	16	604	440	16.8	비교예
13	M	0.02	0.99	49.5	0.6	60	567	420	12.7	비교예
14	N	0.01	1.24	124.0	0.4	27	605	470	14.7	본 발명에
15	O	0.01	1.82	182.0	0.4	13	603	490	17.7	본 발명에
16	P	0.03	2.72	90.7	0.5	26	594	470	14.8	본 발명에
17	Q	0.01	1.78	178.0	0.4	23	593	470	15.6	본 발명에
18	R	0.41	1.28	3.1	0.4	19	588	440	16.2	비교예
19	S	0.03	3.57	119.0	0.5	13	595	480	17.6	본 발명에
20	T	0.03	2.56	85.3	0.4	32	630	490	14.0	본 발명에
21	U	0.05	3.92	78.4	1.0	12	589	430	20.1	비교예
22	V	0.03	3.52	117.3	0.8	9	682	550	20.1	본 발명에
23	W	0.02	2.15	107.5	0.4	38	623	480	13.4	본 발명에

밑줄은 본 발명의 범위 외, 또는 목표치 하는 특성이 얻어지지 않았음을 나타낸다.

[0087]

[0088]

본 발명에 따르면, 580MPa 이상의 인장 강도를 갖고, 피로 강도가 450MPa 이상인 무방향성 전자 강판이 얻어진다는 것을 확인할 수 있었다.