



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2025-0079019  
(43) 공개일자 2025년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C22C 38/02* (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)  
*C22C 38/00* (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)  
*C22C 38/10* (2006.01) *C22C 38/18* (2006.01)  
*C22C 38/60* (2006.01) *C23G 1/08* (2006.01)  
*H01F 1/147* (2006.01) *H02K 15/02* (2025.01)

(52) CPC특허분류  
*C22C 38/02* (2013.01)  
*C21D 8/1222* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2025-7014742  
(22) 출원일자(국제) 2022년10월26일  
 심사청구일자 2025년05월02일  
(85) 번역문제출일자 2025년05월02일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/040033  
(87) 국제공개번호 WO 2024/089827  
 국제공개일자 2024년05월02일

(71) 출원인  
**제이에프이 스틸 가부시카가이사**  
 일본 도쿄도 지요다쿠 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방  
 3고

(72) 발명자  
**다나카 타카야키**  
 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2  
 반 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이사 치테키자  
 이산부 나이  
**오쿠보 토모유키**  
 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2  
 반 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이사 치테키자  
 이산부 나이  
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인  
**이철**

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **무방향성 전자 강판 및 그의 제조 방법, 그리고 모터 코어**

**(57) 요약**

로터 코어에 적합한 양호한 피로 특성을 갖는 고강도 무방향성 전자 강판과, 스테이터 코어에 적합한 우수한 자기 특성을 갖는 무방향성 전자 강판을 제공한다. 질량%로, C: 0.01% 이하, Si: 2.0% 이상 4.5% 미만, Mn: 0.05% 이상 5.00% 이하, P: 0.1% 이하, S: 0.01% 이하, Al: 3.0% 이하 및 N: 0.005% 이하를 포함하고, 또한 Si+Al이 4.5% 미만이고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 성분 조성을 갖고, 강판 중의 결정립에 대해서, 평균 결정 입경  $X_1$ 이  $50\mu\text{m}$  이하이고, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이  $S_1/X_1 < 0.75$ 를 충족하고, 또한, 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 이 20.0 이하인, 무방향성 전자 강판이다.

(52) CPC특허분류

*C22C 38/002* (2013.01)  
*C22C 38/004* (2013.01)  
*C22C 38/005* (2013.01)  
*C22C 38/008* (2013.01)  
*C22C 38/04* (2013.01)  
*C22C 38/10* (2013.01)  
*C22C 38/18* (2013.01)  
*C22C 38/60* (2013.01)  
*C23G 1/08* (2013.01)

(72) 발명자

**자이젠 요시아키**

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반  
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산  
부 나이

**미야모토 유키노**

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반  
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산  
부 나이

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무방향성 전자 강판으로서,

질량%로,

C: 0.01% 이하,

Si: 2.0% 이상 4.5% 미만,

Mn: 0.05% 이상 5.00% 이하,

P: 0.1% 이하,

S: 0.01% 이하,

Al: 3.0% 이하 및

N: 0.0050% 이하

를 포함하고, Si+Al이 4.5% 미만이고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 성분 조성을 갖고,

강판 중의 결정립(crystal grain)에 대해서, 평균 결정 입경  $X_1$ 이  $50\mu\text{m}$  이하이고, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 다음식 (1):

$$S_1/X_1 < 0.75 \dots(1)$$

을 충족하고, 또한, 결정 입경 분포의 첨도(kurtosis)  $K_1$ 이 20.0 이하인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

Co: 0.0005% 이상 0.0050% 이하

를 포함하는, 무방향성 전자 강판.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

Cr: 0.05% 이상 5.00% 이하

를 포함하는, 무방향성 전자 강판.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

Ca: 0.001% 이상 0.100% 이하,

Mg: 0.001% 이상 0.100% 이하 및

REM: 0.001% 이상 0.100% 이하

중 어느 1종 또는 2종 이상을 포함하는, 무방향성 전자 강판.

**청구항 5**

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

Sn: 0.001% 이상 0.200% 이하 및

Sb: 0.001% 이상 0.200% 이하

중 어느 1종 또는 2종을 포함하는, 무방향성 전자 강판.

**청구항 6**

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

Cu: 0% 이상 0.5% 이하,

Ni: 0% 이상 0.5% 이하,

Ti: 0% 이상 0.005% 이하,

Nb: 0% 이상 0.005% 이하,

V: 0% 이상 0.010% 이하,

Ta: 0% 이상 0.002% 이하,

B: 0% 이상 0.002% 이하,

Ga: 0% 이상 0.005% 이하,

Pb: 0% 이상 0.002% 이하,

Zn: 0% 이상 0.005% 이하,

Mo: 0% 이상 0.05% 이하,

W: 0% 이상 0.05% 이하,

Ge: 0% 이상 0.05% 이하 및

As: 0% 이상 0.05% 이하

중 어느 1종 또는 2종 이상을 포함하는, 무방향성 전자 강판.

**청구항 7**

무방향성 전자 강판으로서,

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 성분 조성을 갖고,

강판 중의 결정립에 대해서, 평균 결정 입경  $X_2$ 가  $80\mu\text{m}$  이상이고, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ 가 다음식 (2):

$$S_2/X_2 < 0.75 \dots(2)$$

를 충족하고, 또한, 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

**청구항 8**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법으로서,

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시하여 열연판을 얻는

열간 압연 공정과,

상기 열연판에 산 세정(pickling)을 실시하는 산 세정 공정과,

상기 산 세정이 실시된 상기 열연판에, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 가 150mm $\phi$  이상, 최종 패스의 압하율  $r$ 이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 이 100s<sup>-1</sup> 이상 1300s<sup>-1</sup> 이하의 조건에서 냉간 압연을 실시하여 냉연판을 얻는 냉간 압연 공정과,

상기 냉연판을, 500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도  $V_1$ 이 10℃/s 이상의 조건에서, 700℃ 이상 850℃ 이하의 어닐링 온도  $T_2$ 까지 가열한 후, 냉각하여, 무방향성 전자 강판인 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정

을 구비하는, 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

### 청구항 9

제7항에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법으로서, 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 무방향성 전자 강판을, 750℃ 이상 900℃ 이하의 열처리 온도  $T_3$ 으로 가열하는 열처리 공정을 구비하는, 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

### 청구항 10

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 무방향성 전자 강판의 적층체인 로터 코어와, 제7항에 기재된 무방향성 전자 강판의 적층체인 스테이터 코어로 이루어지는, 모터 코어.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판(electrical steel sheet) 및 그의 제조 방법, 그리고 당해 무방향성 전자 강판을 이용하는 모터 코어에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 최근, 전기 기기에 대한 에너지 절약화로의 요구가 세계적으로 높아지고 있다. 이에 수반하여, 회전기(rotating machine)의 철심(iron core)에 사용되는 무방향성 전자 강판에 대해서도, 보다 우수한 자기 특성이 요구되고 있다. 또한, 최근에는, HEV(하이브리드 차)나 EV(전기 자동차)의 구동 모터 등에 있어서, 소형화·고출력화의 요구가 강하고, 이러한 요구에 따르기 위해, 모터의 회전수를 상승시키는 것이 검토되고 있다.

[0003] 모터 코어는, 스테이터 코어와 로터 코어로 나눌 수 있지만, HEV 구동 모터의 로터 코어에는, 그의 외경이 큰 점에서, 큰 원심력이 작용한다. 또한, 로터 코어는, 구조상, 로터 코어 브릿지부라고 불리는 매우 좁은 부분(폭: 1~2mm)이 존재하고, 당해 부분은, 모터 구동 중에는 특히 고응력 상태가 된다. 또한, 모터가 회전과 정지를 반복함으로써, 로터 코어에는 원심력에 의한 큰 반복 응력이 작용하는 점에서, 로터 코어에 이용되는 전자 강판은, 우수한 피로 특성을 가질 필요가 있다.

[0004] 한편, 스테이터 코어에 이용되는 전자 강판은, 모터의 소형화·고출력화를 달성하기 위해, 고자속 밀도 또한 저철손(low iron loss)인 것이 바람직하다. 즉, 모터 코어에 사용되는 전자 강판에 요구되는 특성으로서, 로터 코어용의 전자 강판은 우수한 피로 특성을 갖는 것, 또한, 스테이터 코어용의 전자 강판은 고자속 밀도 또한 저철손인 것이 이상적이다.

[0005] 이와 같이, 동일한 모터 코어에 사용되는 전자 강판이라도, 로터 코어와 스테이터 코어에서는, 요구되는 특성이 크게 상이하다. 그러나, 모터 코어의 제조에 있어서는, 재료 수율 및 생산성을 높이기 위해, 동일한 소재 강판으로부터 로터 코어재와 스테이터 코어재를 펀칭 가공에 의해 동시에 채취하고, 그 후, 각각의 강판을 적층하여 로터 코어 또는 스테이터 코어에 조립하는 것이 바람직하다.

[0006] 모터 코어용의 고강도이고 저철손의 무방향성 전자 강판을 제조하는 기술로서, 예를 들면, 특허문헌 1에는, 고강도의 무방향성 전자 강판을 제조하고, 당해 강판으로부터 펀칭 가공으로 로터 코어재와 스테이터 코어재를 채취하여 적층하고, 로터 코어 및 스테이터 코어를 조립한 후, 스테이터 코어에만 변형 제거 어닐링을 실시하는

바와 같은, 고강도의 로터 코어와 저철손의 스테이터 코어를 동일 소재로부터 제조하는 기술이 개시되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0007] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 2008-50686호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 그러나, 상기 특허문헌 1에 개시된 기술에서는, 본 발명자들의 검토에 의하면, 고강도의 무방향성 전자 강판을 사용함으로써 항복 응력은 향상하지만, 가장 중요한 특성인 피로 강도는 반드시 향상한다고는 할 수 없는 점이 우려된다. 또한, 특허문헌 1에 개시된 기술에서는, 변형 제거 어닐링 후의 철손값은 반드시 산업상 요구되는 레벨을 안정적으로 달성할 수도 없는 점에 문제가 있다.

[0009] 본 발명은, 상기 종래 기술이 안고 있는 문제점을 감안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, 로터 코어에 적합한 양호한 피로 특성을 갖는 고강도 무방향성 전자 강판과, 스테이터 코어에 적합한 우수한 자기 특성을 갖는 무방향성 전자 강판을 제공함과 함께, 당해 무방향성 전자 강판을 염가로 제조하는 방법에 대해서 제안하는 것에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명자들이 상기 과제의 해결에 관하여 예의 검토한 결과, 결정 입경 분포를 제어함으로써, 피로 강도가 높은 무방향성 전자 강판이 얻어지는 것 및, 이 무방향성 전자 강판을 변형 제거 어닐링(열처리)에 의해 입성장시킨 경우에 우수한 저철손을 안정적으로 실현할 수 있는 것을 인식하는 데에 이르렀다. 또한, 냉간 압연의 최종 패스에 있어서의 압연 조건의 적정화를 도모함으로써, 결정 입경 분포를 제어할 수 있는 것도 발견했다.

[0011] 본 발명은 이러한 인식에 기초하여 이루어진 것으로서, 이하의 구성을 갖는다.

[0012] [1] 무방향성 전자 강판으로서,

[0013] 질량%로,

[0014] C: 0.01% 이하,

[0015] Si: 2.0% 이상 4.5% 미만,

[0016] Mn: 0.05% 이상 5.00% 이하,

[0017] P: 0.1% 이하,

[0018] S: 0.01% 이하,

[0019] Al: 3.0% 이하 및

[0020] N: 0.0050% 이하

[0021] 를 포함하고, Si+Al이 4.5% 미만이고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 성분 조성을 갖고,

[0022] 강판 중의 결정립(crystal grain)에 대해서, 평균 결정 입경  $X_1$ 이  $50\mu\text{m}$  이하이고, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 다음식 (1):

[0023]  $S_1/X_1 < 0.75 \dots(1)$

[0024] 을 충족하고, 또한, 결정 입경 분포의 첨도(kurtosis)  $K_1$ 이 20.0 이하인 것을 특징으로 하는, 무방향성 전자 강판.

[0025] [2] 상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,

- [0026] Co: 0.0005% 이상 0.0050% 이하
- [0027] 를 포함하는, 상기 [1]에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0028] [3] 상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,
- [0029] Cr: 0.05% 이상 5.00% 이하
- [0030] 를 포함하는, 상기 [1] 또는 [2]에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0031] [4] 상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,
- [0032] Ca: 0.001% 이상 0.100% 이하,
- [0033] Mg: 0.001% 이상 0.100% 이하 및
- [0034] REM: 0.001% 이상 0.100% 이하
- [0035] 중 어느 1종 또는 2종 이상을 포함하는, 상기 [1] 내지 [3] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0036] [5] 상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,
- [0037] Sn: 0.001% 이상 0.200% 이하 및
- [0038] Sb: 0.001% 이상 0.200% 이하
- [0039] 중 어느 1종 또는 2종을 포함하는, 상기 [1] 내지 [4] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0040] [6] 상기 성분 조성은, 추가로 질량%로,
- [0041] Cu: 0% 이상 0.5% 이하,
- [0042] Ni: 0% 이상 0.5% 이하,
- [0043] Ti: 0% 이상 0.005% 이하,
- [0044] Nb: 0% 이상 0.005% 이하,
- [0045] V: 0% 이상 0.010% 이하,
- [0046] Ta: 0% 이상 0.002% 이하,
- [0047] B: 0% 이상 0.002% 이하,
- [0048] Ga: 0% 이상 0.005% 이하,
- [0049] Pb: 0% 이상 0.002% 이하,
- [0050] Zn: 0% 이상 0.005% 이하,
- [0051] Mo: 0% 이상 0.05% 이하,
- [0052] W: 0% 이상 0.05% 이하,
- [0053] Ge: 0% 이상 0.05% 이하 및
- [0054] As: 0% 이상 0.05% 이하
- [0055] 중 어느 1종 또는 2종 이상을 포함하는, 상기 [1] 내지 [5] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0056] [7] 무방향성 전자 강판으로서,
- [0057] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 성분 조성을 갖고,
- [0058] 강판 중의 결정립에 대해서, 평균 결정 입경  $X_2$ 가  $80\mu\text{m}$  이상이고, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ 가 다음식 (2):
- [0059]  $S_2/X_2 < 0.75 \dots(2)$
- [0060] 를 충족하고, 또한, 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하인 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

- [0061] [8] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법으로서,
- [0062] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시하여 열연판을 얻는 열간 압연 공정과,
- [0063] 상기 열연판에 산 세정(pickling)을 실시하는 산 세정 공정과,
- [0064] 상기 산 세정이 실시된 상기 열연판에, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 가  $150\text{mm}\phi$  이상, 최종 패스의 압하율  $r$ 이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도  $\dot{\epsilon}_m$ 이  $100\text{s}^{-1}$  이상  $1300\text{s}^{-1}$  이하의 조건에서 냉간 압연을 실시하여 냉연판을 얻는 냉간 압연 공정과,
- [0065] 상기 냉연판을,  $500^\circ\text{C}$ 로부터  $700^\circ\text{C}$ 의 평균 승온 속도  $V_1$ 이  $10^\circ\text{C}/\text{s}$  이상의 조건에서,  $700^\circ\text{C}$  이상  $850^\circ\text{C}$  이하의 어닐링 온도  $T_2$ 까지 가열한 후, 냉각하여, 무방향성 전자 강판인 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정,
- [0066] 을 구비하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.
- [0067] [9] 상기 [7]에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법으로서, 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판을,  $750^\circ\text{C}$  이상  $900^\circ\text{C}$  이하의 열처리 온도  $T_3$ 으로 가열하는 열처리 공정을 구비하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.
- [0068] [10] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판의 적층체인 로터 코어와, 상기 [7]에 기재된 무방향성 전자 강판의 적층체인 스테이터 코어로 이루어지는, 모터 코어.

**발명의 효과**

- [0069] 본 발명에 의하면, 로터 코어에 적합한 양호한 피로 강도를 갖는 무방향성 전자 강판과, 스테이터 코어에 적합한 우수한 자기 특성(저철손)을 갖는 무방향성 전자 강판을 제공할 수 있다. 게다가, 이들 무방향성 전자 강판은, 동일한 강판으로부터 제공할 수 있다. 따라서, 본 발명의 무방향성 전자 강판을 이용함으로써, 고성능인 모터 코어를 재료 수율 좋게 염가로 제공할 수 있다. 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 소형 또한 고효율인 모터에도 적합하게 사용할 수 있다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0070] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0071] 이하, 본 발명의 상세를 그의 한정 이유와 함께 설명한다.
- [0072] <무방향성 전자 강판의 성분 조성>
- [0073] 본 발명의 무방향성 전자 강판 및 모터 코어가 갖는 적합한 성분 조성에 대해서 설명한다. 성분 조성에 있어서의 원소의 함유량의 단위는 모두 「질량%」이지만, 이하, 특별히 언급하지 않는 한 간단히 「%」로 나타낸다.
- [0074] 또한, 본 발명의 무방향성 전자 강판으로서, 주로 로터 코어에 적합한 제1 무방향성 전자 강판과, 주로 스테이터 코어에 적합한 제2 무방향성 전자 강판을 들 수 있다. 단, 이들 무방향성 전자 강판은, 동일한 강판으로부터 얻어지는 것이기 때문에, 적합한 성분 조성은, 제1 무방향성 전자 강판과 제2 무방향성 전자 강판에서, 공통된다.
- [0075] C: 0.01% 이하
- [0076] C는, 모터의 사용 중에 탄화물을 형성하여 자기 시효(magnetic aging)를 일으키고, 철손 특성을 열화시키는 유해 원소이다. 자기 시효를 회피하기 위해서는, 강판에 있어서의 C 함유량은 0.01% 이하로 한다. 바람직하게는, C 함유량은 0.004% 이하이다. 또한, C 함유량의 하한은, 특별히 규정하지 않지만, 과도하게 C를 저감한 강판은 매우 고가인 점에서, C 함유량은 0.0001% 이상인 것이 바람직하다.
- [0077] Si: 2.0% 이상 4.5% 미만
- [0078] Si는, 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감하는 효과가 있고, 또한, 고용 강화에 의해 강의 강도를 높이는 효과가 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Si 함유량을 2.0% 이상으로 한다. 한편, Si 함유량이 4.5% 이상이 되면, 포화 자속 밀도의 저하에 수반하여 자속 밀도가 현저하게 저하하기 때문에, Si 함유량은 4.5% 미만으

로 했다. 따라서, Si 함유량은 2.0% 이상 4.5% 미만의 범위로 한다. Si 함유량은, 바람직하게는 2.5% 이상 4.5% 미만이고, 보다 바람직하게는 3.0% 이상 4.5% 미만이다.

[0079] Mn: 0.05% 이상 5.00% 이하

[0080] Mn은, Si와 마찬가지로, 강의 고유 저항 및 강도를 높이는 데에 유용한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Mn 함유량을 0.05% 이상으로 할 필요가 있다. 한편, Mn 함유량이 5.00%를 초과하면, MnC의 석출(precipitation)을 촉진하여 자기 특성을 열화시키는 경우가 있기 때문에, Mn 함유량의 상한은 5.00%로 했다. 따라서, Mn 함유량은 0.05% 이상 5.00% 이하로 한다. Mn 함유량은, 바람직하게는 0.10% 이상이고, 또한, 바람직하게는 3.00% 이하이다.

[0081] P: 0.1% 이하

[0082] P는, 강의 강도(경도)의 조정에 이용되는 유용한 원소이다. 그러나, P 함유량이 0.1%를 초과하면, 인성이 저하하고, 가공 시에 균열을 일으키기 쉽기 때문에, P 함유량은 0.1% 이하로 한다. 또한, P 함유량의 하한은, 특별히 규정하지 않지만, 과도하게 P를 저감한 강관은 매우 고가인 점에서, P 함유량은 0.001% 이상인 것이 바람직하다. P 함유량은, 바람직하게는 0.003% 이상이고, 또한, 바람직하게는 0.08% 이하이다.

[0083] S: 0.01% 이하

[0084] S는, 미세 석출물을 형성하여 철손 특성에 악영향을 미치는 원소이다. 특히, S 함유량이 0.01%를 초과하면, 그 악영향이 현저해지기 때문에, S 함유량은 0.01% 이하로 한다. 또한, S 함유량의 하한은, 특별히 규정하지 않지만, 과도하게 S를 저감한 강관은 매우 고가인 점에서, S 함유량은 0.0001% 이상인 것이 바람직하다. S 함유량은, 바람직하게는 0.0003% 이상이고, 또한, 바람직하게는 0.0080% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.0050% 이하이다.

[0085] Al: 3.0% 이하

[0086] Al은, Si와 마찬가지로, 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감하는 효과가 있는 유용한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Al 함유량을 0.005% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Al 함유량은, 보다 바람직하게는 0.010% 이상이고, 더욱 바람직하게는 0.015% 이상이다. 한편, Al 함유량이 3.0%를 초과하면, 강관 표면의 질화(nitriding)를 조장하여, 자기 특성을 열화시키는 경우가 있기 때문에, Al 함유량의 상한은 3.0%로 했다. Al 함유량은, 바람직하게는 2.0% 이하이다.

[0087] N: 0.0050% 이하

[0088] N은, 미세 석출물을 형성하여 철손 특성에 악영향을 미치는 원소이다. 특히, N 함유량이 0.0050%를 초과하면, 그 악영향이 현저해지기 때문에, N 함유량은 0.0050% 이하로 한다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0030% 이하이다. 또한, N 함유량의 하한은 특별히 규정하지 않지만, 과도하게 N을 저감한 강관은 매우 고가인 점에서, N 함유량은 0.0005% 이상인 것이 바람직하다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0008% 이상이고, 또한, 바람직하게는 0.0030% 이하이다.

[0089] Si + Al: 4.5% 미만

[0090] Si + Al(Si 및 Al의 합계 함유량)을 4.5% 미만으로 하고, 또한, 적절한 조건으로 냉간 압연을 실시함으로써, 냉간 압연 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도(kurtosis)를 내리는 효과가 있다. 이에 따라, 피로 강도가 상승함과 함께, 변형 제거 어닐링(열처리)에 의해 입성장시키는 경우에 우수한 저철손 특성을 기대할 수 있다. 따라서, Si + Al의 값은 4.5% 미만으로 한다. 또한, Si + Al의 값을 4.5% 미만으로 하고, 추가로 적절한 냉간 압연을 조합함으로써 결정 입경 분포의 첨도가 저하하는 이유는 불분명하다. 단 이 점에 관하여, 본 발명자들은, 냉간 압연 시에 활동하는, 미끄러짐계의 밸런스가 변화하여, 냉간 압연 중의 전단 변형 분포가 최적화됨으로써 생긴 효과라고 추측하고 있다.

[0091] 일 실시 형태의 전자 강관의 성분 조성에 있어서, 상기 성분 이외의 잔부는, Fe 및 불가피적 불순물이다. 단, 다른 실시 형태의 전자 강관의 성분 조성은, 추가로 요구 특성에 따라서, 상기 성분(원소)에 더하여, 후술하는 원소 중으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 소정량으로 함유할 수 있다.

[0092] Co: 0.0005% 이상 0.0050% 이하

[0093] Co에는, Si + Al 및 냉간 압연 조건의 적절한 제어에 의해 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도가 저하하는 작용을

보강하는 효과가 있다. 즉, Co의 미량 첨가에 의해, 결정 입경 분포의 첨도를 안정적으로 저하시킬 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Co 함유량을 0.0005% 이상으로 하면 좋다. 한편, Co는, 함유량이 0.0050%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, Co를 첨가하는 경우에는, Co 함유량의 상한을 0.0050%로 했다. 따라서, 상기 성분 조성은, 추가로, Co: 0.0005% 이상 0.0050% 이하를 포함하는 것이 바람직하다.

[0094] Cr: 0.05% 이상 5.00% 이하

[0095] Cr은, 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감하는 효과가 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Cr 함유량을 0.05% 이상으로 하면 좋다. 한편, Cr은, 함유량이 5.00%를 초과하면, 포화 자속 밀도의 저하에 수반하여 자속 밀도가 현저하게 저하하기 때문에, Cr을 첨가하는 경우에는, Cr 함유량의 상한을 5.00%로 했다. 따라서, 상기 성분 조성은, 추가로, Cr: 0.05% 이상 5.00% 이하를 포함하는 것이 바람직하다.

[0096] Ca: 0.001% 이상 0.100% 이하

[0097] Ca는, 황화물로서 S를 고정하여, 철손 저감에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Ca 함유량을 0.001% 이상으로 하면 좋다. 한편, Ca는, 함유량이 0.100%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, Ca를 첨가하는 경우에는, Ca 함유량의 상한을 0.100%로 했다.

[0098] Mg: 0.001% 이상 0.100% 이하

[0099] Mg는, 황화물로서 S를 고정하여, 철손 저감에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Mg 함유량을 0.001% 이상으로 하면 좋다. 한편, Mg는, 함유량이 0.100%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, Mg를 첨가하는 경우에는, Mg 함유량의 상한을 0.100%로 했다.

[0100] REM: 0.001% 이상 0.100% 이하

[0101] REM은, 황화물로서 S를 고정하여, 철손 저감에 기여하는 원소군이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, REM 함유량을 0.001% 이상으로 하면 좋다. 한편, REM은, 함유량이 0.100%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, REM을 첨가하는 경우에는, REM 함유량의 상한을 0.100%로 했다.

[0102] 마찬가지로의 관점에서, 상기 성분 조성은, 추가로, Ca: 0.001% 이상 0.100% 이하, Mg: 0.001% 이상 0.100% 이하 및 REM: 0.001% 이상 0.100% 이하 중 어느 1종 또는 2종 이상을 포함하는 것이 바람직하다.

[0103] Sn: 0.001% 이상 0.200% 이하

[0104] Sn은, 집합 조직 개선에 의해 자속 밀도 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Sn의 함유량을 0.001% 이상으로 하면 좋다. 한편, Sn은, 함유량이 0.200%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, Sn을 첨가하는 경우에는, Sn 함유량의 상한을 0.200%로 했다.

[0105] Sb: 0.001% 이상 0.200% 이하

[0106] Sb는, 집합 조직 개선에 의해 자속 밀도 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Sb의 함유량을 0.001% 이상으로 하면 좋다. 한편, Sb는, 함유량이 0.200%를 초과하면 효과가 포화하여, 쓸데없이 비용의 상승을 초래하기 때문에, Sb를 첨가하는 경우에는, Sb 함유량의 상한을 0.200%로 했다.

[0107] 마찬가지로의 관점에서, 상기 성분 조성은, 추가로, Sn: 0.001% 이상 0.200% 이하 및 Sb: 0.001% 이상 0.200% 이하 중 어느 1종 또는 2종을 포함하는 것이 바람직하다.

[0108] Cu: 0% 이상 0.5% 이하

[0109] Cu는, 강의 인성을 향상시키는 원소이고, 적절히, 첨가할 수 있다. 그러나, Cu는, 함유량이 0.5%를 초과하면 효과가 포화하기 때문에, Cu를 첨가하는 경우에는, Cu 함유량의 상한을 0.5%로 했다. Cu를 첨가하는 경우에는, Cu 함유량은, 보다 바람직하게는 0.01% 이상이고, 또한, 보다 바람직하게는 0.1% 이하이다. 또한, Cu 함유량은, 0%라도 좋다.

[0110] Ni: 0% 이상 0.5% 이하

[0111] Ni는, 강의 인성을 향상시키는 원소이고, 적절히, 첨가할 수 있다. 그러나, Ni는, 함유량이 0.5%를 초과하면 효과가 포화하기 때문에, Ni를 첨가하는 경우에는, Ni 함유량의 상한을 0.5%로 했다. Ni를 첨가하는 경우에는, Ni 함유량은, 보다 바람직하게는 0.01% 이상이고, 또한, 보다 바람직하게는 0.1% 이하이다. 또한,

Ni 함유량은, 0%라도 좋다.

- [0112] Ti: 0% 이상 0.005% 이하
- [0113] Ti는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ti는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Ti를 첨가하는 경우에는, Ti 함유량의 상한을 0.005%로 했다. Ti 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002% 이하이다. 또한, Ti 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0114] Nb: 0% 이상 0.005% 이하
- [0115] Nb는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Nb는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Nb를 첨가하는 경우에는, Nb 함유량의 상한을 0.005%로 했다. Nb 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002% 이하이다. 또한, Nb 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0116] V: 0% 이상 0.010% 이하
- [0117] V는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, V는, 함유량이 0.010%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, V를 첨가하는 경우에는, V 함유량의 상한을 0.010%로 했다. V 함유량은, 보다 바람직하게는 0.005% 이하이다. 또한, V 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0118] Ta: 0% 이상 0.002% 이하
- [0119] Ta는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ta는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Ta를 첨가하는 경우에는, Ta 함유량의 상한을 0.0020%로 했다. Ta 함유량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이하이다. 또한, Ta 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0120] B: 0% 이상 0.002% 이하
- [0121] B는, 미세한 질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, B는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, B를 첨가하는 경우에는, B 함유량의 상한을 0.002%로 했다. B 함유량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이하이다. 또한, B 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0122] Ga: 0% 이상 0.005% 이하
- [0123] Ga는, 미세한 질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ga는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Ga를 첨가하는 경우에는, Ga 함유량의 상한을 0.005%로 했다. Ga 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002% 이하이다. 또한, Ga 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0124] Pb: 0% 이상 0.002% 이하
- [0125] Pb는, 미세한 Pb 입자를 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Pb는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Pb를 첨가하는 경우에는, Pb 함유량의 상한을 0.002%로 했다. Pb 함유량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이하이다. 또한, Pb 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0126] Zn: 0% 이상 0.005% 이하
- [0127] Zn은, 미세 개재물을 증가시켜 철손을 증가시키는 원소이고, 특히, 함유량이 0.005%를 초과하면 악영향이 현저해진다. 따라서, Zn을 첨가하는 경우에는, Zn 함유량의 상한을 0.005%로 했다. Zn 함유량은, 보다 바람직하게는 0.003% 이하이다. 또한, Zn 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0128] Mo: 0% 이상 0.05% 이하
- [0129] Mo는, 미세 탄화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Mo는, 함유량이 0.05%를 초과하면, 열처리 공정에 있어서의 입성장성을

열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Mo를 첨가하는 경우에는, Mo 함유량의 상한을 0.05%로 했다. Mo 함유량은, 보다 바람직하게는 0.02% 이하이다. 또한, Mo 함유량은, 0%라도 좋다.

[0130] W: 0% 이상 0.05% 이하

[0131] W는, 미세 탄화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, W는, 함유량이 0.05%를 초과하면, 열처리 공정에서 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, W를 첨가하는 경우에는, W 함유량의 상한을 0.05%로 했다. W 함유량은, 보다 바람직하게는 0.02% 이하이다. 또한, W 함유량은, 0%라도 좋다.

[0132] Ge: 0% 이상 0.05% 이하

[0133] Ge는, 집합 조직의 개선에 의해 자속 밀도의 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ge는, 함유량이 0.05%를 초과하면 효과가 포화하기 때문에, Ge를 첨가하는 경우에는, Ge 함유량의 상한을 0.05%로 했다. Ge 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002% 이상이고, 또한, 보다 바람직하게는 0.01% 이하이다. 또한, Ge 함유량은, 0%라도 좋다.

[0134] As: 0% 이상 0.05% 이하

[0135] As는, 집합 조직의 개선에 의해 자속 밀도의 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, As는, 함유량이 0.05%를 초과하면 효과가 포화하기 때문에, As를 첨가하는 경우에는, As 함유량의 상한을 0.05%로 했다. As 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002% 이상이고, 또한, 보다 바람직하게는 0.01% 이하이다. 또한, As 함유량은, 0%라도 좋다.

[0136] 이상의 성분 조성에 있어서, 상기한 성분 이외의 잔부는, Fe 및 불가피적 불순물이다.

[0137] <제1 무방향성 전자 강판의 마이크로 조직>

[0138] 다음으로, 본 발명의 제1 무방향성 전자 강판에 있어서의 마이크로 조직(결정립(crystal grain)의 태양)에 대해서 설명한다. 이러한 제1 무방향성 전자 강판은, 특히 로터 코어에 적합한 재료이다.

[0139] (평균 결정 입경  $X_1$ : 50 $\mu$ m 이하)

[0140] 본 발명자들의 검토에 의하면, 강판 중의 결정립이 미세함으로써 피로 강도가 향상하는 것이 판명되었다. 즉, 평균 결정 입경  $X_1$ 이 50 $\mu$ m 이하이면, 피로 강도가 HEV 또는 EV에 적용하는 모터(이하, HEV/EV 모터라고 함)의 로터용 재료로 필요시 되는 값을 만족할 수 있기 때문에, 제1 무방향성 전자 강판에 있어서는, 평균 결정 입경  $X_1$ 을 50 $\mu$ m 이하로 했다. 여기에서, 피로 강도에 대해서, 로터용 재료로 필요시 되는 값이란, 500MPa 이상이다. 한편, 평균 결정 입경  $X_1$ 의 하한은, 특별히 규정하지 않지만, 과도하게 결정 입경이 미세하면 강판의 연성이 저하하여 가공이 어려워지는 점에서, 평균 결정 입경  $X_1$ 은, 1 $\mu$ m 이상인 것이 바람직하다.

[0141] (결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ : 식 (1)을 만족)

[0142] 결정 입경 분포의 표준 편차의 값이 평균 결정 입경에 대하여 큰 경우에는, 반복 응력 부하 시의 응력 집중이 조장되기 때문에, 피로 강도가 저하한다. 그래서, 제1 무방향성 전자 강판에 있어서는, 피로 한계가 HEV/EV 모터의 로터용 재료로 필요시 되는 상기 값 이상을 만족하기 위해, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 다음식 (1):

[0143] 
$$S_1/X_1 < 0.75 \dots(1)$$

[0144] 을 충족하도록 했다. 또한, 제1 무방향성 전자 강판은, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 다음식 (1')

[0145] 
$$S_1/X_1 < 0.70 \dots(1')$$

[0146] 를 충족하는 것이 바람직하다.

[0147] (결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ : 20.0 이하)

[0148] 본 발명자들은, 결정 입경 분포의 첨도를 제어함으로써, 피로 강도가 우수한 무방향성 전자 강판이 되고, 또한 변형 제거 어닐링(열처리)에 의해 입성장시킨 경우에 우수한 저철손을 실현할 수 있는 것을 발견했다. 결정 입

경 분포의 첨도를, 전술한 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 과 동시에 제어함으로써, 이러한 효과를 얻을 수 있다.

[0149] 여기에서, 첨도란, JISZ8101-1:2015에 있어서의 (표본) 뿔족함에 상당하고, 분포의 끝 부분의 무게(tail weight)에 관련한다. JISZ8101-1:2015는 ISO3534-1:2006에 대응한다. 첨도가 높은 경우에는, 동일 표준 편차를 갖는 분포라도 분포 형상이 정규 분포인 경우와 비교하여, 극단적으로 평균으로부터 벗어난 값이 고확률로 존재하는 분포인 것을 의미한다. 즉, 본건 명세서에 있어서 첨도는, 결정 입경 분포의 편차에 대하여 극단적으로 조대(coarse)한 결정립 및/또는 극단적으로 미세한 결정립이 존재하는 빈도에 대한 지표가 된다. 첨도가 높은 경우에는 극단적으로 조대한 결정립 및/또는 극단적으로 미세한 결정립의 존재 빈도가 높다. 극단적으로 조대한 결정립이나 극단적으로 미세한 결정립이 혼재하면 반복 응력 부하 시에 과도한 응력 집중과 그에 기인하는 국소적인 반복 변형이 생기기 쉽기 때문에, 피로 특성을 열화시킨다. 구체적으로는, 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 이 20.0 이하이면, 극단적으로 조대한 결정립이나 극단적으로 미세한 결정립의 존재 빈도가 충분히 작아, 편칭 피로 한계가 HEV/EV 모터의 로터용 재료로 필요시 되는 상기 값을 만족함과 함께, 변형 제거 어닐링 후의 저철손을 실현할 수 있다. 이 때문에, 제1 무방향성 전자 강판에 있어서는, 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 을 20.0 이하로 했다. 제1 무방향성 전자 강판에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 은, 바람직하게는 15.0 이하이다. 또한, 상기 첨도  $K_1$ 의 하한은, 특별히 한정할 필요는 없지만, 본 발명의 수법을 구사하여 제조한 경우에 있어서도 통상 0 이상이다.

[0150] 또한, 첨도  $K_1$ 은, 후술의 실시예에 기재하는 순서에 따라 구할 수 있고, 정규 분포의 값을 0으로 조정된 공식을 이용하여 산출한 값이다.

[0151] <제2 무방향성 전자 강판의 마이크로 조직>

[0152] 전술의 마이크로 조직(결정립의 태양)을 갖는 제1 무방향성 전자 강판은, 후술한 바와 같이, 열처리를 실시하여 입성장시킨 경우에, 제2 무방향성 전자 강판이 될 수 있다. 그래서, 다음으로, 본 발명의 제2 무방향성 전자 강판에 있어서의 마이크로 조직(결정립의 태양)에 대해서 설명한다. 이러한 제2 무방향성 전자 강판은 특히 스테이터 코어에 적합한 무방향성 전자 강판이 된다.

[0153] (평균 결정 입경  $X_2$ : 80 $\mu$ m 이상)

[0154] 무방향성 전자 강판의 철손은 평균 결정 입경에 의존하여 변화한다. 스테이터 코어에 적합한 제2 무방향성 전자 강판에 있어서는, 평균 결정 입경  $X_2$ 를 80 $\mu$ m 이상으로 했다. 이에 따라, 목표의 철손 특성( $W_{10/400} \leq 13.0(W/kg)$ )을 달성할 수 있다.

[0155] (결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ : 식 (2)를 만족)

[0156] 결정 입경 분포의 표준 편차의 값이 평균 결정 입경에 대하여 큰 경우에는, 철손의 저감에 불리한 과도하게 미세한 결정립이나 과도하게 조대한 결정립이 다수 존재하기 때문에, 철손이 상승한다. 그래서, 제2 무방향성 전자 강판에 있어서는, 철손이 HEV/EV 모터의 스테이터용 재료로 필요시 되는 상기의 목표값을 나타내기 위해, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ 가 다음식 (2):  $S_2/X_2 < 0.75 \dots(2)$

[0157] 를 충족할 수 있게 했다. 또한, 제2 무방향성 전자 강판은, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ 가 다음식 (2'):

[0158]  $S_2/X_2 < 0.70 \dots(2')$

[0159] 를 충족하는 것이 바람직하다.

[0160] (결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ : 3.00 이하)

[0161] 본 발명자들은 결정 입경 분포의 첨도를 제어함으로써, 우수한 저철손을 실현할 수 있는 것을 발견했다. 결정 입경의 첨도를, 전술한 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_2$ 와 동시에 제어함으로써, 이러한 효과를 얻을 수 있다. 전술한 바와 같이, 본건 명세서에 있어서 첨도가 높은 경우에는 극단적으로 조대한 결정립 및/또는 극단적으로 미세한 결정립의 존재 빈도가 높다. 극단적으로 조대한 결정립이나 극단적으로 미세한 결정립은 와전류손(eddy current loss)의 증가를 유발하여, 강판 전체적으로 철손 특성을 열화시킨다. 구체적으로는, 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하이면, 극단적으로 조대한 결정립이나 극단적으로 미세한 결정립의 존재 빈도가 충분히 작

아, 철손이 HEV/EV 모터의 스테이터용 재료로 필요시 되는 양호값을 나타낸다. 이 때문에, 제2 무방향성 전자 강판에 있어서는, 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 를 3.00 이하로 했다. 제2 무방향성 전자 강판에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 는, 바람직하게는 2.50 이하이고, 보다 바람직하게는 2.00 이하이다. 한편, 상기 첨도  $K_2$ 의 하한은, 특별히 규정할 필요는 없지만, 본 발명의 수법을 구사하여 제조한 경우에 있어서도 통상 0 이상이다.

[0162] 또한, 첨도  $K_2$ 는, 후술의 실시예에 기재하는 순서에 따라 구할 수 있고, 정규 분포의 값을 0으로 조정한 공식을 이용하여 산출한 값이다.

[0163] <모터 코어>

[0164] 본 발명의 모터 코어는, 상기의 제1 무방향성 전자 강판, 즉, 평균 결정 입경  $X_1$ 이  $50\mu\text{m}$  이하이고, 표준 편차  $S_1$ 이  $[S_1/X_1 < 0.75]$ 를 충족하고, 첨도  $K_1$ 이 20.0 이하인 무방향성 전자 강판의 적층체인, 로터 코어와, 상기의 제2 무방향성 전자 강판, 즉, 평균 결정 입경  $X_2$ 가  $80\mu\text{m}$  이상, 표준 편차  $S_2$ 가  $[S_2/X_2 < 0.75]$ 를 충족하고, 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하인 무방향성 전자 강판의 적층체인, 스테이터 코어로 이루어진다. 당해 모터 코어는, 로터 코어는 피로 강도가 높고, 또한 스테이터 코어는 자기 특성이 우수한 점에서, 소형화 또한 고출력화를 용이하게 실현할 수 있다.

[0165] <무방향성 전자 강판의 제조 방법>

[0166] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 대해서 설명한다.

[0167] 개략적으로는, 상기 성분 조성을 갖는 강 소재를 출발 소재로서, 열간 압연 공정, 임의의 열연판 어닐링 공정, 산 세정(pickling) 공정, 냉간 압연 공정, 어닐링 공정을 순차 행하는 방법으로서, 이에 따라, 전술한 본 발명의 제1 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다. 또한, 상기 제1 무방향성 전자 강판에 열처리를 실시함으로써, 전술한 본 발명의 제2 무방향성 전자 강판을 얻을 수 있다. 본 발명에 있어서는, 강 소재의 성분 조성, 냉간 압연 공정 및 어닐링 공정의 조건, 그리고 열처리 공정의 조건이 소정의 범위 내이면, 그 이외의 조건은 특별히 한정되지 않는다. 또한, 모터 코어의 제조 방법에 관해서는, 특별히 한정되지 않고, 통상 공지의 수법을 이용할 수 있다.

[0168] (강 소재)

[0169] 강 소재는, 무방향성 전자 강판에 대해서 이미 서술한 성분 조성을 갖는 강 소재이면, 특별히 한정되지 않는다.

[0170] 강 소재의 용제 방법으로서, 특별히 한정되지 않고, 전로 또는 전기로 등을 이용한 공지의 용제 방법을 채용할 수 있다. 생산성 등의 문제로부터, 용제 후에, 연속 주조법에 의해 슬래브(강 소재)로 하는 것이 바람직하지만, 조괴-분괴 압연법 또는 박(thin) 슬래브 연속 주조법 등의 공지의 주조 방법에 의해 슬래브로 해도 좋다.

[0171] (열간 압연 공정)

[0172] 열간 압연 공정은, 상기 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시함으로써, 열연판을 얻는 공정이다. 열간 압연 공정은, 상기 성분 조성을 갖는 강 소재를 가열하고, 열간 압연을 실시하여, 소정 치수의 열연판이 얻어지는 공정이면, 특별히 한정되지 않고, 상용의 열간 압연 공정을 적용할 수 있다.

[0173] 상용의 열간 압연 공정으로서, 예를 들면, 강 소재를  $1000^\circ\text{C}$  이상  $1200^\circ\text{C}$  이하의 온도로 가열하고, 가열한 강 소재에,  $800^\circ\text{C}$  이상  $950^\circ\text{C}$  이하의 마무리 압연 출측 온도에서 열간 압연을 실시하고, 열간 압연이 종료한 후, 적정한 압연 후 냉각(예를 들면,  $450^\circ\text{C}$  이상  $950^\circ\text{C}$  이하의 온도역율,  $20^\circ\text{C}/\text{s}$  이상  $100^\circ\text{C}/\text{s}$  이하의 평균 냉각 속도로 냉각함)을 실시하고,  $400^\circ\text{C}$  이상  $700^\circ\text{C}$  이하의 권취 온도에서 권취하여, 소정 치수 형상의 열연판으로 하는, 열간 압연 공정을 들 수 있다.

[0174] (열연판 어닐링 공정)

[0175] 열연판 어닐링 공정은, 상기 열연판을 가열하여 고온 보존유지함으로써, 열연판을 어닐링하는 공정이다. 열연판 어닐링 공정은, 특별히 한정되지 않고, 상용의 열연판 어닐링 공정을 적용할 수 있다. 또한, 이 열연판 어닐링 공정은 필수가 아니고, 생략할 수도 있다.

[0176] (산 세정 공정)

[0177] 산 세정 공정은, 상기 열간 압연 공정 또는 임의의 상기 열연판 어닐링 공정 후의 열연판에, 산 세정을 실시하

는 공정이다. 산 세정 공정은, 산 세정 후의 강관에 냉간 압연을 실시할 수 있는 정도로 산 세정할 수 있는 공정이면, 특별히 한정되지 않고, 예를 들면 염산 또는 황산 등을 사용하는 상용의 산 세정 공정을 적용할 수 있다. 이 산 세정 공정은, 상기 열연관 어닐링 공정을 행하는 경우에는, 당해 열연관 어닐링 공정과 동일 라인 내에서 연속하여 실시해도 좋고, 별도 라인에서 실시해도 좋다.

[0178] (냉간 압연 공정)

[0179] 냉간 압연 공정은, 상기 산 세정이 실시된 열연관(산 세정관)에, 냉간 압연을 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 냉간 압연 공정에서는, 상기 산 세정이 실시된 열연관에, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 가 150mm $\phi$  이상, 최종 패스의 압하율(rolling reduction)  $r$ 이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 이 100s<sup>-1</sup> 이상 1300s<sup>-1</sup> 이하의 조건으로 냉간 압연을 실시함으로써, 냉연관을 얻는다. 또한, 냉간 압연 공정에서는, 상기의 냉간 압연 조건을 충족하고 있는 한, 필요에 따라서 중간 어닐링을 사이에 둔 2회 이상의 냉간 압연에 의해 소정 치수의 냉연관으로 해도 좋다. 이 경우의 중간 어닐링의 조건으로서는, 특별히 한정되지 않고, 상용의 중간 어닐링을 적용할 수 있다.

[0180] [최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ : 150mm $\phi$  이상]

[0181] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 는 150mm $\phi$  이상으로 한다. 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 를 150mm $\phi$  이상으로 한 이유는, 얻어지는 제1 무방향성 전자 강관에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 을 20.0 이하로 하여, 소망하는 강관 조직을 형성하기 위함이다.

[0182] 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 가 150mm $\phi$ 보다 작은 경우에는, 평면 압축의 상태에서부터 멀리 떨어지게 되기 때문에, 워크 롤 지름이 큰 경우와 비교하여 결정립 단위로의 전단 변형의 불균일성이 증강된다. 이 전단 변형의 불균일성에 기인하여, 계속되는 어닐링 공정에서의 재결정핵의 핵 생성 빈도가 매우 높은 영역과 매우 낮은 영역이 일정량 생성되기 때문에, 어닐링관의 결정 입경 분포의 첨도가 커진다.

[0183] 한편, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 가 150mm $\phi$  이상인 경우에는, 후술하는 어닐링 공정 후에 있어서 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 은 20.0 이하가 된다. 그 결과, 소망하는 강관 조직을 얻을 수 있다.

[0184] 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 는, 바람직하게는 170mm $\phi$  이상이고, 보다 바람직하게는 200mm $\phi$  이상이다. 또한, 최종 패스의 워크 롤 지름  $D$ 의 상한은, 특별히 한정되지 않지만, 과도하게 롤 지름이 큰 경우에는 압연 하중이 증대하기 때문에, 700mm $\phi$  이하인 것이 바람직하다.

[0185] [최종 패스의 압하율  $r$ : 15% 이상]

[0186] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 압하율  $r$ 은 15% 이상으로 한다. 최종 패스의 압하율  $r$ 을 15% 이상으로 한 이유는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과를 얻어, 소망하는 강관 조직을 형성하기 위함이다.

[0187] 최종 패스의 압하율  $r$ 이 15% 미만인 경우에는, 압하율이 지나치게 낮기 때문에, 어닐링 후의 조직을 제어하는 것이 어려워진다. 한편, 최종 패스의 압하율  $r$ 이 15% 이상인 경우에는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과가 발휘된다. 그 결과, 소망하는 강관 조직을 얻을 수 있다.

[0188] 최종 패스의 압하율  $r$ 은, 바람직하게는 20% 이상이다. 또한, 최종 패스의 압하율  $r$ 의 상한은, 특별히 한정되지 않지만, 지나치게 높은 압하율은 다대한 장치 능력을 요구하고, 또한 냉연관의 형상 제어도 어려워지는 점에서, 최종 패스의 압하율  $r$ 은 통상 50% 이하이다.

[0189] [최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ : 100s<sup>-1</sup> 이상 1300s<sup>-1</sup> 이하]

[0190] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 은 100s<sup>-1</sup> 이상 1300s<sup>-1</sup> 이하로 한다. 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 을 100s<sup>-1</sup> 이상 1300s<sup>-1</sup> 이하로 한 이유는, 압연 중의 파단을 억제하면서, 얻어지는 제1 무방향성 전자 강관에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 을 20.0 이하로 하여, 소망하는 강관 조직을 형성하기 위함이다.

[0191] 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 이 100s<sup>-1</sup> 미만인 경우에는, 냉연관의 결정립 단위로의 전단 변형의 불균일성이 증강되고, 계속되는 어닐링 공정에 있어서의 핵 생성 및 입성장의 장소 의존성이 강조되기 때문에, 어닐링관의 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 이 커진다. 이 이유는 반드시 명확하지는 않지만, 발명자들은 변형 속도  $\epsilon_m$ 이 낮음에 따라

유동 응력이 저하하고, 변형하기 쉬운 결정 방위의 결정립에 변형이 집중하기 쉬워져, 변형 분포가 불균일화되기 때문이라고 추측하고 있다. 한편, 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 이  $1300s^{-1}$  초과인 경우에는, 유동 응력이 과도하게 증대하여, 압연 중의 취성 파단이 생기기 쉬워진다.

[0192] 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 이  $100s^{-1}$  이상  $1300s^{-1}$  이하인 경우에는, 압연 중의 파단을 억제하면서, 후술하는 어닐링 공정 후에 있어서 결정 입경 분포의 첨도  $K_1$ 이 20.0 이하가 된다. 그 결과, 소망하는 강판 조직을 얻을 수 있다.

[0193] 최종 패스의 변형 속도  $\epsilon_m$ 은, 바람직하게는  $150s^{-1}$  이상이고, 또한, 바람직하게는  $1000s^{-1}$  이하이다.

[0194] 또한, 냉간 압연 시의 각 패스에 있어서의 변형 속도  $\epsilon_m$ 은, 하기의 Ekelund의 근사식을 이용하여 도출했다.

$$\epsilon_m \approx \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r}$$

[0195]

여기에서,  $v_R$ 은 롤 주속도(mm/s),  $R'$  는 롤 반경(mm),  $h_1$ 은 롤 입측 판두께(mm),  $r$ 은 압하율(%)이다.

[0197] (어닐링 공정)

[0198] 어닐링 공정은, 냉간 압연 공정을 거친 냉연판에, 어닐링을 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 어닐링 공정에서는, 냉간 압연 공정을 거친 냉연판을,  $500^{\circ}C$ 로부터  $700^{\circ}C$ 의 평균 승온 속도  $V_1$ 이  $10^{\circ}C/s$  이상의 조건에서,  $700^{\circ}C$  이상  $850^{\circ}C$  이하의 어닐링 온도  $T_2$ 까지 가열한 후, 냉각하여, 냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)을 얻는다. 또한, 어닐링 공정의 후에는, 표면에 절연 코팅을 실시할 수 있다. 코팅의 방법 및 코팅의 종류로서는, 특별히 한정되지 않고, 상용의 절연 코팅 공정을 적용할 수 있다.

[0199] [ $500^{\circ}C$ 로부터  $700^{\circ}C$ 의 평균 승온 속도  $V_1$ :  $10^{\circ}C/s$  이상]

[0200] 어닐링 공정에 있어서  $500^{\circ}C$ 로부터  $700^{\circ}C$ 의 평균 승온 속도  $V_1$ 은  $10^{\circ}C/s$  이상으로 한다. 평균 승온 속도  $V_1$ 을  $10^{\circ}C/s$  이상으로 한 이유는, 얻어지는 무방향성 전자 강판에 있어서의 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 상기의 식 (1)을 충족하도록 하여, 소망하는 강판 조직을 형성하기 위함이다.

[0201] 평균 승온 속도  $V_1$ 이  $10^{\circ}C/s$  미만인 경우에는, 과도한 회복에 의해 재결정핵의 생성 빈도가 저하하고, 재결정핵수의 장소 의존성이 커진다. 그 결과, 미세한 결정립과 조대한 결정립이 혼재하게 되어, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 커지고, 상기식 (1)을 충족하지 않게 된다.

[0202] 한편, 평균 승온 속도  $V_1$ 이  $10^{\circ}C/s$  이상인 경우에는, 재결정핵의 생성 빈도가 높고, 재결정핵수의 장소 의존성이 작아진다. 그 결과, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 작아져, 상기식 (1)을 충족하게 된다.

[0203]  $500^{\circ}C$ 로부터  $700^{\circ}C$ 의 평균 승온 속도  $V_1$ 은, 바람직하게는  $20^{\circ}C/s$  이상이고, 보다 바람직하게는  $50^{\circ}C/s$  이상이다. 또한, 평균 승온 속도  $V_1$ 의 상한은, 특별히 한정되지 않지만, 과도하게 승온 속도가 높으면 온도 불균일을 일으키기 쉬운 점에서 평균 승온 속도  $V_1$ 은  $500^{\circ}C/s$  이하인 것이 바람직하다.

[0204] [어닐링 온도  $T_2$ :  $700^{\circ}C$  이상  $850^{\circ}C$  이하]

[0205] 어닐링 공정에 있어서, 어닐링 온도  $T_2$ 는  $700^{\circ}C$  이상  $850^{\circ}C$  이하로 한다. 어닐링 온도  $T_2$ 를  $700^{\circ}C$  이상  $850^{\circ}C$  이하로 한 이유는, 다음과 같다.

[0206] 어닐링 온도  $T_2$ 가  $700^{\circ}C$  미만인 경우에는, 입성장이 억제되는 점에서 재결정핵수의 장소 의존성이 강조되어, 초기의 불균일성이 계속되는 조직이 된다. 이 때문에, 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 커진다. 한편, 어닐링

온도  $T_2$ 가 700℃ 이상인 경우에는, 충분한 입성장이 생겨 결정 입경 분포의 표준 편차  $S_1$ 이 상기의 식 (1)을 충족하도록 할 수 있어, 소망하는 강판 조직을 얻을 수 있다. 어닐링 온도  $T_2$ 는, 바람직하게는 750℃ 이상이다.

[0207] 한편, 어닐링 온도  $T_2$ 가 850℃ 초과인 경우에는, 재결정립이 과도하게 성장하여, 평균 결정 입경  $X_1$ 을 50 $\mu$ m 이하로 할 수 없다. 따라서, 어닐링 온도  $T_2$ 는 850℃ 이하로 한다. 어닐링 온도  $T_2$ 는, 바람직하게는 825℃ 이하이다.

[0208] 어닐링 공정에서는, 상기의 어닐링 온도  $T_2$ 까지 가열한 후 냉각한다. 이 냉각은, 냉각 불균일 방지의 관점에서, 50℃/s 이하의 냉각 속도로 행하는 것이 바람직하다.

[0209] (열처리 공정)

[0210] 열처리 공정은, 상기 어닐링 공정을 거친 냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)에, 열처리를 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 열처리 공정에서는, 상기 어닐링 공정을 거친 냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)을, 750℃ 이상 900℃ 이하의 열처리 온도  $T_3$ 까지 가열한다. 가열 후, 냉각함으로써, 열처리판(제2 무방향성 전자 강판)을 얻을 수 있다. 또한, 열처리 공정은, 통상은 상기 무방향성 전자 강판을 적층하여 이루어지는 스테이터 코어에 대하여 실시하지만, 적층 전의 상기 무방향성 전자 강판에 실시한 경우에 있어서도, 마찬가지로 효과를 얻을 수 있다.

[0211] [열처리 온도  $T_3$ : 750℃ 이상 900℃ 이하]

[0212] 열처리 공정에 있어서 열처리 온도  $T_3$ 은 750℃ 이상 900℃ 이하로 한다. 열처리 온도  $T_3$ 을 750℃ 이상 900℃ 이하로 한 이유는, 다음과 같다.

[0213] 열처리 온도  $T_3$ 이 750℃ 미만인 경우에는, 결정립 성장이 불충분해져, 얻어지는 제2 무방향성 전자 강판에 있어서의 평균 결정 입경  $X_2$ 를 80 $\mu$ m 이상으로 할 수 없다. 따라서, 열처리 온도  $T_3$ 은 750℃ 이상으로 한다. 열처리 온도  $T_3$ 은, 바람직하게는 775℃ 이상이다.

[0214] 한편, 열처리 온도가 900℃ 초과인 경우에는, 입성장의 선택성이 강조되어, 결정 입경 분포의 변형도가 과도하게 커진다. 그 결과로서, 얻어지는 제2 무방향성 전자 강판에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하가 되지 않는다. 이 때문에, 열처리 온도  $T_3$ 은 900℃ 이하로 한다. 열처리 온도  $T_3$ 은, 바람직하게는, 875℃ 이하이다.

[0215] 이상의 열처리 공정을 실시함으로써, 상기의 제2 무방향성 전자 강판의 마이크로 조직, 즉, 평균 결정 입경  $X_2$ 가 80 $\mu$ m 이상이고, 표준 편차  $S_2$ 가  $[S_2/X_2 < 0.75]$ 를 충족하고, 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하인 강판의 마이크로 조직이 된다. 이 조직 변화는, 당해 열처리 공정 전의 강판의 마이크로 조직에 영향을 받는다. 즉, 열처리 공정을 실시하고, 표준 편차  $S_2$ 가  $[S_2/X_2 < 0.75]$ 를 충족하고, 첨도  $K_2$ 가 3.00 이하인 마이크로 조직을 얻으려면, 당해 열처리 공정 전의 강판은, 표준 편차  $S_1$ 이  $[S_1/X_1 < 0.75]$ 를 충족하고, 첨도  $K_1$ 이 20.0 이하일 필요가 있다.

[0216] 실시예

[0217] 이하에 실시예를 들어 본 발명을 구체적으로 설명한다. 단, 본 발명은 이들에 한정되지 않는다.

[0218] <냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)의 제조>

[0219] 표 1에 나타내는 성분 조성을 갖는 용강을, 통상 공지의 수법에 의해 용제하고, 연속 주조하여 두께 230mm의 슬래브(강 소재)로 했다.

[0220] 얻어진 슬래브에, 열간 압연을 실시함으로써, 판두께 2.0mm의 열연판을 얻었다. 얻어진 열연판에, 공지의 수법에 의해 열연판 어닐링 및 산 세정을 실시하고, 이어서, 표 2에 나타내는 판두께까지 냉간 압연을 실시하여, 냉연판을 얻었다.

[0221] 얻어진 냉연판에, 표 2에 나타내는 조건으로 어닐링을 실시하고, 이어서 공지의 수법에 의해 코팅을 실시하여, 냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)을 얻었다.

- [0222] <열처리관(제2 무방향성 전자 강관)의 제조>
- [0223] 얻어진 냉연 어닐링관에, 표 2에 나타내는 조건으로 열처리를 실시하여, 열처리관(제2 무방향성 전자 강관)을 얻었다.
- [0224] <모터 코어의 제조>
- [0225] 냉연 어닐링관(제1 무방향성 전자 강관)을 적층하여 이루어지는 로터 코어와, 열처리관(제2 무방향성 전자 강관)을 적층하여 이루어지는 스테이터 코어를, 공지 수법을 이용하여 조합함으로써, 모터 코어를 얻었다.
- [0226] <평가>
- [0227] (마이크로 조직의 관찰)
- [0228] 얻어진 냉연 어닐링관 및 열처리관으로부터 조직 관찰용의 시험편을 채취했다. 이어서, 채취한 시험편을, 압연면(ND면)에서, 관두께가 1/4에 상당하는 위치가 관찰면이 되도록, 화학 연마에 의해 두께를 줄여 경면화했다. 경면화한 관찰면에 대하여, 전자선 후방 산란 회절(EBSD) 측정을 실시하여, 국소 방위 데이터를 얻었다. 이때, 냉연 어닐링관에 대해서는, 스텝 사이즈: 2 $\mu\text{m}$ , 측정 영역: 4mm<sup>2</sup> 이상으로 하고, 열처리관에 대해서는, 스텝 사이즈: 10 $\mu\text{m}$ , 측정 영역: 100mm<sup>2</sup> 이상으로 했다. 측정 영역의 넓이는, 계속되는 해석에 있어서 결정립의 수가 5000개 이상이 되도록 적절히 조정했다. 또한, 측정은 전역을 1회의 스캔으로 행해도 좋고, Combo Scan 기능을 이용하여 복수회의 스캔 결과를 결합해도 좋다. 해석 소프트웨어: OIM Analysis 8을 이용하여, 얻어진 국소 방위 데이터의 해석을 행했다.
- [0229] 데이터 해석에 앞서, 해석 소프트웨어의 Partition Properties에서 Formula: GCI[&:5.000,2,0.000,0,0,8.0,1,1,1.0,0;]>0.1의 조건으로 입 평균 데이터점의 선별을 행하고, 해석에 부적합한 데이터점을 제외했다. 이 때, 유효한 데이터점은 97% 이상이었다.
- [0230] 이상과 같이 조정한 데이터에 대하여, 결정 입계의 정의로서, Grain Tolerance Angle을 5°, Minimum Grain Size를 2, Minimum Anti Grain Size를 2, Multiple Rows Requirement 및 Anti-Grain Multiple Rows Requirement는 모두 OFF로 하고, 이하의 해석을 행했다.
- [0231] 사전 처리를 실시한 데이터에 대하여, Export Grain File 기능을 이용하여 결정립의 정보를 출력했다. Grain File Type 2의 Grain Size (Diameter in microns)를 결정 입경(x<sub>i</sub>)으로서 이용했다. 얻어진 모든 결정립의 정보에 대하여, 하기식을 이용하여, 평균 결정 입경, 표준 편차 및 첨도를 각각 계산했다. 얻어진 평균 결정 입경, 표준 편차 및 첨도는, 냉연 어닐링관의 경우, X<sub>1</sub>, S<sub>1</sub> 및 K<sub>1</sub>이고, 열처리관의 경우, X<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> 및 K<sub>2</sub>이다.

$$\text{평균 결정 입경 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{표준 편차 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

$$\text{첨도 } K = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^4}{S^4} - 3 \frac{(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

- [0232]
- [0233] 상기식 중, n은 결정립의 수, x<sub>i</sub>는 각 결정 입경 데이터(i: 1, 2, ..., n)이다.
- [0234] (피로 특성의 평가)
- [0235] 얻어진 냉연 어닐링관으로부터, 압연 방향을 길이 방향으로 한 인장 피로 시험편(JIS Z2275:1978에 준거한 1호 시험편, b: 15mm, R: 100mm와 동일한 형상)을 채취하고, 피로 시험에 제공했다. 여기에서, 시험편의 단면은 기계 가공에 의해 평활하게 마무리했다. 상기 피로 시험은, 시험 온도: 실온(25℃), 인장-인장(편진(片振)), 응

력비(=최소 응력/최대 응력): 0.1 및 주파수: 20Hz의 조건으로 행하고, 반복수 10<sup>7</sup> 회에 있어서 피로 파단을 일으키지 않는 최대 응력을 피로 한계로서 측정했다. 또한, 시험 결과는, 피로 한계가 500MPa 이상인 경우에 피로 특성이 우수하다고 평가했다.

[0236] (자기 특성의 평가)

[0237] 얻어진 열처리관으로부터, 길이 방향을 압연 방향 및 압연 직각 방향으로 하는, 폭 30mm, 길이 280mm의 자기 측정 시험편을 채취하고, JIS C2550-1:2011에 준거하여, 엡스타인법으로 열처리관의 철손 W<sub>10/400</sub>을 측정했다. W<sub>10/400</sub> ≤ 13.0(W/kg)인 경우에 철손 특성이 좋다고 평가했다.

[0238] 상기의 결과를 표 3에 나타낸다.

표 1

원소	성분 조성(질량%)																				비고										
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Si:Al	Co	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	Cu	NI	Ti	Nb	V		Ta	B	Ga	Pb	Zn	Mo	W	Ge	As	
A	0.0011	2.9	1.35	0.015	0.0017	1.0	0.0018	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.0016	3.3	0.31	0.007	0.0007	0.4	0.0020	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0.0027	2.5	0.92	0.020	0.0039	1.4	0.0028	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0.0011	3.3	0.24	0.005	0.0027	0.5	0.0016	3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0.0028	3.1	1.08	0.016	0.0005	0.4	0.0022	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.0015	3.2	2.78	0.017	0.0016	0.7	0.0027	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	0.0034	3.7	0.88	0.013	0.0027	0.5	0.0029	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0.0029	2.1	0.33	0.017	0.0021	2.3	0.0005	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	0.0012	3.9	0.59	0.007	0.0005	0.5	0.0019	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	0.0008	2.6	0.33	0.006	0.0024	1.3	0.0018	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	0.0061	2.1	0.31	0.006	0.0006	0.4	0.0014	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	0.0008	1.3	0.39	0.007	0.0023	1.3	0.0017	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	0.0008	1.9	0.33	0.006	0.0022	1.3	0.0020	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	0.0008	4.3	0.37	0.006	0.0025	0.1	0.0022	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	0.0012	3.9	0.02	0.008	0.0005	0.5	0.0017	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0.0013	3.9	0.09	0.008	0.0005	0.5	0.0016	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q	0.0010	3.9	3.60	0.007	0.0005	0.5	0.0015	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	0.0014	3.9	5.30	0.006	0.0004	0.5	0.0016	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	0.0024	2.1	0.34	0.014	0.0004	0.003	0.0020	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	0.0022	2.1	0.33	0.018	0.0019	0.014	0.0026	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	0.0024	2.1	0.33	0.019	0.0025	2.3	0.0024	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	0.0029	2.1	0.34	0.013	0.0022	3.1	0.0026	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X	0.0012	3.3	0.25	0.005	0.0029	1.3	0.0018	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	0.0026	3.1	1.13	0.020	0.0006	0.4	0.0023	3.5	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	0.0033	3.1	1.12	0.018	0.0006	0.4	0.0021	3.5	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AA	0.0033	3.2	1.13	0.013	0.0004	0.4	0.0022	3.6	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AB	0.0021	3.1	1.11	0.019	0.0005	0.4	0.0019	3.5	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AC	0.0029	3.1	1.10	0.014	0.0006	0.4	0.0021	3.5	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AD	0.0030	3.0	1.04	0.019	0.0006	0.4	0.0025	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE	0.0033	3.1	1.06	0.013	0.0006	0.4	0.0019	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF	0.0026	3.2	1.09	0.019	0.0005	0.4	0.0023	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

주) 밑줄표는 열팽창률의 외인 것을 나타냄

[0239]

[0240]

(이하서)

성분 조성 (질량%)

라 종	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Si:Al	Co	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	Cu	Ni	Ti	Nb	V	Ta	B	Ga	Pb	Zn	Mb	W	Ge	As	비고		
AG	0.0021	3.1	1.13	0.014	0.0005	0.4	0.0023	3.5	0.0007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AH	0.0027	3.1	1.07	0.018	0.0004	0.4	0.0023	3.5	—	4.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AI	0.0031	3.1	1.13	0.018	0.0005	0.4	0.0025	3.5	—	—	0.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AJ	0.0024	3.1	1.06	0.017	0.0006	0.4	0.0017	3.5	—	—	—	0.069	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AK	0.0034	3.2	1.06	0.013	0.0005	0.4	0.0018	3.6	—	—	—	—	0.080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AL	0.0030	3.2	1.05	0.014	0.0005	0.4	0.0018	3.6	—	—	—	—	—	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AM	0.0022	3.2	1.04	0.012	0.0004	0.4	0.0018	3.6	—	—	—	—	—	—	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AN	0.0011	3.3	0.23	0.006	0.0026	0.5	0.0019	3.8	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AO	0.0012	3.4	0.24	0.004	0.0031	0.5	0.0014	3.9	—	—	—	—	—	—	—	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AP	0.0010	3.3	0.25	0.005	0.0026	0.5	0.0015	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AQ	0.0010	3.3	0.24	0.005	0.0021	0.5	0.0016	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	0.44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AR	0.0011	3.3	0.23	0.006	0.0024	0.5	0.0016	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0011	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AS	0.0008	3.3	0.23	0.006	0.0033	0.5	0.0019	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AT	0.0012	3.2	0.24	0.005	0.0023	0.5	0.0012	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AU	0.0013	3.4	0.23	0.004	0.0031	0.5	0.0013	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0038	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AV	0.0011	3.4	0.24	0.005	0.0032	0.5	0.0019	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0013	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AW	0.0006	3.3	0.24	0.006	0.0020	0.5	0.0020	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0092	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AX	0.0009	3.3	0.24	0.006	0.0021	0.5	0.0014	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0004	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AY	0.0011	3.3	0.24	0.008	0.0021	0.5	0.0019	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0016	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
AZ	0.0012	3.2	0.23	0.005	0.0026	0.5	0.0014	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
BA	0.0011	3.3	0.23	0.004	0.0024	0.5	0.0016	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
BB	0.0009	3.3	0.25	0.004	0.0029	0.5	0.0019	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
BC	0.0011	3.2	0.25	0.005	0.0029	0.5	0.0018	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	적용예		
BD	0.0006	3.4	0.25	0.005	0.0028	0.5	0.0014	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0001	—	—	—	—	—	—	적용예		
BE	0.0010	3.4	0.25	0.004	0.0024	0.5	0.0013	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0015	—	—	—	—	—	—	적용예		
BF	0.0011	3.3	0.23	0.008	0.0024	0.5	0.0017	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0006	—	—	—	—	—	적용예		
BG	0.0009	3.2	0.25	0.005	0.0028	0.5	0.0016	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0044	—	—	—	—	—	적용예		
BH	0.0013	3.2	0.25	0.006	0.0023	0.5	0.0016	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.010	—	—	—	적용예		
BI	0.0013	3.4	0.24	0.005	0.0033	0.5	0.0016	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.048	—	—	—	적용예		
BJ	0.0010	3.3	0.25	0.005	0.0030	0.5	0.0012	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.005	—	—	적용예		
BK	0.0009	3.3	0.25	0.005	0.0025	0.5	0.0018	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.048	—	—	—	적용예	
BL	0.0010	3.4	0.23	0.004	0.0027	0.5	0.0014	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003	적용예	
BM	0.0012	3.3	0.23	0.005	0.0025	0.5	0.0014	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.045	적용예	
BN	0.0013	3.3	0.25	0.006	0.0026	0.5	0.0019	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.006	적용예
BO	0.0011	3.4	0.25	0.004	0.0026	0.5	0.0018	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	적용예

주: 밑줄부는 열량 단위 외인 것을 나타냄

표 2

No.	강종	판두께 [mm]	냉간 압연 공정				어닐링 공정		열처리 공정	비고
			최종 패스의 크기 D [mmφ]	최종 패스의 압하율 r [%]	최종 패스의 변형 속도 [s <sup>-1</sup> ]	압연 종의 파단	승온 속도 V <sub>1</sub> [°C/s]	어닐링 온도 T <sub>2</sub> [°C]	열처리 온도 T <sub>3</sub> [°C]	
1	A	0.25	210	32	470	-	78	770	820	발명예
2	B	0.25	244	22	250	-	59	780	810	발명예
3	C	0.25	209	22	830	-	109	750	870	발명예
4	D	0.25	249	20	540	-	107	790	800	발명예
5	E	0.25	261	21	280	-	77	810	830	발명예
6	F	0.25	263	21	690	-	119	800	870	발명예
7	G	0.25	258	21	830	-	118	790	780	발명예
8	H	0.25	253	23	620	-	74	780	850	발명예
9	I	0.25	214	24	660	-	82	760	820	발명예
10	J	0.25	258	31	620	-	80	770	810	발명예
11	K	0.25	238	22	250	-	57	780	810	발명예
12	L	0.25	257	31	620	-	83	770	810	비교예
13	M	0.25	258	31	620	-	81	770	810	발명예
14	N	0.25	263	31	620	-	83	770	810	발명예
15	O	0.25	213	24	660	-	81	760	820	비교예
16	P	0.25	213	24	660	-	79	760	820	발명예
17	Q	0.25	217	24	660	-	78	760	820	발명예
18	R	0.25	219	24	660	-	79	760	820	비교예
19	T	0.25	251	23	620	-	76	780	850	발명예
20	U	0.25	258	23	620	-	75	780	850	발명예
21	V	0.25	251	23	620	-	76	780	850	발명예
22	W	0.25	252	23	620	-	72	780	850	비교예
23	X	0.25	249	20	540	-	84	790	800	비교예
24	Y	0.25	256	21	280	-	79	810	830	발명예
25	Z	0.25	262	21	280	-	79	810	830	발명예
26	AA	0.25	262	21	280	-	76	810	830	발명예
27	AB	0.25	259	21	280	-	77	810	830	발명예
28	AC	0.25	266	21	280	-	80	810	830	발명예
29	AD	0.25	259	21	280	-	75	810	830	발명예
30	AE	0.25	266	21	280	-	77	810	830	발명예
31	AF	0.25	263	21	280	-	74	810	830	발명예
32	A	0.25	120	32	470	-	74	770	820	비교예
33	A	0.25	165	32	470	-	81	770	820	발명예
34	A	0.25	184	32	470	-	74	770	820	발명예
35	A	0.25	206	9	470	-	76	770	820	비교예
36	A	0.25	207	18	470	-	76	770	820	발명예
37	C	0.25	205	32	80	-	113	750	870	비교예
38	G	0.25	204	22	130	-	109	750	870	발명예
39	C	0.25	212	22	1120	일부 파단	108	750	870	발명예
40	C	0.25	204	22	1450	전량 파단	-	-	-	비교예
41	C	0.25	213	22	830	-	7	750	870	비교예
42	C	0.25	207	22	830	-	28	750	870	발명예
43	C	0.25	214	22	830	-	41	750	870	발명예
44	F	0.25	259	21	690	-	120	680	870	비교예
45	F	0.25	266	21	690	-	123	730	870	발명예
46	F	0.25	257	21	690	-	117	840	870	발명예
47	F	0.25	264	21	690	-	113	880	870	비교예
48	G	0.25	252	21	830	-	119	790	720	비교예
49	G	0.25	252	21	830	-	118	790	770	발명예
50	G	0.25	253	21	830	-	123	790	880	발명예
51	G	0.25	252	21	830	-	117	790	920	비교예

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0241]

(이어서)

No.	과상	판두께 [mm]	냉간 압연 공정				어닐링 공정		열처리 공정	비고
			최종 패시 지름 D [mm ϕ]	최종 패시 하 r [%]	최종 패시 속도 [s <sup>-1</sup> ]	어닐 링 온 도 [°C]	어닐 링 속도 [°C/s]	열처리 온도 T <sub>3</sub> [°C]		
52	AG	0.25	260	21	280	-	74	810	830	발명예
53	AH	0.25	262	21	280	-	75	810	830	발명예
54	AI	0.25	258	21	280	-	79	810	830	발명예
55	AJ	0.25	258	21	280	-	80	810	830	발명예
56	AK	0.25	255	21	280	-	76	810	830	발명예
57	AL	0.25	263	21	280	-	77	810	830	발명예
58	AM	0.25	264	21	280	-	77	810	830	발명예
59	AN	0.25	249	20	540	-	107	790	800	발명예
60	AO	0.25	250	20	540	-	109	790	800	발명예
61	AP	0.25	244	20	540	-	109	790	800	발명예
62	AQ	0.25	250	20	540	-	110	790	800	발명예
63	AR	0.25	255	20	540	-	111	790	800	발명예
64	AS	0.25	255	20	540	-	107	790	800	발명예
65	AT	0.25	249	20	540	-	111	790	800	발명예
66	AU	0.25	244	20	540	-	108	790	800	발명예
67	AV	0.25	244	20	540	-	103	790	800	발명예
68	AW	0.25	248	20	540	-	104	790	800	발명예
69	AX	0.25	251	20	540	-	106	790	800	발명예
70	AY	0.25	254	20	540	-	108	790	800	발명예
71	AZ	0.25	245	20	540	-	109	790	800	발명예
72	BA	0.25	245	20	540	-	102	790	800	발명예
73	BB	0.25	245	20	540	-	110	790	800	발명예
74	BC	0.25	253	20	540	-	109	790	800	발명예
75	BD	0.25	243	20	540	-	104	790	800	발명예
76	BE	0.25	246	20	540	-	104	790	800	발명예
77	BF	0.25	249	20	540	-	106	790	800	발명예
78	BG	0.25	255	20	540	-	112	790	800	발명예
79	BH	0.25	252	20	540	-	112	790	800	발명예
80	BI	0.25	244	20	540	-	112	790	800	발명예
81	BJ	0.25	243	20	540	-	109	790	800	발명예
82	BK	0.25	250	20	540	-	111	790	800	발명예
83	BL	0.25	248	20	540	-	106	790	800	발명예
84	BM	0.25	245	20	540	-	110	790	800	발명예
85	BN	0.25	246	20	540	-	104	790	800	발명예
86	BO	0.25	243	20	540	-	104	790	800	발명예

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0242]

표 3

No.	각종	관 두께 (mm)	냉면 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)				열처리판(제2 무방향성 전자 강판)				피로 항계 $\sigma_{max}$ (MPa)	철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	비고
			평균 결정 $X_1$	입경 $S_1$	표준 편차 $S_1/X_1$	결정 입경 분포의 좁도 $K_1$	평균 결정 $X_2$	입경 $S_2$	표준 편차 $S_2/X_2$	결정 입경 분포의 좁도 $K_2$			
1	A	0.25	18	10.4	0.58	6.16	104	57	0.55	1.13	610	11.2	발명예
2	B	0.25	20	11.6	0.58	1.66	103	58	0.56	0.87	590	12.4	발명예
3	C	0.25	15	9.0	0.60	4.31	122	72	0.59	1.13	630	10.6	발명예
4	D	0.25	22	13.9	0.63	0.61	101	63	0.62	0.50	580	11.9	발명예
5	E	0.25	25	15.0	0.60	0.98	106	60	0.57	0.72	550	12.2	발명예
6	F	0.25	24	13.4	0.56	2.89	122	67	0.55	0.98	570	9.8	발명예
7	G	0.25	21	11.3	0.54	2.40	90	45	0.50	0.92	600	10.5	발명예
8	H	0.25	20	12.4	0.62	0.63	116	71	0.61	0.51	570	10.9	발명예
9	I	0.25	15	9.2	0.61	2.97	100	57	0.57	0.97	670	10.8	발명예
10	J	0.25	17	9.4	0.55	1.01	99	51	0.52	0.65	610	11.4	발명예
11	K	0.25	23	12.2	0.53	1.51	117	66	0.56	0.81	530	12.7	발명예
12	L	0.25	17	9.2	0.54	0.95	97	49	0.50	0.62	540	13.4	비교예
13	M	0.25	19	11.2	0.59	1.00	106	61	0.58	0.66	560	12.7	발명예
14	N	0.25	19	9.7	0.51	0.95	107	55	0.51	0.64	660	9.5	발명예
15	O	0.25	18	10.6	0.59	3.18	119	74	0.62	0.99	640	14.1	비교예
16	P	0.25	17	10.7	0.63	3.21	108	67	0.62	1.01	650	12.6	발명예
17	Q	0.25	17	10.0	0.59	2.70	109	63	0.58	0.90	660	11.9	발명예
18	R	0.25	18	11.0	0.61	2.90	116	73	0.63	1.05	660	13.5	비교예
19	T	0.25	23	15.2	0.66	0.59	131	93	0.71	0.49	530	13.0	발명예
20	U	0.25	20	12.8	0.64	0.66	115	71	0.62	0.49	540	13.0	발명예
21	V	0.25	23	15.0	0.65	0.66	128	88	0.69	0.49	550	12.1	발명예
22	W	0.25	20	11.8	0.59	0.67	115	66	0.57	0.48	570	13.3	비교예
23	X	0.25	23	13.3	0.58	0.60	103	59	0.57	0.47	480	13.6	비교예
24	Y	0.25	27	15.7	0.58	1.06	113	66	0.58	0.77	660	10.0	발명예
25	Z	0.25	25	16.5	0.66	0.90	105	65	0.62	0.72	690	9.8	발명예
26	AA	0.25	27	16.2	0.60	1.04	115	70	0.61	0.69	550	10.1	발명예
27	AB	0.25	28	17.6	0.63	0.93	116	74	0.64	0.78	540	10.1	발명예
28	AC	0.25	26	14.8	0.57	0.96	111	62	0.56	0.78	550	9.7	발명예
29	AD	0.25	29	17.7	0.61	1.01	122	79	0.65	0.78	530	9.8	발명예
30	AE	0.25	26	15.9	0.61	1.06	109	64	0.59	0.77	550	10.4	발명예
31	AF	0.25	29	17.7	0.61	0.91	123	80	0.65	0.78	540	9.6	발명예
32	A	0.25	20	11.0	0.55	22.10	113	63	0.56	3.65	470	13.7	비교예
33	A	0.25	18	9.7	0.54	17.20	104	53	0.51	2.71	520	12.4	발명예
34	A	0.25	18	11.2	0.62	15.70	104	61	0.59	2.23	510	12.4	발명예
35	A	0.25	17	15.0	0.88	20.80	101	83	0.82	4.21	430	13.5	비교예
36	A	0.25	18	12.8	0.71	15.40	103	73	0.71	1.32	520	12.2	발명예
37	C	0.25	14	8.5	0.61	23.10	119	70	0.59	3.73	460	14.2	비교예
38	C	0.25	14	8.0	0.57	16.30	115	62	0.54	2.53	500	12.2	발명예
39	C	0.25	14	8.0	0.57	4.12	114	60	0.53	1.10	710	10.4	발명예
40	C	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	비교예
41	C	0.25	14	11.8	0.94	4.26	114	98	0.86	1.11	470	13.6	비교예
42	C	0.25	16	11.8	0.74	4.10	135	99	0.73	1.17	500	12.3	발명예
43	C	0.25	14	10.1	0.72	4.31	121	87	0.72	1.12	530	12.2	발명예
44	F	0.25	17	13.8	0.81	2.90	137	111	0.81	0.94	490	14.5	비교예
45	F	0.25	15	11.0	0.73	2.79	118	87	0.74	1.02	520	11.9	발명예
46	F	0.25	41	23.3	0.57	2.76	131	77	0.59	0.97	510	10.2	발명예
47	F	0.25	62	35.9	0.58	2.83	115	62	0.54	0.98	420	10.0	비교예
48	G	0.25	23	11.7	0.51	2.60	74	38	0.52	0.83	590	14.8	비교예
49	G	0.25	21	11.6	0.55	2.54	86	44	0.51	0.83	600	12.1	발명예
50	G	0.25	21	10.7	0.51	2.56	129	62	0.48	2.43	600	10.3	발명예
51	G	0.25	21	10.3	0.49	2.16	141	65	0.46	3.22	600	14.2	비교예

주) 밑줄표는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0243]

(이어서)

No.	강종	판 두께 [mm]	냉연 어닐링판(제1 무방향성 전자 강판)				열처리판(제2 무방향성 전자 강판)				피로 한계 $\sigma_{max}$ (MPa)	철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	비고
			평균 결정 입경 $X_1$	표준 편차 $S_1$	$S_1/X_1$	결정 입경 분포의 첨도 $K_1$	평균 결정 입경 $X_2$	표준 편차 $S_2$	$S_2/X_2$	결정 입경 분포의 첨도 $K_2$			
52	AG	0.25	27	15.7	0.58	0.96	105	55.7	0.53	0.74	670	9.6	발명예
53	AH	0.25	25	15.0	0.60	1.02	113	66.7	0.59	0.70	560	9.8	발명예
54	AI	0.25	24	14.2	0.59	0.94	112	61.6	0.55	0.76	540	10.0	발명예
55	AJ	0.25	26	16.4	0.63	0.96	112	69.4	0.62	0.69	540	10.3	발명예
56	AK	0.25	27	15.7	0.58	1.02	112	66.1	0.59	0.69	550	9.5	발명예
57	AL	0.25	23	14.3	0.62	0.94	107	58.9	0.55	0.70	550	10.5	발명예
58	AM	0.25	24	14.4	0.60	1.03	105	62.0	0.59	0.74	550	9.6	발명예
59	AN	0.25	26	16.4	0.63	0.64	104	62.4	0.60	0.50	580	12.3	발명예
60	AO	0.25	24	15.1	0.63	0.58	104	68.6	0.66	0.45	570	11.7	발명예
61	AP	0.25	24	15.8	0.66	0.58	107	63.1	0.59	0.54	570	12.4	발명예
62	AQ	0.25	21	12.6	0.60	0.63	99	57.4	0.58	0.49	570	11.3	발명예
63	AR	0.25	22	14.5	0.66	0.61	86	49.9	0.58	0.51	620	12.5	발명예
64	AS	0.25	20	11.8	0.59	0.56	89	56.1	0.63	0.30	630	12.5	발명예
65	AT	0.25	21	12.8	0.61	0.65	88	51.0	0.58	0.51	620	12.6	발명예
66	AU	0.25	24	15.8	0.66	0.63	95	57.0	0.60	0.48	630	12.5	발명예
67	AV	0.25	21	13.9	0.66	0.57	88	58.1	0.66	0.32	640	12.5	발명예
68	AW	0.25	24	14.9	0.62	0.60	82	53.3	0.65	0.50	640	12.6	발명예
69	AX	0.25	20	11.8	0.59	0.63	82	53.3	0.65	0.49	630	12.6	발명예
70	AY	0.25	24	15.4	0.64	0.62	89	55.2	0.62	0.53	630	12.5	발명예
71	AZ	0.25	21	13.2	0.63	0.57	96	63.4	0.66	0.48	630	12.6	발명예
72	BA	0.25	22	15.0	0.68	0.62	95	61.8	0.65	0.52	640	12.4	발명예
73	BB	0.25	23	13.6	0.59	0.65	90	53.1	0.59	0.53	620	12.6	발명예
74	BC	0.25	24	15.4	0.64	0.60	86	53.3	0.62	0.52	620	12.7	발명예
75	BD	0.25	23	13.8	0.60	0.65	83	55.6	0.67	0.47	640	12.5	발명예
76	BE	0.25	20	13.2	0.66	0.59	94	60.2	0.64	0.51	640	12.5	발명예
77	BF	0.25	20	13.2	0.66	0.60	106	63.6	0.60	0.50	580	12.4	발명예
78	BG	0.25	21	14.3	0.68	0.62	106	70.0	0.66	0.54	570	12.6	발명예
79	BH	0.25	24	14.2	0.59	0.64	84	50.4	0.60	0.55	620	12.7	발명예
80	BI	0.25	23	14.0	0.61	0.63	96	63.4	0.66	0.53	620	12.5	발명예
81	BJ	0.25	22	13.6	0.62	0.63	93	53.9	0.58	0.55	620	12.5	발명예
82	BK	0.25	20	13.4	0.67	0.64	89	52.5	0.59	0.48	620	12.5	발명예
83	BL	0.25	22	14.5	0.66	0.59	94	55.5	0.59	0.53	580	9.8	발명예
84	BM	0.25	20	11.8	0.59	0.64	97	60.1	0.62	0.46	570	10.7	발명예
85	BN	0.25	22	14.7	0.67	0.60	108	64.8	0.60	0.51	590	10.3	발명예
86	BO	0.25	22	13.6	0.62	0.58	108	67.0	0.62	0.45	590	9.9	발명예

주) 밑줄표는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0244]

[0245]

표 3의 결과로부터, 본 발명에 따르는 무방향성 전자 강판은, 모두, 우수한 피로 강도와 우수한 철손 특성을 발휘할 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 냉연 어닐링판을 적층하여 이루어지는 로터 코어와, 동(同) 열처리판을 적층하여 이루어지는 스테이터 코어를 조합하여 얻은, 모터 코어는 우수한 피로 특성을 갖고 있었다.