



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0150986  
(43) 공개일자 2023년10월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)  
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)  
C22C 38/34 (2006.01) C22C 38/42 (2006.01)  
C22C 38/44 (2006.01) C22C 38/50 (2006.01)  
H01F 1/147 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/02 (2013.01)  
C21D 8/12 (2023.08)

(21) 출원번호 10-2023-7032623

(22) 출원일자(국제) 2022년03월30일

심사청구일자 2023년09월22일

(85) 번역문제출일자 2023년09월22일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/015948

(87) 국제공개번호 WO 2022/210870

국제공개일자 2022년10월06일

(30) 우선권주장

JP-P-2021-061752 2021년03월31일 일본(JP)

JP-P-2021-099597 2021년06월15일 일본(JP)

(71) 출원인

닛폰세이테츠 가부시카이가이사

일본 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1코

(72) 발명자

와키사카 다케아키

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1코 닛폰세이테츠가부시카이가이사 내

나토리 요시아키

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1코 닛폰세이테츠가부시카이가이사 내

(74) 대리인

양영준, 최인호, 성재동

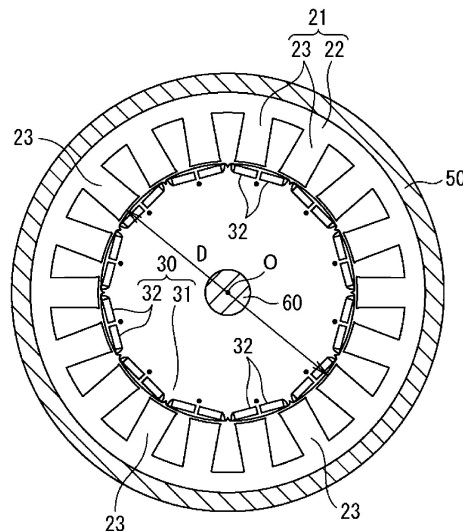
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 무방향성 전자 강판

(57) 요약

이 무방향성 전자 강판은, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가 2° 이상 15° 미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200 $\mu$ m 미만인 결정립의 면적률이 10% 이하를 만족시킨다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C22C 38/001* (2013.01)

*C22C 38/008* (2013.01)

*C22C 38/06* (2013.01)

*C22C 38/34* (2013.01)

*C22C 38/42* (2013.01)

*C22C 38/44* (2013.01)

*C22C 38/50* (2013.01)

*H01F 1/147* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가 2° 이상 15° 미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200 $\mu$ m 미만인 결정립의 면적률이 10% 이하를 만족시키는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가 15° 이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 최대 결정 입경을  $D15_{MAX}$ , 결정 방위차가 2° 이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 평균 결정 입경을  $D2_{AVE}$ 로 하였을 때, 하기 (1)식을 만족시키는 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

$$D15_{MAX}/D2_{AVE} \leq 5.0 \quad \dots (1)$$

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가 15° 이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 200 $\mu$ m 이상의 결정 입경을 갖는 결정립의 형체를 타원으로 근사하여 얻어지는 형체에 있어서, 장축 길이를 DL, 단축 길이를 DC로 하였을 때, 하기 (2)식을 만족시키는 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

$$DL/DC \leq 5.0 \quad \dots (2)$$

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

질량%로,

C: 0% 이상 0.0050% 이하,

Si: 2.00% 이상 3.25% 이하,

sol. Al: 0% 이상 1.10% 이하,

Mn: 0% 이상 1.10% 이하,

P: 0% 이상 0.30% 이하,

S: 0% 이상 0.0100% 이하,

N: 0% 이상 0.0100% 이하,

Ti: 0% 이상 0.1000% 이하,

V: 0% 이상 0.100% 이하,

Zr: 0% 이상 0.100% 이하,

Nb: 0% 이상 0.100% 이하,

B: 0% 이상 0.100% 이하,

O: 0% 이상 0.100% 이하,

Mg: 0% 이상 0.100% 이하,

Ca: 0% 이상 0.010% 이하,  
 Cr: 0% 이상 5.000% 이하,  
 Ni: 0% 이상 5.000% 이하,  
 Cu: 0% 이상 5.000% 이하,  
 Sn: 0% 이상 0.100% 이하,  
 Sb: 0% 이상 0.100% 이하,  
 Ce: 0% 이상 0.100% 이하,  
 Nd: 0% 이상 0.100% 이하,  
 Bi: 0% 이상 0.100% 이하,  
 W: 0% 이상 0.100% 이하,  
 Mo: 0% 이상 0.100% 이하, 및  
 Y: 0% 이상 0.100% 이하

를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어지는 화학 조성을 갖고,  
 판 두께가 0.10mm 이상 0.35mm 이하이며,  
 평균 결정 입경이 10 $\mu$ m 이상 200 $\mu$ m 이하인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2021년 3월 31일에, 일본에 출원된 특허 출원 제2021-061752호 및 2021년 6월 15일, 일본에 출원된 특허 출원 제2021호-099597호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 인용한다.

#### 배경 기술

[0003] 근년, 모터 등의 전기 기기의 세계적인 수요의 고조에 의해, 모터 등의 재료로서 사용할 수 있는 무방향성 전자 강판의 수요가 고조되고 있다.

[0004] 특허문헌 1에는, 무방향성 전자 강판을 펀칭하여 모터 코어를 제작하는 방법에 있어서, 펀칭 금형의 절단날 진원도를, 무방향성 전자 강판의 연신율에 따라서 제어하는 것이 기재되어 있다.

#### 선행기술문헌

##### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 평10-24333호 공보

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0006] 모터의 스테이터 코어에 사용되는 무방향성 전자 강판은, 스테이터 코어가 금형으로 펀칭된 후, 철손을 저감하기 위해 코어 어닐링이 실시된다. 또한, 구체적으로는, 우선 무방향성 전자 강판으로부터 로터 코어가 펀칭되고, 다음으로 스테이터 코어의 내경이 펀칭된 후, 스테이터 코어의 외경이 펀칭된다. 스테이터 코어에 코어 어닐링에 의해 열을 가함으로써, 잔류하고 있던 응력, 변형이 해방되어, 철손이 저감된다. 또한, 스테이터 코어에는 코어 어닐링이 실시되지만, 고강도화를 위해 로터 코어에는 어닐링이 실시되지 않는 것이 일반적이다.

[0007] 스테이터 코어를 금형으로 펀칭한 후의 스테이터 코어 내의 잔류 응력 분포가 불균일하면, 코어 어닐링 시의 잔류 응력 해방에 수반되는 스테이터 코어의 형상 변화가 불균일해진다. 이에 의해, 코어 어닐링 전에 얻어졌던 스테이터 코어 내경의 높은 진원도가 코어 어닐링에 의해 저하되는 경우가 있다. 잔류 응력 분포가 불균일해지는 요인의 하나로, 펀칭되는 무방향성 전자 강판의 조직적 불균일을 들 수 있다.

[0008] 상기 특허문헌 1에 기재된 기술은, 펀칭 금형의 절단날 진원도를, 무방향성 전자 강판의 연신율에 따라서 제어하는 것이며, 무방향성 전자 강판의 가공 후의 치수 정밀도를 펀칭 금형의 치수에 의해 제어하는 것이다. 이 때문에, 특허문헌 1에 기재된 기술은, 펀칭 금형의 치수에 의존하지 않고, 원하는 치수 정밀도를 얻는 것이 가능한 무방향성 전자 강판을 제공하는 것은 상정하고 있지 않다.

[0009] 따라서, 본 발명은, 가공 후 및 그 후의 코어 어닐링(응력 제거 어닐링) 후의 치수 정밀도의 저하를 억제하는 것이 가능한 무방향성 전자 강판을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 본 개시의 요지는 이하와 같다.

[0011] (1) 본 발명의 일 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판은, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $2^\circ$  이상  $15^\circ$  미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률이 10% 이하를 만족시킨다.

[0012] (2) 상기 (1)에 기재된 무방향성 전자 강판은, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 최대 결정 입경을  $D15_{\text{MAX}}$ , 결정 방위차가  $2^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 평균 결정 입경을  $D2_{\text{AVE}}$ 로 하였을 때, 하기 (1)식을 만족시켜도 된다.

[0013]  $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}} \leq 5.0 \quad \dots (1)$

[0014] (3) 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 무방향성 전자 강판은, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때,  $200\mu\text{m}$  이상의 결정 입경을 갖는 결정립의 형체를 타원으로 근사하여 얻어지는 형체에 있어서, 장축 길이를 DL, 단축 길이를 DC로 하였을 때, 하기 (2)식을 만족시켜도 된다.

[0015]  $DL/DC \leq 5.0 \quad \dots (2)$

[0016] (4) 상기 (1) 내지 (3) 중 어느 한 항에 기재된 무방향성 전자 강판은, 질량%로,

[0017] C: 0% 이상 0.0050% 이하,

[0018] Si: 2.00% 이상 3.25% 이하,

[0019] sol. Al: 0% 이상 1.10% 이하,

[0020] Mn: 0% 이상 1.10% 이하,

[0021] P: 0% 이상 0.30% 이하,

[0022] S: 0% 이상 0.0100% 이하,

[0023] N: 0% 이상 0.0100% 이하,

[0024] Ti: 0% 이상 0.1000% 이하,

[0025] V: 0% 이상 0.100% 이하,

[0026] Zr: 0% 이상 0.100% 이하,

[0027] Nb: 0% 이상 0.100% 이하,

[0028] B: 0% 이상 0.100% 이하,

[0029] O: 0% 이상 0.100% 이하,

[0030] Mg: 0% 이상 0.100% 이하,

[0031] Ca: 0% 이상 0.010% 이하,

- [0032] Cr: 0% 이상 5.000% 이하,
- [0033] Ni: 0% 이상 5.000% 이하,
- [0034] Cu: 0% 이상 5.000% 이하,
- [0035] Sn: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0036] Sb: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0037] Ce: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0038] Nd: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0039] Bi: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0040] W: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0041] Mo: 0% 이상 0.100% 이하, 및
- [0042] Y: 0% 이상 0.100% 이하
- [0043] 를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어지는 화학 조성을 갖고,
- [0044] 판 두께가 0.10mm 이상 0.35mm 이하이며,
- [0045] 평균 결정 입경이 10 $\mu$ m 이상 200 $\mu$ m 이하여도 된다.

**발명의 효과**

- [0046] 본 발명에 관한 상기 실시 형태에 따르면, 가공 후 및 그 후의 코어 어닐링(응력 제거 어닐링) 후의 치수 정밀도의 저하를 억제하는 것이 가능한 무방향성 전자 강판을 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0047] 도 1은 스테이터 코어의 내부에 로터 코어가 삽입된 상태를 도시하는 평면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0048] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법에 대하여 설명한다.
- [0049] 스테이터 코어에 사용되는 무방향성 전자 강판은, 스테이터 코어의 형상으로 금형으로 펀칭된 후, 철손을 저감하기 위해 열처리(코어 어닐링)가 실시된다. 펀칭 후의 강판에 대해 열처리를 실시함으로써, 잔류하고 있던 응력, 변형이 해방되어, 철손이 저감된다.
- [0050] 코어 어닐링 시에, 스테이터 코어를 금형으로 펀칭한 후의 스테이터 코어 내의 잔류 응력 분포가 불균일하면, 잔류 응력 해방에 수반되는 스테이터 코어의 형상 변화가 불균일해진다. 이에 의해, 코어 어닐링 전에 얻어졌던 스테이터 코어 내경의 높은 진원도가 코어 어닐링에 의해 저하되는 경우가 있다.
- [0051] 도 1은 스테이터 코어의 내부에 로터 코어가 삽입된 상태를 도시하는 평면도이다. 도 1에 있어서, 스테이터 코어(21)는, 무방향성 전자 강판을 지면 수직 방향으로 적층하여 구성되며, 외주측의 코어 백(22)과, 코어 백(22)으로부터 내측으로 돌출된 복수의 티스(23)로 구성된다. 티스(23)의 선단보다도 내측에는 로터 코어(30)가 삽입된다. 로터 코어(30)는, 로터 철심(31)과 로터 철심(31)의 외주측에 마련되어 티스(23)의 선단과 대향하는 복수의 자석(32)을 갖는다. 스테이터 코어(21)의 외주는 케이스(50)에 보유 지지되어 있다. 로터 철심(31)의 중심에는, 샤프트(60)가 관통하고, 샤프트(60)는 로터 철심(31)에 대하여 고정되어 있다. 샤프트(60)는, 샤프트(60)의 중심 O를 스테이터 코어(21)의 내경 중심과 일치시킨 상태에서, 케이스(50)(또는 다른 고정 부재)에 의해 중심 O를 회전축으로 하여 회전 가능하게 지지되어 있다.
- [0052] 도 1에서는, 스테이터 코어의 내경은, 구체적으로는 티스(23)의 선단의 내경 D이다. 상술한 잔류 응력 개방에 수반되는 스테이터 코어(21)의 형상 변화에 의해, 이 내경 D의 진원도가 저하되면, 티스(23)의 선단과 로터 철심(31) 사이의 갭이 불균일해진다. 이에 의해, 로터 코어(30)가 회전할 때의 코깅 토크가 커진다. 코깅 토크의 증대는, 회전 불균일, 진동, 소음 등의 요인이 된다. 또한, 스테이터 코어(21)의 내경의 진원도가 더 저하

되면, 티스(23)의 선단에 로터 코어(30)의 로터 철심(31)이 닿는 등의 문제가 발생할 수 있다.

- [0053] JIS B0621(1984) 「기하 편차의 정의 및 표시」에서는, 「진원도란, 원형 형태의 기하학적으로 올바른 원으로부터의 어긋남의 크기를 말한다」라고 정의되어 있다. 또한, 진원도의 표시에 대해서는 「진원도는 원형 형체를 2개의 동심의 기하학적 원 사이에 두었을 때, 동심 2원의 간격이 최소가 되는 경우에 2원의 반경차로 나타내고, 진원도\_㎜ 또는 진원도\_μm로 표시한다」라고 기재되어 있다.
- [0054] 본 실시 형태에서는, 진원도의 평가 기준으로서, 원의 직경의 최댓값과 최솟값의 차를 평균 직경으로 제산하여 얻어지는 비율을 채용한다. 또한, 원의 직경의 최댓값은 JIS B0621(1984)에 기재된 상기 동심 2원 중 큰 원의 직경이며, 원의 직경의 최솟값은 상기 동심 2원 중 작은 원의 직경이다. 또한, 평균 직경이란 원의 직경의 최댓값과 최솟값을 평균한 값이다. 따라서, 본 실시 형태의 진원도의 평가 기준은, JIS B0621(1984)에 기재된 동심 2원의 간격이 최소가 되는 경우의 2원의 반경차인 진원도를, 2원의 반경의 평균값으로 제산하여 얻어지는 비율에 상당한다.
- [0055] 내경 D의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200%를 초과하면, 티스(23)의 선단과 로터 철심(31) 사이의 갭이 불균일해져, 회전 불균일, 진동, 소음 등의 요인이 되고, 또한 티스(23)의 선단에 로터 코어(30)의 로터 철심(31)이 닿는 등의 문제가 발생하기 때문에, 내경 D의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율은 0.200% 이하로 한다. 이 비율은, 바람직하게는 0.15% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.100% 이하이다. 비율은 작을수록 바람직하기 때문에, 하한은 설정하지 않는다.
- [0056] 스테이터 코어 내의 잔류 응력 분포가 불균일해지는 요인의 하나로, 펀칭되는 무방향성 전자 강판의 조직적 불균일을 들 수 있다. 특히, 코어 어닐링 전의 무방향성 전자 강판에 재결정 조직과 미재결정 조직이 혼재되는 경우, 각각의 조직에 잔류하는 응력이 다르기 때문에, 코어 어닐링 시의 응력 해방 정도에 차가 발생한다. 그 결과, 스테이터 코어 내의 각각의 조직에 있어서의 형상 변화에도 차가 발생하게 된다. 재결정 조직과 미재결정 조직이 무방향성 전자 강판 내에서 미세하게 분산되어 있는 경우에는, 펀칭 후의 스테이터 코어의 내경의 진원도의 저하는 비교적 검지되기 어렵다. 그러나, 무방향성 전자 강판 내에서 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재되어 있는 경우에는, 편재되는 각각의 조직에서 코어 어닐링 시의 응력 해방이 다르기 때문에, 펀칭 후의 스테이터 코어의 내경의 진원도가 저하되고, 그 결과, 모터 제조 관리상의 에러가 증가된다.
- [0057] 재결정 조직과 미재결정 조직의 편재는, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이 비교적 큰 경우, 혹은 최종 냉연 전의 강판에 평균 결정 입경보다 큰 결정립이 다수 존재하는 경우에 일어나기 쉽다. 또한, 「최종 냉연 전」이란, 최종 냉간 압연 전에 행해진 최후의 어닐링 후이다. 예를 들어 열연판 어닐링을 실시하지 않는 1회 냉연법이면 열연 권취 후가 「최종 냉연 전」에 상당하고, 열연판 어닐링을 실시하는 1회 냉연법이면 열연판 어닐링 후가 「최종 냉연 전」에 상당하고, 2회 냉연법 또는 복수회 냉연법이면 중간 어닐링 후(최후의 어닐링 후)가 「최종 냉연 전」에 상당한다.
- [0058] 또한, 최종 냉연 전에  $\{100\} <0vw>$  방위 입자가 다수 존재하고 있으면,  $\{100\} <0vw>$  방위 입자는 냉연에서 압연 방향으로 연신한 조대 가공 입자가 되고, 그 후의 어닐링에서 조대한 미재결정 조직으로서 잔류한다.
- [0059] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판은, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $2^\circ$  이상  $15^\circ$  미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률이 10% 이하를 만족시킨다.
- [0060] 여기에서는, 결정의 경계를 판단하는 경계의 결정 방위차를  $15^\circ$  미만으로 작은 방위차로 한정하고 있다. 이와 같은 작은 결정 방위차의 입계에 의해 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  미만인 비교적 미세한 조직으로서 관찰되는 영역은, 바꾸어 말하면 동일한 결정 방위를 갖는 결정이 인접한 영역으로 되어 있다. 그리고 이와 같은 영역은, 상술한 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재된 불균일 영역의 존재를 원인으로 하여, 냉연 및 어닐링에 의해 발생한 것으로 생각된다. 즉, 이와 같은 결정 방위차가 작은 결정이 인접한 영역의 면적률이 작음으로써, 상술한 바와 같은 잔류 응력의 편재의 원인이 되는 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재된 조직이 존재하고 있지 않았던 것으로 판단할 수 있다. 본 실시 형태에서는 이 면적률을 10% 이하로 한정한다. 바람직하게 5% 미만이다. 또한, 결정립계를 판정하는 결정 방위차의 하한을  $2^\circ$  이상으로 한 것은, 결정립계로 판단하는 결정 방위차가 너무나 작은 경우(예를 들어  $1^\circ$  정도)이면, 결정의 약간의 변형이나 측정 기기의 정밀도에 따라서는 결정의 경계가 아닌 것을 결정립계로 판단해 버리기 때문이다.
- [0061] 또한, 결정 방위차 그리고 결정립의 면적률은, 이하와 같이 하여 측정한다.
- [0062] 먼저, 무방향성 전자 강판으로부터 강판 표면에 평행인 단면(강판의 압연 방향 및 판 두께 방향에 평행인 단면)을 관찰면으로 하여 시료(결정성 시료)를 채취하고, 관찰면을 연마하여 경면으로 마무리한다. 다음으로, 주

사 전자 현미경(SEM: Scanning Electron Microscope) 내에 결정성 시료를 크게 경사지게 하여 적재하고, 전자선을 조사함으로써 EBSD(Electron BackScatter Diffraction) 패턴을 얻는다. 이 EBSD 패턴을 전용의 EBSD 검출기에 의해 연속 수집하면서, EBSD 패턴에 대해 지수 부여 및 결정 방위의 산출을 행한다. 또한, EBSD법에 의한 결정 구조 해석은, 배율: 100배, 시야수: 5시야, 1시야의 사이즈를  $800\mu\text{m} \times 1,000\mu\text{m}$  이상으로 하여 행한다. 얻어진 데이터를 「OIM 애널리시스 Version7.3.1」(TSL사제)로 해석한다. 이때, 인접하는 측정점과의 결정 방위차가 일정한 역치 이하인 점의 집합을, 하나의 결정립으로 간주한다. 관찰 시야 모든 결정립의 확정 후, 「OIM 애널리시스 Version7.3.1」(TSL사제)을 사용하여 인접 입자간의 결정 방위차, 및 각 결정립의 면적을 구한다.

[0063] 또한 본 실시 형태에서는, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 최대 결정 입경을  $D15_{\text{MAX}}$ , 결정 방위차가  $2^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 평균 결정 입경을  $D2_{\text{AVE}}$ 로 하였을 때, 하기 식 (1)을 만족시키는 것이 바람직하다.

[0064]  $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}} \leq 5.0$  ... 식 (1)

[0065] 이 비( $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}}$ )는, 상술한 동일한 결정 방위를 갖는 결정이 얼마만큼 연속으로 인접하고 있는지, 어느 정도의 넓이로 퍼져 있는지를 나타내는 지표가 된다. 여기서,  $D2_{\text{AVE}}$ 를 판정하는 입계는,  $D15_{\text{MAX}}$ 를 판정하는 입계를 포함하는 것으로 되어 있다. 즉,  $D2_{\text{AVE}}$ 를 구할 때의 결정립의 조직은,  $D15_{\text{MAX}}$ 를 구할 때의 결정립의 일부를, 작은 방위차의 입계로 더 분할한 결정 조직으로 되어 있다. 이 비가 작을수록, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 조대한 결정립이, 결정 방위차가  $2^\circ$  이상  $15^\circ$  미만인 작은 방위차의 결정립계로 미세하게 분단되어 있는 상황에 있는 것을 나타낸다. 그리고, 이 비를 5.0 이하로 한정하는 것은, 상술한 바와 같은 잔류 응력의 편재의 원인이 되는 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재된 조직이 존재하고 있지 않았던 것을 나타내는 지표가 된다.  $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}}$ 는 바람직하게는 3.0 이하이다.

[0066] 또한 본 실시 형태에서는, 강판 표면에 평행인 단면에 있어서, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때,  $200\mu\text{m}$  이상의 결정 입경을 갖는 결정립의 형체를 타원으로 근사하여 얻어지는 형체에 있어서, 장축 길이를 DL, 단축 길이를 DC로 하였을 때, 하기 식 (2)를 만족시키는 것이 바람직하다.

[0067]  $DL/DC \leq 5.0$  ... 식 (2)

[0068] 여기서, 타원으로서의 근사는, 예를 들어 「"결정립 형상에 주목한 강도 특성 평가에 의한 재질 제어·재료 보전법의 검토"(하라다 등, 일본 보전 학회 학술 강연회 요지집, 제2회, P150)」에 기재된 수순에 의해 처리하면 된다.

[0069] 예를 들어, 무방향성 전자 강판의 판 폭 방향의 중심부로부터, 압연 방향을 긴 쪽 방향으로 한 쪽  $15\text{mm} \times$  길이  $10\text{mm}$ 의 시험편을 채취하고, 당해 시험편의 표면으로부터 판 두께의 약 1/2까지 연마하여 경면으로 마무리한다. 경면 마무리한 샘플을, EBSD를 포함한 SEM을 사용하여 관찰 배율 100배로 관찰하고, EBSD 측정하여 결정 구조 해석을 행한다. EBSD 측정에 의해 얻어진 데이터에 대해, 「OIM 애널리시스 Version7.3.1」(TSL사제)로 결정 방위 해석을 행한다. 관찰 영역 내에  $200\mu\text{m}$  이상의 결정 입경을 갖는 결정립이 복수 존재하는 경우에는, 개별로 DL/DC를 산출하고, 그것을 평균하는 것으로 한다.

[0070] 상술과 같이 본 실시 형태는, 조대한 결정립이, 결정 방위차가  $2^\circ$  이상  $15^\circ$  미만인 작은 방위차의 결정립계로 미세하게 분단되어 있는 상황을 규정하는 것이다. 여기에서 말하는 「조대한 결정립」이란, 결정 방위차가  $15^\circ$  이상인 경계를 결정립계로 간주하였을 때의 결정립을 가리킨다.

[0071] 분할되는 조대한 결정립은, 제조 공정에 있어서 냉간 압연에 의해 연신되고, 그것을 분단하는 미세한 결정립은 이와 같은 연신된 영역 내에서 발생하기 쉽다. 바꾸어 말하면 조대한 결정립이 존재하고 있다고 해도, 그것이 연신되어 있지 않으면, 그 조대한 결정립은 상술한 바와 같은 잔류 응력의 편재의 원인이 되는 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재된 조직과는 무관계하게 발생한 것으로 생각해야 할 것이다. 즉, 진원도를 저하시키는 잔류 응력의 편재의 원인이 되는 조직은 존재하고 있지 않았던 것을 나타내는 지표가 된다. 바람직하게는 DL/DC는 3.0 이하이다.

[0072] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판을 얻기 위한 원판으로서, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  이하이며, 또한  $200\mu\text{m}$  초과의 결정립의 존재 비율이 전체의 10% 이하인 것이 바람직하다. 또한, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판을 얻기 위한 원판으로서, 최종 냉연 전의 강판의  $\{100\}_{\text{vw}}$  방위 입자의 존재 비율이

전체의 10% 이하인 것이 바람직하다.

- [0073] 이와 같은 원판은, 전술한 재결정 조직과 미재결정 조직의 편차가 억제된 강판으로 되어 있어, 편칭 시 및 그 후의 어닐링에 있어서의 진원도의 저하를 피하는 것을 가능하게 한다.
- [0074] 또한, 본 실시 형태에 있어서의 「무방향성 전자 강판의 원판」은, 원판 그대로의 상태에서 모터 코어로서 사용이 가능하다. 즉, 본 실시 형태의 구성으로서는 「원판」이라 호칭하지만, 그대로 모터 코어의 소재인 무방향성 전자 강판으로서 사용되는 것도 상정되는 강판이다.
- [0075] 상기 결정 입경 및 결정 방위에 관한 측정은 EBSD에 의해 실시한다. 결정립계, 결정 입경, 결정 방위의 판단은 「OIM 애널리시스 Version7.3.1」(TSL사제)에 의해 실시하여, 측정값을 얻는다. 대표적인 측정 조건으로서는, 빔 직경은 1 $\mu$ m, 결정 방위의 우도는 10°로 한다. 관찰에 있어서는, 데이터에 치우침이 없도록, 충분히 넓은 영역을 관찰한다. 예를 들어, 관찰되는 결정립의 수로 500개 이상을 포함하는 영역을 관찰하는 것으로 한다. 특히 관찰 대상이 되는 결정이 편재되어 있다고 판단되는 경우에는, 관찰 영역이 치우치지 않고 전체의 상황을 대표하기에 충분한 넓은 영역을 관찰하도록 주의한다.
- [0076] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 화학 조성은, Si를 함유하고, 필요에 따라서 선택 원소를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어진다. 이하, 각 원소에 대하여 설명한다.
- [0077] C: 0% 이상 0.0050% 이하
- [0078] C(탄소)는, 불순물로서 함유되며, 자기 특성을 열화시키는 원소이다. 따라서, C 함유량은 0.0050% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.0030% 이하이다. C 함유량은, 적은 것이 바람직하므로, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 공업적으로 함유량을 0%로 하는 것은 용이하지 않으므로, 하한값을 0% 초과로 해도 되고, 0.0010% 이상으로 해도 된다.
- [0079] Si: 2.00% 이상 3.25% 이하
- [0080] Si(규소)는, 강판의 비저항을 높여 철손을 저감시키는 데 유효한 원소이다. 따라서, Si 함유량은 2.00% 이상으로 한다. 또한, Si는, 무방향성 전자 강판으로서, 자기 특성과 기계적인 이방성을 양립시키는 데 유효한 원소이다. 이 경우, Si 함유량은, 2.50% 초과인 것이 바람직하고, 2.70% 이상인 것이 더욱 바람직하고, 2.90% 이상인 것이 더욱 바람직하고, 3.00% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 한편, Si를 과잉으로 함유시키면 자속 밀도가 현저하게 저하된다. 따라서, Si 함유량은 3.25% 이하로 한다. Si 함유량은, 3.20% 이하인 것이 바람직하고, 3.15% 이하인 것이 더욱 바람직하다.
- [0081] sol. Al: 0% 이상 1.10% 이하
- [0082] Al(알루미늄)은, 강판의 비저항을 높여 철손을 저감시키는 데 유효한 선택 원소이지만, Al을 과잉으로 함유시키면 자속 밀도가 현저하게 저하된다. 이 때문에, sol. Al 함유량은 1.10% 미만으로 한다. sol. Al은, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, sol. Al 함유량을 0.10% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또한, sol. Al은, 산 가용성 알루미늄을 의미한다.
- [0083] Mn: 0% 이상 1.10% 이하
- [0084] Mn(망간)은, 강판의 비저항을 높여 철손을 저감시키는 데 유효한 선택 원소이다. 단, Mn은, Si나 Al에 비해 합금 비용이 높기 때문에, Mn 함유량이 많아지면 경제적으로 불리해진다. 또한, Mn을 과잉으로 함유시키면 자속 밀도가 현저하게 저하된다. 이 때문에, Mn 함유량은 1.10% 이하로 한다. 바람직하게는 0.90% 이하이다. Mn은, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Mn 함유량은, 0.0010% 이상인 것이 바람직하고, 0.0100% 이상인 것이 더욱 바람직하다.
- [0085] P: 0% 이상 0.30% 이하
- [0086] P(인)은, 일반적으로 불순물로서 함유되는 원소이다. 단, 무방향성 전자 강판의 집합 조직을 개선하여 자기 특성을 향상시키는 작용을 가지므로, 필요에 따라서 함유시켜도 된다. 그러나, P는 고용 강화 원소이기도 하기 때문에, P 함유량이 과잉으로 되면, 강판이 경질화되어 냉간 압연이 곤란해진다. 이 때문에, P 함유량은 0.30% 이하로 한다. P 함유량은, 0.20% 이하인 것이 바람직하다. P는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, P 함유량은, 0.001% 이상인 것이 바람직하고, 0.015% 이상인 것이 더욱 바람직하다.

- [0087] S: 0% 이상 0.0100% 이하
- [0088] S(황)는, 불순물로서 함유되며, 강 중의 Mn과 결합하여 미세한 MnS를 형성하여, 어닐링 시의 결정립의 성장을 저해하여, 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 이 때문에, S 함유량은 0.0100% 이하로 한다. S 함유량은, 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0030% 이하인 것이 더욱 바람직하다. S 함유량은, 적은 것이 바람직하므로, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 공업적으로 함유량을 0%로 하는 것은 용이하지 않으므로, 하한값을 0.0001%로 해도 된다.
- [0089] N: 0% 이상 0.0100% 이하
- [0090] N(질소)은, 불순물로서 함유되며, Al과 결합하여 미세한 AlN을 형성하여, 어닐링 시의 결정립의 성장을 저해하여, 자기 특성을 열화시킨다. 이 때문에, N 함유량을 0.0100% 이하로 한다. N 함유량은, 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0030% 이하인 것이 더욱 바람직하다. N 함유량은, 적은 것이 바람직하므로, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 공업적으로 함유량을 0%로 하는 것은 용이하지 않으므로, 하한값은, 0.0001% 이상으로 해도 되고, 0.0015% 초과로 해도 되고, 0.0020% 이상으로 해도 된다.
- [0091] Ti: 0% 이상, 0.1000% 이하
- [0092] Ti(티타늄)는, 강 중에 불가피하게 혼입되는 원소이며, 탄소 또는 질소와 결합하여 석출물(탄화물, 질화물)을 형성할 수 있다. 탄화물 또는 질화물이 형성된 경우에는, 이들 석출물 그 자체가 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 나아가, 탄화물 또는 질화물에 의해 마무리 어닐링 중의 결정립의 성장이 저해되어, 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Ti 함유량은 0.1000% 이하로 한다. Ti 함유량은 0.0100% 이하인 것이 바람직하고, 0.0050% 이하인 것이 보다 바람직하고, 0.0020% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Ti 함유량은 0%여도 된다. 또한, Ti 함유량의 극도의 저감은 제조 비용의 증가를 야기하는 경우가 있기 때문에, Ti 함유량은 0.0005% 이상인 것이 바람직하다.
- [0093] Ca: 0% 이상 0.010% 이하
- [0094] Ca(칼슘)는, 조대한 황화물을 생성함으로써 미세한 황화물(MnS, Cu<sub>2</sub>S 등)의 석출을 억제하므로 개재물 제어에 유효한 선택 원소이며, 적절하게 첨가하면 결정립 성장성을 향상시켜 자기 특성(예를 들어, 철손)을 향상시키는 작용을 갖는다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 상기 작용에 의한 효과는 포화되어 비용의 증가를 초래한다. 따라서, Ca 함유량은 0.010% 이하로 한다. Ca 함유량은, 0.008% 이하인 것이 바람직하고, 0.005% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Ca는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Ca 함유량을 0.0003% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Ca 함유량은, 0.001% 이상인 것이 바람직하고, 0.003% 이상인 것이 더욱 바람직하다.
- [0095] Cr: 0% 이상 5.000% 이하
- [0096] Cr(크롬)은, 고유 저항을 높여, 자기 특성(예를 들어, 철손)을 향상시키는 선택 원소이다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 포화 자속 밀도를 저하시키는 경우가 있고, 또한 상기 작용에 의한 효과는 포화되어 비용의 증가를 초래한다. 따라서, Cr 함유량은 5.000% 이하로 한다. Cr 함유량은, 0.500% 이하인 것이 바람직하고, 0.100% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Cr은, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Cr 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다.
- [0097] Ni: 0% 이상 5.000% 이하
- [0098] Ni(니켈)는, 자기 특성(예를 들어, 포화 자속 밀도)을 향상시키는 선택 원소이다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 상기 작용에 의한 효과는 포화되어 비용의 증가를 초래한다. 따라서, Ni 함유량은 5.000% 이하로 한다. Ni 함유량은, 0.500% 이하인 것이 바람직하고, 0.100% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Ni는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Ni 함유량은 0.0010% 이상인 것이 바람직하다.
- [0099] Cu: 0% 이상 5.000% 이하,
- [0100] Cu(구리)는, 강판 강도를 향상시키는 선택 원소이다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 포화 자속 밀도를 저하시키는 경우가 있고, 또한 상기 작용에 의한 효과는 포화되어 비용의 증가를 초래한다. 따라서, Cu 함유량은 5.000% 이하로 한다. Cu 함유량은, 0.100% 이하인 것이 바람직하다. Cu는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Cu 함유량은 0.0010% 이

상인 것이 바람직하다.

- [0101] Sn: 0% 이상 0.100% 이하
- [0102] Sb: 0% 이상 0.100% 이하
- [0103] Sn(주석) 및 Sb(안티몬)는, 무방향성 전자 강관의 집합 조직을 개선하여 자기 특성(예를 들어, 자속 밀도)을 향상시키는 작용을 갖는 선택 원소이므로, 필요에 따라서 함유시켜도 된다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 강을 취화시켜 냉연 파단을 야기하는 경우가 있고, 또한 자기 특성을 열화시키는 경우가 있다. 이 때문에, Sn 및 Sb의 함유량은 각각 0.100% 이하로 한다. Sn 및 Sb는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Sn 함유량은, 0.001% 이상인 것이 바람직하고, 0.010% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 또한, Sb 함유량은, 0.001% 이상인 것이 바람직하고, 0.002% 이상인 것이 바람직하고, 0.010% 이상인 것이 더욱 바람직하고, 0.025% 초과인 것이 더욱 바람직하다.
- [0104] Ce: 0% 이상 0.100% 이하
- [0105] Ce(세륨)는, 조대한 황화물, 산 황화물을 생성함으로써 미세한 황화물(MnS, Cu<sub>2</sub>S 등)의 석출을 억제하여, 입성 장성을 양호하게 하여 철손을 저감시키는 선택 원소이다. 그러나, 과잉으로 함유시키면, 황화물 및 산 황화물 이외에 산화물도 생성되어, 철손을 열화시키는 경우가 있고, 또한 상기 작용에 의한 효과는 포화되어 비용의 증가를 초래한다. 따라서, Ce 함유량은 0.100% 이하로 한다. Ce 함유량은, 0.010% 이하인 것이 바람직하고, 0.009% 이하인 것이 더욱 바람직하고, 0.008% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Ce는, 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 단, 상기 작용에 의한 효과를 보다 확실하게 얻기 위해서는, Ce 함유량은 0.001% 이상인 것이 바람직하다. Ce 함유량은, 0.002% 이상인 것이 더욱 바람직하고, 0.003% 이상인 것이 더욱 바람직하고, 0.005% 이상인 것이 더욱 바람직하다.
- [0106] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관의 화학 조성은, 상기 원소에 더하여, 선택 원소로서, 예를 들어 B, O, Mg, Ti, V, Zr, Nd, Bi, W, Mo, Nb 및 Y를 함유해도 된다. 이들 선택 원소의 함유량은, 공지의 지견에 기초하여 제어하면 된다. 예를 들어, 이들 선택 원소의 함유량은, 이하로 하면 된다.
- [0107] V: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0108] Zr: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0109] Nb: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0110] B: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0111] O: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0112] Mg: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0113] Nd: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0114] Bi: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0115] W: 0% 이상 0.100% 이하,
- [0116] Mo: 0% 이상 0.100% 이하, 및
- [0117] Y: 0% 이상 0.100% 이하.
- [0118] 또한, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관은, 화학 조성으로서, 질량%로,
- [0119] C: 0.0010% 이상 0.0050% 이하,
- [0120] sol. Al: 0.10% 이상 1.10% 미만,
- [0121] Mn: 0.0010% 이상 1.10% 이하,
- [0122] P: 0.0010% 이상 0.30% 이하,
- [0123] S: 0.0001% 이상 0.0100% 이하,
- [0124] N: 0.0015% 초과 0.0100% 이하,

- [0125] Ti: 0.0001% 이상 0.1000% 이하,
- [0126] V: 0.0001% 이상 0.100% 이하,
- [0127] Zr: 0.0002% 이상 0.100% 이하,
- [0128] Nb: 0.0001% 이상 0.100% 이하,
- [0129] B: 0.0001% 이상 0.100% 이하,
- [0130] O: 0.0001% 이상 0.100% 이하,
- [0131] Mg: 0.0001% 이상 0.100% 이하,
- [0132] Ca: 0.0003% 이상 0.010% 이하,
- [0133] Cr: 0.0010% 이상 5.000% 이하,
- [0134] Ni: 0.0010% 이상 5.000% 이하,
- [0135] Cu: 0.0010% 이상 5.000% 이하,
- [0136] Sn: 0.0010% 이상 0.100% 이하,
- [0137] Sb: 0.0010% 이상 0.100% 이하,
- [0138] Ce: 0.001% 이상 0.100% 이하,
- [0139] Nd: 0.002% 이상 0.100% 이하,
- [0140] Bi: 0.002% 이상 0.100% 이하,
- [0141] W: 0.002% 이상 0.100% 이하,
- [0142] Mo: 0.002% 이상 0.100% 이하, 및
- [0143] Y: 0.002% 이상 0.100% 이하
- [0144] 중 적어도 1종을 함유하는 것이 바람직하다.
- [0145] 또한, B 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하고, O 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하고, Mg 함유량은 0.005% 이하인 것이 바람직하고, Ti 함유량은 0.002% 이하인 것이 바람직하고, V 함유량은 0.002% 이하인 것이 바람직하고, Zr 함유량은 0.002% 이하인 것이 바람직하고, Nd 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하고, Bi 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하고, W 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하고, Nb 함유량은 0.002% 이하인 것이 바람직하고, Y 함유량은 0.01% 이하인 것이 바람직하다. 또한, Ti 함유량은 0.001% 이상인 것이 바람직하고, V 함유량은 0.002% 이상인 것이 바람직하고, Nb 함유량은 0.002% 이상인 것이 바람직하다.
- [0146] 상기한 화학 조성은, 강의 일반적인 분석 방법에 의해 측정하면 된다. 예를 들어, 화학 조성은, ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 사용하여 측정하면 된다. 또한, sol. Al은, 시료를 산으로 가열 분해한 후의 여액을 사용하여 ICP-AES에 의해 측정하면 된다. 또한, Si는 이산화규소 중량법을 사용하고, C 및 S는 연소-적외선 흡수법을 사용하고, N은 불활성 가스 용해-열전도도법을 사용하고, O는 불활성 가스 용해-비분산형 적외선 흡수법을 사용하여 측정하면 된다.
- [0147] 또한, 상기 화학 조성은, 절연 피막 등을 포함하지 않는 무방향성 전자 강판의 조성이다. 측정 시료가 되는 무방향성 전자 강판이, 표면에 절연 피막 등을 갖고 있는 경우에는, 이것을 제거한 후에 측정한다. 예를 들어, 다음의 방법으로 절연 피막 등을 제거하면 된다. 먼저, 절연 피막 등을 갖는 무방향성 전자 강판을, 수산화나트륨 수용액, 황산 수용액, 질산 수용액의 순으로 침지 후, 세정한다. 마지막으로, 온풍으로 건조시킨다. 이에 의해, 절연 피막이 제거된 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다. 또한, 연삭에 의해 절연 피막 등을 제거해도 된다.
- [0148] 또한, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판은, 상기 원소 외에, Sr, Ba, La, Pr, Zn 및 Cd를 함유시켜도 된다. Sr, Ba, La, Pr, Zn 및 Cd는, 결정립 성장을 저해하는 황화물을 조대하게 하여, 결정립 성장을 용이하게 하기 때문에, 필요에 따라서 적절히 함유시킨다.

- [0149] 다음으로, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 적합한 제조 방법에 대하여 설명한다.
- [0150] 상기 화학 성분을 함유하는 강에, 예를 들어 제강, 열연, 열연판 어닐링, 산세, 냉연, 어닐링을 행함으로써 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다. 예를 들어, 용강을 급랭 응고법으로 직접 열연판으로 해도 되고, 박슬래브 주조 연속 열연으로 열연판을 얻을 수도 있다.
- [0151] 열연판 어닐링은, 가공 조직의 잔류하는 열연판을 800 내지 1050℃로 가열하여 재결정, 입성장시키는 프로세스이다. 이에 의해, 그 후에 이어지는 냉연, 어닐링 후에 자기 특성에 있어서 바람직한 집합 조직을 만들 수 있다. 또한,  $\alpha$ - $\gamma$  변태가 발생하지 않는 성분계에서는, 냉연으로 리징이라 불리는 표면 요철을 발생시키지 않기 위해서도, 열연판 어닐링을 실시하는 경우도 있지만, 본 실시 형태에서는 열연판 어닐링은 실시하지 않아도 된다.
- [0152] 산세 후, 열연판(혹은 열연 어닐링판)에 냉연을 실시하여, 소정의 판 두께를 얻는다. 냉연은 중간 어닐링을 사이에 두지 않는 1회 냉연법으로 해도 되고, 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 냉연법이나 복수회의 중간 어닐링을 사이에 두는 복수회 냉연법으로 해도 된다. 냉연 후에는 어닐링(마무리 어닐링)을 실시하여, 무방향성 전자 강판으로 한다. 또한, 무방향성 전자 강판의 표면에 절연 재료를 도포하고, 또한 베이킹함으로써 절연 피막이 형성되어도 된다.
- [0153] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 제조 공정은, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이 200 $\mu$ m 이하이며, 또한 200 $\mu$ m 초과인 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하인 금속 조직으로 하기 위해, 특히 이하의 조건을 충족한다.
- [0154] 최종 냉연 전에 있어서, 상기 금속 조직을 얻기 위해서는, 예를 들어 열연판 어닐링을 실시하는 1회 냉연법이면 열연판 어닐링, 2회 냉연법 또는 복수회 냉연법이면 최종 냉연 전의 중간 어닐링에 있어서, 700℃ 이상의 온도역에서의 평균 승온 속도를 50℃/초 이상, 최고 도달 판온(어닐링 온도)을 1050℃ 이하로 하고, 또한 균열 시간을 3분 이하로 한다. 이들 조건을 만족시키는 어닐링을 실시함으로써, 최종 냉연 전에 있어서, 평균 결정 입경이 200 $\mu$ m 이하, 또한 200 $\mu$ m 초과인 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하인 금속 조직을 얻을 수 있다. 즉, 최종 냉연 전의 단계에서, 잔류 응력의 편재의 원인이 되는 재결정 조직과 미재결정 조직이 편재된 조직의 생성이 억제된 강판을 얻을 수 있다. 바람직하게는, 700℃ 이상의 온도역에서의 평균 승온 속도는 60℃/초 이상이다. 또한, 최고 도달 판온은, 바람직하게는 1000℃ 이하이다. 균열 시간은, 바람직하게는 2분 이하이며, 보다 바람직하게는 1분 이하이다.
- [0155] 또한, 열연판 어닐링을 실시하기 전, 혹은 최종 냉연 전의 중간 어닐링을 실시하기 전의 강판 중에 불균일한 변형 분포를 발생시키지 않는 것이 중요하다. 예를 들어, 강판을 어느 정도 회복 및 재결정시킨 상태에서 10% 이하의 압하율의 스킨 패스 압연을 행하면, 그 후의 어닐링에서 특정의 방위를 갖는 결정립만이 이상 입성장하는, 소위 변형 유기 입계 이동이 일어나, 200 $\mu$ m 초과인 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이상을 차지하는 경우가 있다. 따라서, 어닐링을 실시하기 전의 강판 중에 불균일한 변형 분포를 발생시키지 않기 위해서는, 그 전의 압연(열연 및 냉연)을 15% 이상의 압하율로 하는 것이 중요하다.
- [0156] 또한, 열연판 어닐링, 혹은 최종 냉연 전의 중간 어닐링에 있어서의 어닐링 분위기는, 건질소 분위기로 한다. 어닐링 분위기를 습수소 분위기로 하면, 강판 표층이 탈탄하여 표층이 내층에 비해 조대한 조직이 된다. 이 조대한 조직은, 강판 중에 불균일한 변형 분포를 발생시키는 원인이 되므로, 열연판 어닐링, 혹은 최종 냉연 전의 중간 어닐링에 있어서의 어닐링 분위기는, 건질소 분위기로 하는 것이 바람직하다.
- [0157] 최종 냉연 전후의 평균 결정 입경은, JIS G0551:2020에 규정되는 절단법에 의해 측정하면 된다. 예를 들어, 종단면 조직 사진에 있어서, 판 두께 방향 및 압연 방향에 대하여 절단법에 의해 측정된 결정 입경의 평균값을 사용하면 된다. 이 종단면 조직 사진으로서는 광학 현미경 사진을 사용할 수 있고, 예를 들어 50배의 배율로 촬영한 사진을 사용하면 된다.
- [0158] 또한, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 제조 공정은, 최종 냉연 전의 강판의 {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율을 결정립 전체의 10% 이하로 하기 위해, 특히 이하의 조건을 충족한다.
- [0159] 최종 냉연 전의 강판의 {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하인 금속 조직을 얻기 위해서는,  $\alpha$ - $\gamma$  변태가 발생하지 않는 성분계이면, 연속 주조에 있어서 전자 교반을 활용함으로써, 주상정의 성장을 저해하여, 등축정의 생성을 촉진하는 것이 유효하다. 또한, 용강의 응고 시, 특정의 산화물 등이 다수 존재하면, 석출물을 핵으로 하여 등축정의 생성이 촉진된다. 한편, 용강의 과열도(용강 온도-용강의 응고 온도)가

높아, 응고 시의 평균 냉각 속도가 높으면 주상정이 발달하기 쉬워진다. 그 때문에, 주조 시의 과열도를 낮게, 평균 냉각 속도를 느리게 함으로써 등축정의 생성이 촉진된다.

- [0160] 구체적으로는, 과열도는 15℃ 이하로 하는 것이 바람직하고, 보다 바람직하게는 10℃ 이하, 더욱 바람직하게는 5℃ 이하이다. 또한, 냉각 과정의 900℃ 이상의 평균 냉각 속도를 20℃/초(72000℃/hr.) 이하로 한다. 평균 냉각 속도는 바람직하게는 10℃/초(36000℃/hr.) 이하, 더욱 바람직하게는 5℃/초(18000℃/hr.) 이하이다. 또한, 주조 후의 슬래브, 잉곳을 열연 전에 재가열할 때는, 가열 온도를 1100℃ 이하, 또한 가열 시간을 2시간 이하, 바람직하게는 1시간 이하로 한다.
- [0161] {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율은, 다음과 같이 측정한다.
- [0162] OIM 애널리시스 Version7.3.1(TSL사제)을 사용하여, 하기 측정 조건에서 관찰한 주사형 전자 현미경에 의한 관찰 시야 중으로부터, 목적으로 하는 각 방위 입자의 면적률을 추출(여유도는 10° 로 설정)한다. 그 추출한 면적을, 관찰 시야의 면적으로 나누어, 백분율을 구한다. 이 백분율을 각 방위 입자의 면적률로 한다.
- [0163] 또한, {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율의 측정 방법의 상세의 조건은, 다음과 같다.
- [0164] · 측정 장치: 전자선 후방 산란 회절 장치 구비 주사형 전자 현미경(SEM-EBSD)
- [0165] · SEM: 「JSM-6400」(JEOL사제)
- [0166] · EBSD 검출기: 「HIKARI」(TSL사제)
- [0167] · 스텝 간격: 2 $\mu$ m
- [0168] · 측정 대상: 강판의 Z면(판 두께 방향으로 강판을 절단한 절단면)의 중심층(판 두께 1/2부)
- [0169] · 측정 영역: 8000 $\mu$ m×2400 $\mu$ m의 영역
- [0170] · 입계: 결정 방위의 각도차가 15° 이상(각도차가 15° 미만의 연속하는 영역을 하나의 결정립으로 함)
- [0171] 이상, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판에 대하여 설명하였지만, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 판 두께는, 0.35mm 이하로 해도 된다. 보다 바람직하게는 0.30mm 이하이다. 한편, 과도한 박육화는 강판이나 모터의 생산성을 현저하게 저하시키므로, 판 두께는 0.10mm 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.15mm 이상이다.
- [0172] 또한, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 평균 결정 입경은 10 $\mu$ m 이상 200 $\mu$ m 이하이다.
- [0173] 판 두께는, 마이크로미터에 의해 측정하면 된다. 또한, 측정 시료가 되는 무방향성 전자 강판이, 표면에 절연 피막 등을 갖고 있는 경우에는, 이것을 제거한 후에 측정한다.
- [0174] 또한, 본 개시는, 상술한 실시 형태에 한정되는 것은 아니다. 상술한 실시 형태는 예시이며, 본 개시의 특허 청구 범위에 기재된 기술적 사상과 실질적으로 동일한 구성을 갖고, 마찬가지로의 작용 효과를 발휘하는 것은, 어떠한 것이어도 본 개시의 기술적 범위에 포함된다.
- [0175] **실시예**
- [0176] 이하, 실시예를 예시하여, 본 개시를 구체적으로 설명한다. 또한, 실시예의 조건은, 본 개시의 실시 가능성 및 효과를 확인하기 위해 채용한 일례이며, 본 개시는 실시예의 조건에 한정되는 것은 아니다. 본 개시는, 그 요지를 일탈하지 않고, 그 목적을 달성하는 한에 있어서, 다양한 조건을 채용할 수 있는 것이다.
- [0177] 또한, 표 1, 표 2 및 표 3 중의 밑줄은, 본 발명의 범위로부터 벗어난 조건인 것, 제조 조건이 바람직하지 않은 것, 또는 진원도가 바람직하지 않은 것을 나타내고 있다.
- [0178] (실시예 1)
- [0179] 표 1의 부호 1F 및 1G에 관하여, 질량%로, Si: 3.00%, sol. Al: 0.50%, Mn: 0.20%, C: 0.01%를 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 열연으로 판 두께 2mm로 마무리하였다. 열연판을, 표 1에 나타내는 평균 승은 속도로 어닐링 온도(1,000℃ 내지 1,200℃)까지 가열하여, 2분간 열연판 어닐링하였다. 어닐링 분위기는 습수소 분위기로 하여 열연판을 탈탄하였다. 표 1의 금속 조직을 갖는 판 두께 2mm의 열연 어닐링판을 얻었다.
- [0180] 또한, 표 1의 부호 1A 내지 1E, 1H 내지 1N에 관해, 질량%로, Si: 3.00%, sol. Al: 0.50%, Mn: 0.20%, C:

0.0020%를 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 열연으로 판 두께 2mm로 마무리하였다. 열연판을, 표 1에 나타내는 평균 승온 속도로 어닐링 온도(1,000℃ 내지 1,200℃)까지 가열하여, 2분간 열연판 어닐링하였다. 어닐링 분위기는 건질소 분위기로 하였다. 표 1의 금속 조직을 갖는 판 두께 2mm의 열연 어닐링판을 얻었다.

- [0181] 다음으로, 열연 어닐링판을 냉연하여 판 두께 0.25mm로 하고, 750℃에서 30초의 어닐링(마무리 어닐링)을 실시하여, 무방향성 전자 강판을 얻었다. 또한, 냉연은 1회 냉연법으로 하였다. 표 1의 「원판 제조 조건」에는, 열연 어닐링판의 어닐링 온도, 평균 승온 속도와 어닐링 분위기가 나타내어져 있다. 또한, 최종 냉연 전의 원판의 평균 결정 입경을 측정하여, 표 1에 나타냈다.
- [0182] 얻어진 무방향성 전자 강판으로부터 금형으로 직경  $\phi 60\text{mm}$ 의 원판을 편칭하고, 750℃에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 어닐링 전후에서의 진원도를 측정하였다. 또한, 코어 어닐링 후의 원판에 있어서, 상술한 방법에 따라,  $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}}$ , DL/DC, 그리고 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률(표 1 중에서는 "\*1"로 표기)을 구하였다.
- [0183] 자기 특성은 이하의 요령으로 평가하였다.
- [0184] 먼저, 얻어진 무방향성 전자 강판으로부터, 자기 측정용으로  $16\times 16\text{mm}$ 의 정사각형 샘플을 잘라냈다. 이어서, 잘라낸 샘플에 대해 750℃에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 철손 W10/400과 자속 밀도 B50을 측정하였다. 철손 W10/400이 14.0W/kg 이하이며, 또한, 자속 밀도 B50이 1.65T 이상인 경우, 우수한 자기 특성을 구비하는 무방향성 전자 강판인 것으로서 합격을 판정하였다. 한편, 철손 W10/400이 14.0W/kg 이상 및 자속 밀도 B50이 1.65T 이하 중 적어도 한쪽을 충족한 경우, 자기 특성이 떨어진다고 평가하고, 불합격으로 하였다.
- [0185] 상술한 평가 기준에 따라, 원판의 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200% 이하인 것을 합격(발명예)으로서 표 1에 기재하였다. 또한, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200%를 초과하는 것을 불합격(비교예)으로서 표 1에 기재하였다.
- [0186] 표 1에 있어서, 1A, 1B는 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  초과이며, 또한  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다. 1A, 1B는 열연판 어닐링의 도달 온도가 모두 1050℃를 초과하였기 때문에, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  초과이며, 또한  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0187] 1C는  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10%였지만, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  초과이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다. 1C는 열연판 어닐링의 도달 온도가 1050℃를 초과하였기 때문에, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  초과로 된 것으로 생각된다.
- [0188] 1F, 1G는 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  이하였지만,  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다. 1F, 1G는 열연판 어닐링의 도달 온도가 1050℃였지만, 습수소 분위기에서 어닐링을 행하였기 때문에,  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0189] 1I는, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다. 1I는 열연판 어닐링의 평균 승온 속도 45℃/초였기 때문에,  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0190] 1D, 1E, 1H, 1J 내지 1N은, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  이하이며, 또한  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 이하이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다.
- [0191] 이상으로부터, 열연판 어닐링의 도달 온도를 1050℃ 이하로 하고, 열연판 어닐링의 분위기를 건질소 분위기로 함으로써, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\mu\text{m}$  이하로 되고, 또한  $200\mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하로 되어, 편칭 후에 원하는 진원도가 얻어지는 것을 알 수 있다. 또한, 본 발명예인 1D, 1E, 1H, 1J 내지 1N에서는, 모두 낮은 철손, 또한 충분한 자속 밀도(양호한 자기 특성)가 얻어지는 것을 알 수 있다.

[0192] [표 1]

부호	원판 제조 조건		원판		무방향성 전자 강판						비고			
	어닐링 온도 (°C)	승온 속도 (°C/초)	어닐링 분위기	평균 결정 입径 (μm)	200μm 초과 결정립의 존재 비율 (%)	*1 (%)	D15 <sub>MAX</sub> /D2 <sub>Ave</sub>	DL/DC	코어 어닐링 전 진원도 (%)	코어 어닐링 후 진원도 (%)		코어 어닐링 후 자기 특성	코어 어닐링 후 Wt0/400 (M/kg)	코어 어닐링 후 B80 (T)
1A	1200	51	진결소	250	30	15	10.0	5.5	0.100%	0.250%	양호	13.1	1.67	비교예
1B	1150	51	진결소	230	15	13	8.3	5.7	0.100%	0.250%	양호	13.2	1.67	비교예
1C	1100	54	진결소	210	10	12	7.1	6.2	0.100%	0.225%	양호	13.0	1.67	비교예
1D	1050	51	진결소	190	8	9	4.2	4.5	0.075%	0.100%	양호	13.3	1.67	비교예
1E	1000	54	진결소	160	7	5	1.1	2.0	0.050%	0.075%	양호	12.9	1.66	비교예
1F	1050	51	습수소	190	15	14	9.2	5.3	0.075%	0.225%	양호	13.2	1.67	비교예
1G	1050	51	습수소	185	12	11	5.5	6.6	0.075%	0.225%	양호	13.1	1.66	비교예
1H	1050	51	진결소	190	5	7	2.5	3.8	0.050%	0.075%	양호	13.2	1.67	비교예
1I	1050	45	진결소	190	12	11	5.2	5.7	0.050%	0.225%	양호	13.2	1.66	비교예
1J	1000	63	진결소	140	5	3	1.1	1.8	0.050%	0.050%	양호	12.9	1.67	비교예
1K	1000	70	진결소	130	4	2	1.1	1.6	0.025%	0.025%	양호	12.8	1.67	비교예
1L	1000	54	진결소	8	0	9	4.8	4.7	0.025%	0.125%	양호	13.1	1.65	비교예
1M	1050	57	진결소	170	9	6	5.5	4.5	0.075%	0.100%	양호	13.1	1.65	비교예
1N	1000	51	진결소	180	8	7	4.5	5.5	0.075%	0.100%	양호	13.0	1.65	비교예

\*1: 결정 입경이 200μm 미만인 결정을 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200μm 미만인 결정립의 면적률

[0193] (실시예 2)

[0194] 질량%로, Si: 3.00%, sol. Al: 0.50%, Mn: 0.20%, C: 0.0020%를 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 탈산 시간을 조정하여 용강 중의 산소량을 변화시켰다. 용강을 주형에 주입하여, 용강의 과열도, 및 900°C 이상에 있어서의 평균 냉각 속도를 표 2에 나타내는 바와 같이 변화시켜 잉곳을 제작하였다. 평균 냉각 속도는, 표 2 대로 하였다. 잉곳을 1,100°C 내지 1,200°C에서 1 내지 5시간 가열 후, 열연으로 판 두께 1.8mm로 마무리하였다. 열연판을 진결소 분위기에서 1,050°C에서 2분간 열연판 어닐링하여, 표 2의 금속 조직을 갖는 판 두께 1.8mm의 열연 어닐링판을 얻었다.

[0195] 다음으로, 열연 어닐링판을 냉연하여 판 두께 0.20mm로 하고, 750°C에서 30초의 어닐링(마무리 어닐링)을 실시하여, 무방향성 전자 강판을 얻었다. 또한, 냉연은 1회 냉연법으로 하였다.

[0196] 얻어진 무방향성 전자 강판으로부터 금형으로 직경 φ60mm의 원판을 편칭하고, 750°C에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 어닐링 전후에서의 진원도를 측정하였다.

[0197] 또한, 코어 어닐링 후의 원판에 있어서, (실시예 1)과 마찬가지로, D15<sub>MAX</sub>/D2<sub>Ave</sub>, DL/DC, 그리고 결정 입경이 200 μm 미만인 결정립의 면적률(표 2 중에서는 "\*1"로 표기)을 구하였다. 또한, 얻어진 코어 어닐링 후의 원판의 자기 특성도 마찬가지로 하여 구하였다.

- [0199] 상술한 평가 기준에 따라, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200% 이하인 것을 합격(발명예)으로서 표 2에 기재하였다. 또한, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200%를 초과하는 것을 불합격(비교예)으로서 표 2에 기재하였다.
- [0200] 표 2에 있어서, 2A, 2B, 2F, 2G는 {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 10% 초과이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다.
- [0201] 2A는 열연 전의 잉곳의 가열 온도가 1100℃를 초과하였고, 가열 시간이 2시간을 초과하였기 때문에, {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0202] 또한, 2B, 2F는 잉곳의 가열 시간은 2시간이었지만, 가열 온도가 1100℃를 초과하였기 때문에, {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0203] 또한, 2G는 잉곳의 가열 온도가 1100℃이고, 가열 시간이 1시간이지만, 응고시의 냉각 속도가 비교적 높았기 때문에(200,000℃/hr.), {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0204] 2C, 2D, 2E, 2H, 2K 내지 2N은, {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 10% 이하이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다. 이상으로부터, 잉곳의 가열 온도를 1100℃ 이하, 가열 시간을 1시간 이하, 냉각 속도를 20℃/초(72000℃/hr.) 이하로 함으로써, 최종 냉연 전의 강판의 {100}<0vw> 방위 입자의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하로 되어, 펀칭 후에 원하는 진원도가 얻어지는 것을 알 수 있다.

[0205] [표 2]

부호	원판 제조 조건				원판		무방향성 전자 강판						비고		
	과열도 (°C)	평균 냉각 속도 (°C/hr.)	인곳 가열 가열 온도 (°C)	가열 시간 (hour)	평균 결정 입경 ( $\mu\text{m}$ )	[100]〈010〉 방위 입자의 존재 비율	*1 (%)	D15 <sub>MAX</sub> /D2 <sub>Ave</sub>	DL/DC	코어 어닐링 전 진원도 (%)	코어 어닐링 후 진원도 (%)	코어 어닐링 후 자기 특성		코어 어닐링 후 W10/400 (W/kg)	코어 어닐링 후 B50 (T)
2A	14	200,000	1200	5	190	30	17	7.3	5.7	0.100%	0.250%	양호	13.2	1.67	비교예
2B	14	100	1200	2	180	15	12	5.8	5.3	0.100%	0.225%	양호	12.9	1.66	비교예
2C	13	72,000	1100	1	185	10	9	4.7	4.3	0.075%	0.100%	양호	12.9	1.67	발명예
2D	13	100	1100	1	190	8	8	3.5	3.5	0.075%	0.075%	양호	13.1	1.66	발명예
2E	14	100	1100	1	160	7	5	2.3	2.3	0.050%	0.050%	양호	13.0	1.66	발명예
2F	13	200,000	1200	2	190	15	13	6.5	5.6	0.100%	0.225%	양호	13.1	1.67	비교예
2G	12	200,000	1100	1	185	12	11	5.7	5.5	0.075%	0.225%	양호	12.9	1.66	비교예
2H	14	100	1100	1	190	5	6	1.2	2.1	0.050%	0.075%	양호	13.2	1.66	발명예
2J	20	200,000	1100	1	185	32	18	12.0	7.0	0.100%	0.250%	양호	13.1	1.69	비교예
2K	9	100	1100	1	190	6	6	3.0	3.5	0.050%	0.050%	양호	13.1	1.66	발명예
2L	3	100	1100	1	190	3	5	2.5	2.5	0.050%	0.050%	양호	13.2	1.65	발명예
2M	14	100	1100	1	160	7	7	5.5	4.5	0.075%	0.100%	양호	13.2	1.67	발명예
2N	14	100	1100	1	160	7	9	4.5	5.5	0.100%	0.100%	양호	13.1	1.66	발명예

\*1: 결정 방위차가 2° 이상 15° 미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200 $\mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률

[0206] [0207] (실시예 3)

[0208] 표 3의 부호 1F 및 1G에 관해, 질량%로, Si: 3.00%, sol. Al: 0.50%, Mn: 0.20%, C: 0.01%를 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 열연으로 판 두께 2mm로 마무리하였다. 열연판을, 표 1에 나타내는 평균 승온 속도로 어닐링 온도(1,000°C 내지 1,200°C)까지 가열하여, 2분간 열연판 어닐링하였다. 어닐링 분위기는 습수소 분위기로 하여 열연판을 탈탄하였다. 표 3의 금속 조직을 갖는 판 두께 2mm의 열연 어닐링판을 얻었다.

[0209] 또한, 표 3의 부호 1A 내지 1E, 1H 내지 1N에 관해, 질량%로, Si: 3.00%, sol. Al: 0.50%, Mn: 0.20%, C: 0.0020%를 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 열연으로 판 두께 2mm로 마무리하였다. 열연판을, 표 1에 나타내는 평균 승온 속도로 어닐링 온도(1,000°C 내지 1,200°C)까지 가열하여, 2분간 열연판 어닐링하였다. 어닐링 분위기는 건질소 분위기로 하였다. 표 3의 금속 조직을 갖는 판 두께 2mm의 열연 어닐링판을 얻었다.

[0210] 다음으로, 열연 어닐링판을 냉연하여 판 두께 0.25mm로 하고, 750°C에서 30초의 어닐링(마무리 어닐링)을 실시하여, 무방향성 전자 강판을 얻었다. 또한, 냉연은 1회 냉연법으로 하였다. 표 3의 「원판 제조 조건」에는,

열연 어닐링판의 어닐링 온도, 평균 승온 속도와 어닐링 분위기가 나타내어져 있다. 또한, 최종 냉연 전의 원판의 평균 결정 입경을 측정하여, 표 3에 나타냈다.

- [0211] 얻어진 무방향성 전자 강판으로부터 금형으로 직경  $\phi 60\text{mm}$ 의 원판을 편칭하고,  $750^\circ\text{C}$ 에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 응력 제거 어닐링 전후의 진원도를 측정하였다.
- [0212] 또한, 코어 어닐링 후의 원판에 있어서, (실시에 1)과 마찬가지로,  $D15_{\text{MAX}}/D2_{\text{AVE}}$ , DL/DC, 그리고 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률(표 3 중에서는 "\*1"로 표기)을 구하였다. 또한, 얻어진 코어 어닐링 후의 원판의 자기 특성도 마찬가지로 하여 구하였다.
- [0213] 상술한 평가 기준에 따라, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200% 이하인 것을 합격(발명예)으로서 표 3에 기재하였다. 또한, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200%를 초과하는 것을 불합격(비교예)으로서 표 3에 기재하였다.
- [0214] 표 3에 있어서, 3A 내지 3H는, 응력 제거 어닐링 전의 진원도는 평가 기준을 충족하였다. 그러나, 3J는, 응력 제거 어닐링 전의 진원도는 평가 기준을 충족하지 못했지만, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  이하이며, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 이하이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다.
- [0215] 3A, 3B는 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  초과이며, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다. 3A, 3B는 열연판 어닐링의 도달 온도가 모두  $1050^\circ\text{C}$ 를 초과하였기 때문에, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  초과이며, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다. 3C는  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10%였지만, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  초과이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다.
- [0216] 3C는 열연판 어닐링의 도달 온도가  $1050^\circ\text{C}$ 를 초과하였기 때문에, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  초과로 된 것으로 생각된다. 3F, 3G는 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  이하였지만,  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 벗어났기 때문에, 불합격이었다.
- [0217] 3F, 3G는 열연판 어닐링의 도달 온도가  $1050^\circ\text{C}$ 였지만, 습수소 분위기에서 어닐링을 행하였기 때문에,  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 초과로 된 것으로 생각된다.
- [0218] 3D, 3E, 3H는 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  이하이며, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 이하이며, 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다.
- [0219] 이상으로부터, 열연판 어닐링의 도달 온도를  $1050^\circ\text{C}$  이하로 하고, 열연판 어닐링의 분위기를 건조소 분위기로 함으로써, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  이하가 되고, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하가 되어, 편칭 후에 원하는 진원도가 얻어지는 것을 알 수 있다.
- [0220] 3J는, 응력 제거 어닐링 전의 진원도는 평가 기준을 충족하지 못했지만, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이  $200\ \mu\text{m}$  이하이며, 또한  $200\ \mu\text{m}$  초과 결정립의 존재 비율이 10% 이하이며, 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다.
- [0221] 이상에 의해, 발명예로서, 응력 제거 어닐링 전과 응력 제거 어닐링 후의 진원도의 양쪽이 평가 기준을 충족하는 것과, 응력 제거 어닐링 전의 진원도는 평가 기준을 충족하지 못했지만 응력 제거 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하는 것이 포함된다. 또한, 발명예로서 응력 제거 어닐링 전의 진원도가 평가 기준을 충족하는 것도 포함되고, 이것은 로터 코어와 같은 응력 제거 어닐링이 행해지지 않는 것을 포함한다. 따라서, 발명예는, 응력 제거 어닐링 전의 진원도와 응력 제거 어닐링 후의 진원도 중 적어도 어느 것이 평가 기준을 충족하는 것이다.

[표 3]

부호	원판-제조 조건		원판		전자 강판						비고			
	어닐링 온도 (°C)	평균 승온 속도 (°C/초)	어닐링 분위기	평균 결정 입경 (μm)	200μm 초과 결정립의 존재 비율 (%)	*1 (%)	D15 <sub>MAX</sub> /D2 <sub>AVE</sub>	DL/DC	코어 어닐링 전 진원도 (%)	코어 어닐링 후 진원도 (%)		코어 어닐링 후 자기 특성	코어 어닐링 후 W10/400 (M/kg)	코어 어닐링 후 B50 (T)
3A	1200	51	건질소	250	30	15	10.0	5.5	0.100%	0.250%	양호	13.1	1.67	비교예
3B	1150	51	건질소	230	15	13	8.3	5.7	0.100%	0.250%	양호	13.2	1.67	비교예
3C	1100	54	건질소	210	10	12	7.1	6.2	0.100%	0.225%	양호	13.0	1.67	비교예
3D	1050	51	건질소	190	8	9	4.2	4.5	0.075%	0.100%	양호	13.3	1.67	발명예
3E	1000	54	건질소	160	7	5	1.1	2.0	0.050%	0.050%	양호	12.9	1.66	발명예
3F	1050	51	습수소	190	15	14	9.2	5.3	0.075%	0.225%	양호	13.2	1.67	비교예
3G	1050	51	습수소	185	12	11	5.5	6.6	0.075%	0.225%	양호	13.1	1.66	비교예
3H	1050	51	건질소	190	5	7	2.5	3.8	0.050%	0.075%	양호	13.2	1.67	발명예
3J	1050	54	건질소	200	10	9	4.5	4.7	0.125%	0.100%	양호	12.9	1.67	발명예
3K	1000	54	건질소	160	7	9	5.5	4.5	0.075%	0.100%	양호	13.1	1.67	발명예
3L	1000	54	건질소	160	7	7	4.5	5.5	0.100%	0.100%	양호	13.2	1.66	발명예

\*1: 결정 입경이 2° 이상 15° 미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200μm 미만인 결정립의 면적률

[0223]

[0224]

(실시예 4)

[0225]

질량%로, 표 4A 및 4B에 나타내는 성분을 함유하고, 기타 불가피적 불순물을 포함하는 강을 용제하고, 열연으로 판 두께 2mm로 마무리하였다. 열연관을 1,050°C에서 2분간, 열연관 어닐링하였다. 어닐링 분위기는 건질소 분위기로 하고, 표 4A 및 4B의 금속 조직을 갖는 판 두께 2mm의 열연 어닐링판을 얻었다.

[0226]

다음으로, 열연 어닐링판을 냉연하여 판 두께 0.25mm로 하고, 750°C에서 30초의 어닐링(마무리 어닐링)을 실시하여, 무방향성 전자 강판을 얻었다. 또한, 냉연은 1회 냉연법으로 하였다. 또한, 최종 냉연 전의 원판의 평균 결정 입경, 200μm 초과 결정립의 존재 비율을 측정하여, 표 5에 나타냈다.

[0227]

얻어진 무방향성 전자 강판으로부터 급형으로 직경 φ60mm의 원판을 편칭하고, 750°C에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 응력 제거 어닐링 전후의 진원도를 측정하였다.

[0228]

또한, 코어 어닐링 후의 원판에 있어서, 상술한 방법에 따라, D15<sub>MAX</sub>/D2<sub>AVE</sub>, DL/DC, 그리고 결정 입경이 200μm 미만인 결정립의 면적률(표 5 중에서는 "\*1"로 표기)을 구하였다.

[0229]

상술한 평가 기준에 따라, 직경의 최댓값과 최솟값의 차의 평균 직경에 대한 비율이 0.200% 이하인 것을 합격(발명예)으로서 표 5에 기재하였다.

[0230] 얻어진 무방향성 전자 강판으로부터, 자기 측정용으로 16×16mm의 정사각형 샘플을 잘라내고, 750℃에서 2시간의 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여, 철손 W10/400과 자속 밀도 B50을 측정하였다. 철손 W10/400이 14.00W/kg 이하이며, 또한, 자속 밀도 B50이 1.650T 이상인 경우, 우수한 자기 특성을 구비하는 무방향성 전자 강판인 것으로서 합격을 판정하였다.

[0231] 표 5에 있어서, 4A1 내지 4S는 모두, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이 200 $\mu$ m 이하이며, 또한 200 $\mu$ m 초과 결정립의 존재 비율이 10% 이하이며, 코어 어닐링 후의 진원도가 평가 기준을 충족하였기 때문에, 합격이었다. 또한, 본 발명예인 4A1 내지 4S에서는, 모두 낮은 철손, 또한 충분한 자속 밀도(양호한 자기 특성)가 얻어지는 것을 알 수 있다.

[0232] 이상으로부터, 본 발명에 따르면, 최종 냉연 전의 강판의 평균 결정 입경이 200 $\mu$ m 이하가 되고, 또한 200 $\mu$ m 초과 결정립의 존재 비율이 결정립 전체의 10% 이하가 되고, 편칭 후, 및 코어 어닐링 후 각각에 있어서의 양호한 진원도와, 양호한 자기 특성을 양립시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0233] [표 4A]

부호	화학 조성(질량%, 잔부: Fe 및 불순물)												
	C	Si	sol.Al	Mn	P	S	N	Ti	V	Zr	Nb	B	O
4A1	0.0020	2.05	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4A2	0.0020	2.50	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4A3	0.0020	3.05	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4A4	0.0020	3.10	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4A5	0.0020	3.20	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4B	0.0020	3.00	1.05	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4C	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	0.095	0.002
4D	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4E1	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4E2	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4F	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	0.092	-	-	-	0.002
4G	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4H	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4I	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4J	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	0.093	-	-	0.002
4K	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4L	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4M	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4N	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4O	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4P	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4Q	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002
4R	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	0.091	-	0.002
4S	0.0020	3.00	0.50	0.20	0.01	0.0010	0.0020	0.0010	-	-	-	-	0.002

[0234]

[0235] [표 4B]

부호	화학 조성(질량%, 잔부: Fe 및 불순물)												
	Mg	Ca	Cr	Ni	Cu	Sn	Sb	Ce	Nd	Bi	W	Mo	Y
4A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4A3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4A4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4A5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4D	0.090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4E2	-	0.099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4G	-	-	4.870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4H	-	-	-	4.250	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4I	-	-	-	-	4.550	-	-	-	-	-	-	-	-
4J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4K	-	-	-	-	-	0.095	-	-	-	-	-	-	-
4L	-	-	-	-	-	-	0.098	-	-	-	-	-	-
4M	-	-	-	-	-	-	-	0.099	-	-	-	-	-
4N	-	-	-	-	-	-	-	-	0.093	-	-	-	-
4O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.091	-	-	-
4P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.094	-	-
4Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.095	-
4R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.099

[0236]

[0237] [표 5]

부호	원판		전자 강판							비고	
	평균 결정 입경 ( $\mu\text{m}$ )	200 $\mu\text{m}$ 초과 결정립의 존재 비율 (%)	* 1 (%)	D15 <sup>MAX</sup> /D2 <sup>AVE</sup>	DL/DC	코어 어닐링 전 진원도 (%)	코어 어닐링 후 진원도 (%)	평균 결정 입경 ( $\mu\text{m}$ )	W10/400 (W/g)		B50 (T)
4A1	195	8	5	1.6	1.8	0.110%	0.125%	100	13.69	1.709	발명예
4A2	190	6	5	1.2	1.8	0.090%	0.100%	100	12.77	1.693	발명예
4A3	190	5	4	1.0	1.4	0.070%	0.080%	100	11.90	1.674	발명예
4A4	185	3	4	0.6	1.4	0.100%	0.065%	100	11.83	1.672	발명예
4A5	180	2	3	0.4	1.1	0.070%	0.050%	100	11.70	1.669	발명예
4B	180	6	5	1.2	1.8	0.105%	0.100%	100	11.40	1.650	발명예
4C	150	8	7	1.6	2.5	0.075%	0.160%	70	13.98	1.664	발명예
4D	185	6	5	1.2	1.8	0.110%	0.100%	100	13.88	1.668	발명예
4E1	190	5	5	1.0	1.8	0.125%	0.090%	100	11.97	1.676	발명예
4E2	185	4	5	0.8	1.8	0.115%	0.080%	100	11.97	1.676	발명예
4F	150	9	5	1.8	1.8	0.070%	0.135%	60	13.88	1.669	발명예
4G	180	7	6	1.4	2.1	0.110%	0.130%	100	10.07	1.651	발명예
4H	190	5	7	1.0	2.5	0.120%	0.115%	100	11.97	1.676	발명예
4I	180	6	5	1.2	1.8	0.115%	0.100%	100	11.97	1.652	발명예
4J	160	9	7	1.8	2.5	0.090%	0.175%	75	13.89	1.673	발명예
4K	180	6	5	1.2	1.8	0.110%	0.100%	100	11.97	1.686	발명예
4L	180	5	6	1.0	2.1	0.100%	0.100%	100	11.97	1.686	발명예
4M	185	6	4	1.2	1.4	0.110%	0.080%	100	11.97	1.676	발명예
4N	160	8	5	1.6	1.8	0.080%	0.125%	70	13.90	1.676	발명예
4O	170	5	7	1.0	2.5	0.080%	0.115%	75	13.92	1.668	발명예
4P	160	8	9	1.6	3.2	0.075%	0.195%	80	13.87	1.672	발명예
4Q	165	7	6	1.4	2.1	0.070%	0.130%	75	13.93	1.668	발명예
4R	150	8	5	1.6	1.8	0.060%	0.125%	60	13.96	1.664	발명예
4S	180	6	7	1.2	2.5	0.110%	0.130%	75	13.83	1.672	발명예

\*1: 결정 방위차가 2° 이상 15° 미만인 경계를 결정립계로 간주하였을 때, 결정 입경이 200 $\mu\text{m}$  미만인 결정립의 면적률

[0238]

**부호의 설명**

[0239]

- 21: 스테이터 코어
- 22: 코어 백
- 23: 티스
- 30: 로터 코어
- 31: 로터 철심
- 32: 자석
- 50: 케이스
- 60: 샤프트

도면

도면1

