



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0077595
(43) 공개일자 2025년05월30일

- | | |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) <i>C22C 38/02</i> (2006.01) <i>C21D 8/12</i> (2006.01) <i>C22C 38/00</i> (2006.01) <i>C22C 38/04</i> (2006.01) <i>C22C 38/10</i> (2006.01) <i>C22C 38/18</i> (2006.01) <i>C22C 38/60</i> (2006.01) <i>C23G 1/08</i> (2006.01) <i>H01F 1/147</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류 <i>C22C 38/02</i> (2013.01) <i>C21D 8/1222</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2025-7014743</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2022년10월26일 심사청구일자 2025년05월02일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2025년05월02일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/040034</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2024/089828 국제공개일자 2024년05월02일</p> | <p>(71) 출원인 제이에프이 스틸 가부시킴가이사 일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고</p> <p>(72) 발명자 다나카 타카야키 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시킴가이사 치테키자이산부 나이 오쿠보 토모유키 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시킴가이사 치테키자이산부 나이 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인 이철</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **무방향성 전자 강판 및 그의 제조 방법**

(57) 요약

로터 코어에 적합한 양호한 피로 특성을 갖고, 게다가 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 60 μm 이상 200 μm 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 2.00 이하인, 무방향성 전자 강판이다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/1233 (2013.01)
C22C 38/002 (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, 또한 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 $60\mu\text{m}$ 이상 $200\mu\text{m}$ 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 2.00 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

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 ϕ 이상, 최종 패스의 압하율 r 이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도 $\dot{\epsilon}_m$ 이 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 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, 875℃ 이상 1050℃ 이하의 어닐링 온도 T_2 까지 가열한 후, 냉각하여, 무방향성 전자 강판인 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정

을 구비하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판(electrical steel sheet) 및 그의 제조 방법에 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. 특히, 모터의 구동에 의해 로터 코어의 온도는 100℃~150℃ 정도까지 상승하는 점에서, 로터 코어에 이용되는 전자 강판은 100℃ 부근에서 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 온간 피로 강도는 반드시 향상한다고는 할 수 없는 점이 우려된다. 또한, 특허문헌 1에 개시된 기술에서는, 입성장(grain growth)을 촉진하는 데에 고온에서의 변형 제거 어닐링이 요구되는 점, 그를 위한 설비의 도입에 비용이 드는 점에서, 이미 어닐링 설비를 갖는 일부의 메이커를 제외하고, 경제적 관점에서 기술의 보급이 진해되기 어렵다는 문제가 있다.

[0009] 본 발명은, 상기 종래 기술이 안고 있는 문제점을 감안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, 로터 코어에 적합한 양호한 피로 특성을 갖고, 게다가 스테이터 코어에 적합한 우수한 자기 특성을 갖는 무방향성 전자 강판을 제공

함과 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 강도, 특히 온간 피로 강도가 높고, 게다가 저철손인 무방향성 전자 강판이 얻어지는 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, 또한 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 $60\mu\text{m}$ 이상 $200\mu\text{m}$ 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 2.00 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, [1] 내지 [5] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판.
- [0056] [7] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법으로서,
- [0057] 상기 [1] 내지 [6] 중 어느 것에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연을 실시하여 열연판을 얻는 열간 압연 공정과,
- [0058] 상기 열연판에 산 세정(pickling)을 실시하는 산 세정 공정과,
- [0059] 상기 산 세정이 실시된 상기 열연판에, 최종 패스의 워크 롤 지름 D 가 150mm ϕ 이상, 최종 패스의 압하율 r 이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도 $\dot{\epsilon}_m$ 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하의 조건에서 냉간 압연을 실시하여 냉연판을 얻는 냉간 압연 공정과,
- [0060] 상기 냉연판을, 500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도 V_1 이 10℃/s 이상의 조건에서, 875℃ 이상 1050℃ 이하의 어닐링 온도 T_2 까지 가열한 후, 냉각하여, 무방향성 전자 강판인 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정,
- [0061] 을 구비하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

발명의 효과

- [0062] 본 발명에 의하면, 온간 피로 강도가 높다는 로터 코어에 적합한 특성과, 자기 특성이 우수하다는 스테이터 코어에 적합한 특성을 겸비하는 무방향성 전자 강판을 제공할 수 있다. 따라서, 본 발명의 무방향성 전자 강판을 이용함으로써, 고성능인 모터 코어를 재료 수율 좋게 염가로 제공할 수 있다. 또한, 펀칭 시의 변형에 의한 철 손의 상승을 저감하는 것을 목적으로서, 본 발명의 강판에 변형 제거 어닐링을 실시해도, 상기 효과는 하등 영향을 받지 않는다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0063] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0064] 이하, 본 발명의 상세를, 그의 한정 이유와 함께 설명한다.
- [0065] <무방향성 전자 강판의 성분 조성>

- [0066] 본 발명의 무방향성 전자 강판이 갖는 적합한 성분 조성에 대해서 설명한다. 성분 조성에 있어서의 원소의 함유량의 단위는 모두 「질량%」이지만, 이하, 특별히 언급하지 않는 한 간단히 「%」로 나타낸다.
- [0067] C: 0.01% 이하
- [0068] 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.
- [0069] Si: 2.0% 이상 4.5% 미만
- [0070] 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% 미만으로 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.
- [0071] Mn: 0.05% 이상 5.00% 이하
- [0072] 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.
- [0073] P: 0.1% 이하
- [0074] 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 강판은 매우 고가인 점에서, P 함유량은 0.001% 이상인 것이 바람직하다. P 함유량은, 바람직하게는 0.003% 이상이고, 또한, 바람직하게는 0.08% 이하이다.
- [0075] S: 0.01% 이하
- [0076] 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 강판은 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.
- [0077] Al: 3.0% 이하
- [0078] 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, 강판 표면의 질화(nitriding)를 조장하여, 자기 특성을 열화시키는 경우가 있기 때문에, Al 함유량의 상한은 3.0%로 했다. Al 함유량은, 바람직하게는 2.0% 이하이다.
- [0079] N: 0.0050% 이하
- [0080] 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 강판은 매우 고가인 점에서, N 함유량은 0.0005% 이상인 것이 바람직하다. N 함유량은, 바람직하게는 0.0008% 이상이고, 또한, 바람직하게는 0.0030% 이하이다.
- [0081] Si + Al: 4.5% 미만
- [0082] Si + Al(Si 및 Al의 합계 함유량)을 4.5% 미만으로 하고, 또한, 적절한 조건으로 냉간 압연을 실시함으로써, 냉

연 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도(kurtosis)를 내리는 효과가 있다. 이에 따라, 피로 강도가 상승한다. 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.

- [0083] 일 실시 형태의 전자 강판의 성분 조성에 있어서, 상기 성분 이외의 잔부는, Fe 및 불가피적 불순물이다. 단, 다른 실시 형태의 전자 강판의 성분 조성은, 추가로 요구 특성에 따라서, 상기 성분(원소)에 더하여, 후술하는 원소 중으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 소정량 함유할 수 있다.
- [0084] Co: 0.0005% 이상 0.0050% 이하
- [0085] Co에는, Si+Al 및 냉간 압연 조건의 적절한 제어에 의해 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도가 저하하는 작용을 보장하는 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.
- [0086] Cr: 0.05% 이상 5.00% 이하
- [0087] 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.
- [0088] Ca: 0.001% 이상 0.100% 이하
- [0089] 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.
- [0090] Mg: 0.001% 이상 0.100% 이하
- [0091] 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.
- [0092] REM: 0.001% 이상 0.100% 이하
- [0093] 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.
- [0094] 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.
- [0095] Sn: 0.001% 이상 0.200% 이하
- [0096] 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.
- [0097] Sb: 0.001% 이상 0.200% 이하
- [0098] 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.
- [0099] 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.

- [0100] Cu: 0% 이상 0.5% 이하
- [0101] 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.
- [0102] Ni: 0% 이상 0.5% 이하
- [0103] 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.
- [0104] Ti: 0% 이상 0.005% 이하
- [0105] Ti는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ti는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 어닐링 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.
- [0106] Nb: 0% 이상 0.005% 이하
- [0107] Nb는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Nb는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 어닐링 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.
- [0108] V: 0% 이상 0.010% 이하
- [0109] V는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, V는, 함유량이 0.010%를 초과하면, 어닐링 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.
- [0110] Ta: 0% 이상 0.002% 이하
- [0111] Ta는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ta는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 어닐링 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, Ta를 첨가하는 경우에는, Ta 함유량의 상한을 0.002%로 했다. Ta 함유량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이하이다. 또한, Ta 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0112] B: 0% 이상 0.002% 이하
- [0113] B는, 미세한 질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, B는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 어닐링 공정에 있어서의 입성장성을 열화시켜, 철손의 증가를 초래한다. 따라서, B를 첨가하는 경우에는, B 함유량의 상한을 0.002% 이하로 했다. B 함유량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이하이다. 또한, B 함유량은, 0%라도 좋다.
- [0114] Ga: 0% 이상 0.005% 이하
- [0115] Ga는, 미세한 질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Ga는, 함유량이 0.005%를 초과하면, 어닐링 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.
- [0116] Pb: 0% 이상 0.002% 이하
- [0117] Pb는, 미세한 Pb 입자를 형성하고, 석출 강화에 의해 강판 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시

키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Pb는, 함유량이 0.002%를 초과하면, 어닐링 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.

[0118] Zn: 0% 이상 0.005% 이하

[0119] 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.

[0120] Mo: 0% 이상 0.05% 이하

[0121] Mo는, 미세 탄화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, Mo는, 함유량이 0.05%를 초과하면, 어닐링 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.

[0122] W: 0% 이상 0.05% 이하

[0123] W는, 미세 탄화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통하여 온간 피로 강도를 향상시키기 때문에, 적절히, 첨가할 수 있다. 한편, W는, 함유량이 0.05%를 초과하면, 어닐링 공정에 있어서의 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.

[0124] Ge: 0% 이상 0.05% 이하

[0125] 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.

[0126] As: 0% 이상 0.05% 이하

[0127] 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.

[0128] 이상의 성분 조성에 있어서, 상기한 성분 이외의 잔부는, Fe 및 불가피적 불순물이다.

[0129] <무방향성 전자 강관의 마이크로 조직>

[0130] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강관에 있어서의 마이크로 조직(결정립(crystal grain)의 태양)에 대해서 설명한다.

[0131] (평균 결정 입경 X_1 : 60 μm 이상 200 μm 이하)

[0132] 본 발명자들의 검토에 의하면, 강관 중의 결정립이 미세함으로써, 피로 강도가 향상하는 것이 판명되었다. 즉, 평균 결정 입경 X_1 이 200 μm 이하이면, 온간 피로 강도가 HEV 또는 EV에 적용하는 모터(이하, HEV/EV 모터라고 함)의 로터용 재료로 필요시 되는 값을 만족할 수 있기 때문에, 본 발명의 무방향성 전자 강관에 있어서는, 평균 결정 입경 X_1 을 200 μm 이하로 했다. 여기에서, 온간 피로 강도에 대해서, 로터용 재료로 필요시 되는 값이란, 300MPa 이상이다.

[0133] 한편으로, 평균 결정 입경 X_1 이 과도하게 미세하면, 철손이 상승한다. 그래서, 본 발명의 무방향성 전자 강관에 있어서는, 평균 결정 입경 X_1 을 60 μm 이상으로 했다. 이에 따라, 목표의 철손 특성($W_{10/400} \leq 15.0(W/kg)$)을 달성할 수 있다.

[0134] (결정 입경 분포의 표준 편차 S_1 : 식 (1)을 만족)

[0135] 결정 입경 분포의 표준 편차의 값이 평균 결정 입경에 대하여 큰 경우에는, 철손의 저감에 불리한 과도하게 미

세한 결정립이나 과도하게 조대(coarse)한 결정립이 다수 존재하게 되기 때문에, 철손이 상승한다. 그래서, 본 발명의 무방향성 전자 강관에 있어서는, 철손이 HEV/EV 모터의 스테이터용 재료로 필요시 되는 상기 목표값을 나타내기 위해, 결정 입경 분포의 표준 편차 S_1 이 다음식 (1):

[0136] $S_1/X_1 < 0.75 \dots(1)$

[0137] 을 충족할 수 있게 했다. 또한, 본 발명의 무방향성 전자 강관은, 결정 입경 분포의 표준 편차 S_1 이 다음식 (1')

[0138] $S_1/X_1 < 0.70 \dots(1')$

[0139] 를 충족하는 것이 바람직하다.

[0140] (결정 입경 분포의 첨도 K_1 : 2.00 이하)

[0141] 본 발명자들은, 결정 입경 분포의 첨도를 제어함으로써, 온간 피로 강도가 높고, 또한 저철손의 무방향성 전자 강관을 실현할 수 있는 것을 발견했다. 결정 입경 분포의 첨도를, 전술한 결정 입경 분포의 표준 편차 S_1 과 동시에 제어함으로써 이러한 효과를 얻을 수 있다.

[0142] 여기에서, 첨도란, JISZ8101-1:2015에 있어서의 (표본) 뾰족함에 상당하고, 분포의 끝 부분의 무게에 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 조대한 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 쉽다. 100℃ 정도의 온간의 조건에서는 변형 집중부가 변형 시효에 의해 경질화하여, 조직 중에서 경도의 불균일이 증강되는 점에서, 특히 100℃ 정도의 온간 피로 특성을 열화시킨다. 또한, 극단적으로 조대한 결정립은 와전류손(eddy current loss)의 증가를 유발하고, 극단적으로 미세한 결정립은 히스테리시스손(hysteresis loss)의 증가를 유발하기 때문에, 강관 전체적으로 철손 특성을 열화시킨다. 구체적으로는, 결정 입경 분포의 첨도 K_1 이 2.00 이하이면, 극단적으로 조대한 결정립이나 극단적으로 미세한 결정립의 존재 빈도가 충분히 작아, 피로 한계가 HEV/EV 모터의 로터용 재료로 필요시 되는 상기 값을 만족함과 함께, 철손이 HEV/EV 모터의 스테이터용 재료로 필요시되는, 상기 값을 나타내게 된다. 이 때문에, 본 발명의 무방향성 전자 강관에 있어서는, 결정 입경 분포의 첨도 K_1 을 2.00 이하로 했다. 결정 입경 분포의 첨도 K_1 은, 바람직하게는 1.50 이하, 보다 바람직하게는 1.00 이하이다. 또한, 상기 첨도 K_1 의 하한은, 특별히 한정할 필요는 없지만, 본 발명의 수법을 구사하여 제조한 경우에 있어서도 통상 0 이상이다.

[0143] 또한, 첨도 K_1 은, 후술의 실시예에 기재하는 순서에 따라 구할 수 있고, 정규 분포의 값을 0으로 조정된 공식을 이용하여 산출한 값이다.

[0144] <모터 코어>

[0145] 모터 코어는, 상기의 무방향성 전자 강관의 적층체인 로터 코어와, 상기의 무방향성 전자 강관의 적층체인 스테이터 코어에 의해 형성할 수 있다. 당해 모터 코어는, 로터 코어는 온간 피로 강도가 높고, 또한 스테이터 코어는 자기 특성이 우수한 점에서, 소형화 또한 고출력화를 용이하게 실현할 수 있다.

[0146] <무방향성 전자 강관의 제조 방법>

[0147] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강관의 제조 방법에 대해서 설명한다.

[0148] 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 무방향성 전자 강관을 얻을 수 있다. 본 발명에 있어서는, 강 소재의 성분 조성, 냉간 압연 공정 및, 어닐링 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.

- [0149] (강 소재)
- [0150] 강 소재는, 무방향성 전자 강관에 대해서 이미 서술한 성분 조성을 갖는 강 소재이면, 특별히 한정되지 않는다.
- [0151] 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.
- [0152] (열간 압연 공정)
- [0153] 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.
- [0154] 상용의 열간 압연 공정으로서, 예를 들면, 강 소재를 1000℃ 이상 1200℃ 이하의 온도로 가열하고, 가열한 강 소재에, 800℃ 이상 950℃ 이하의 마무리 압연 출측 온도에서 열간 압연을 실시하고, 열간 압연이 종료한 후, 적정한 압연 후 냉각(예를 들면, 450℃ 이상 950℃ 이하의 온도역율, 20℃/s 이상 100℃/s 이하의 평균 냉각 속도로 냉각함)을 실시하고, 400℃ 이상 700℃ 이하의 권취 온도에서 권취하여, 소정 치수 형상의 열연판으로 하는, 열간 압연 공정을 들 수 있다.
- [0155] (열연판 어닐링 공정)
- [0156] 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.
- [0157] (산 세정 공정)
- [0158] 산 세정 공정은, 상기 열간 압연 공정 또는 임의의 상기 열연판 어닐링 공정 후의 열연판에, 산 세정을 실시하는 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 열연판 어닐링 공정을 행하는 경우에는, 당해 열연판 어닐링 공정과 동일 라인 내에서 연속하여 실시해도 좋고, 별도 라인에서 실시해도 좋다.
- [0159] (냉간 압연 공정)
- [0160] 냉간 압연 공정은, 상기 산 세정이 실시된 열연판(산 세정판)에, 냉간 압연을 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 냉간 압연 공정에서는, 상기 산 세정이 실시된 열연판에, 최종 패스의 워크 롤 지름 D가 150mmφ 이상, 최종 패스의 압하율(rolling reduction) r이 15% 이상 및, 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 이 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하의 조건으로 냉간 압연을 실시함으로써, 냉연판을 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 냉연판으로 해도 좋다. 이 경우의 중간 어닐링의 조건으로서, 특별히 한정되지 않고, 상용의 중간 어닐링 공정을 적용할 수 있다.
- [0161] [최종 패스의 워크 롤 지름 D: 150mmφ 이상]
- [0162] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 워크 롤 지름 D는 150mmφ 이상으로 한다. 최종 패스의 워크 롤 지름 D를 150mmφ 이상으로 한 이유는, 얻어지는 무방향성 전자 강관에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도 K₁을 2.00 이하로 하여, 소망하는 강관 조직을 형성하기 위함이다.
- [0163] 최종 패스의 워크 롤 지름 D가 150mmφ보다 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, 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도가 커진다.
- [0164] 한편, 최종 패스의 워크 롤 지름 D가 150mmφ 이상인 경우에는, 후술하는 어닐링 공정 후에 있어서 결정 입경 분포의 첨도 K₁은 2.00 이하가 된다. 그 결과, 소망하는 강관 조직을 얻을 수 있다.
- [0165] 최종 패스의 워크 롤 지름 D는, 바람직하게는 170mmφ 이상이고, 보다 바람직하게는 200mmφ 이상이다. 또한,

최종 패스의 워크 롤 지름 D의 상한은, 특별히 한정되지 않지만, 과도하게 롤 지름이 큰 경우에는 압연 하중이 증대하기 때문에, 700mmφ 이하인 것이 바람직하다.

[0166] [최종 패스의 압하율 r: 15% 이상]

[0167] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 압하율 r은 15% 이상으로 한다. 최종 패스의 압하율 r을 15% 이상으로 한 이유는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과를 얻어, 소망하는 강판 조직을 형성하기 위함이다.

[0168] 최종 패스의 압하율 r이 15% 미만인 경우에는, 압하율이 지나치게 낮기 때문에, 어닐링 후의 조직을 제어하는 것이 어려워진다. 한편, 최종 패스의 압하율 r이 15% 이상인 경우에는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과가 발휘된다. 그 결과, 소망하는 강판 조직을 얻을 수 있다.

[0169] 최종 패스의 압하율 r은, 바람직하게는 20% 이상이다. 또한, 최종 패스의 압하율 r의 상한은, 특별히 한정되지 않지만, 지나치게 높은 압하율은 다대한 장치 능력을 요구하고, 또한 냉연판의 형상 제어도 어려워지는 점에서, 최종 패스의 압하율 r은 통상 50% 이하이다.

[0170] [최종 패스의 변형 속도 ϵ_m : 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하]

[0171] 냉간 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 은 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하로 한다. 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 을 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하로 한 이유는, 압연 중의 파단을 억제하면서, 얻어지는 무방향성 전자 강판에 있어서의 결정 입경 분포의 첨도 K₁을 2.00 이하로 하여, 소망하는 강판 조직을 형성하기 위함이다.

[0172] 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 이 100s⁻¹ 미만인 경우에는, 냉연판의 결정립 단위로의 전단 변형의 불균일성이 증가되고, 계속되는 어닐링 공정에 있어서의 핵 생성 및 입성장의 장소 의존성이 강조되기 때문에, 어닐링판의 결정 입경 분포의 첨도 K₁이 커진다. 이 이유는 반드시 명확하지는 않지만, 발명자들은 변형 속도 ϵ_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 ϵ_m 이 1300s⁻¹ 초과인 경우에는, 유동 응력이 과도하게 증대하여, 압연 중의 취성 파단이 생기기 쉬워진다.

[0173] 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 이 100s⁻¹ 이상 1300s⁻¹ 이하인 경우에는, 압연 중의 파단을 억제하면서, 후술하는 어닐링 공정 후에 있어서 결정 입경 분포의 첨도 K₁이 2.00 이하가 된다. 그 결과, 소망하는 강판 조직을 얻을 수 있다.

[0174] 최종 패스의 변형 속도 ϵ_m 은, 바람직하게는 150s⁻¹ 이상이고, 또한, 바람직하게는 1000s⁻¹ 이하이다.

[0175] 또한, 냉간 압연 시의 각 패스에 있어서의 변형 속도 ϵ_m 은, 하기의 Ekelund의 근사식을 이용하여 도출했다.

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

[0176]

[0177] 여기에서, v_R은 롤 주속도(mm/s), R'는 롤 반경(mm), h₁은 롤 입측 관두께(mm), r은 압하율(%)이다.

[0178] (어닐링 공정)

[0179] 어닐링 공정은, 냉간 압연 공정을 거친 냉연판에, 어닐링을 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 어닐링 공정에서는, 냉간 압연 공정을 거친 냉연판을, 500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도 V₁이 10℃/s 이상의 조건에서, 875℃ 이상 1050℃ 이하의 어닐링 온도 T₂까지 가열한 후, 냉각하여, 냉연 어닐링판(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.

- [0180] [500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도 V_1 : 10℃/s 이상]
- [0181] 어닐링 공정에 있어서, 500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도 V_1 은 10℃/s 이상으로 한다. 평균 승온 속도 V_1 을 10℃/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.
- [0182] 평균 승온 속도 V_1 이 10℃/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.
- [0183] 한편, 평균 승온 속도 V_1 이 10℃/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.
- [0184] 500℃로부터 700℃의 평균 승온 속도 V_1 은, 바람직하게는 20℃/s 이상이고, 보다 바람직하게는 50℃/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℃/s 이하인 것이 바람직하다.
- [0185] [어닐링 온도 T_2 : 875℃ 이상 1050℃ 이하]
- [0186] 어닐링 공정에 있어서, 어닐링 온도 T_2 는 875℃ 이상 1050℃ 이하로 한다. 어닐링 온도 T_2 를 875℃ 이상 1050℃ 이하로 한 이유는, 다음과 같다.
- [0187] 어닐링 온도 T_2 가 875℃ 미만인 경우에는, 재결정립이 충분히 입성장하지 않고, 얻어지는 무방향성 전자 강판에 있어서의 평균 결정 입경 X_1 을 60 μ m 이상으로 할 수 없다. 한편, 어닐링 온도 T_2 가 875℃ 이상인 경우에는, 충분한 입성장이 생겨 평균 결정 입경을 60 μ m 이상으로 할 수 있고, 소망하는 강판 조직을 얻을 수 있다. 어닐링 온도 T_2 는, 바람직하게는, 900℃ 이상이다.
- [0188] 한편, 어닐링 온도 T_2 가 1050℃ 초과인 경우에는, 재결정립이 과도하게 성장하여, 평균 결정 입경 X_1 을 200 μ m 이하로 할 수 없다. 따라서, 어닐링 온도 T_2 는 1050℃ 이하로 한다. 어닐링 온도 T_2 는, 바람직하게는 1025℃ 이하이다.
- [0189] 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.
- [0190] 실시예
- [0191] 이하에 실시예를 들어 본 발명을 구체적으로 설명한다. 단, 본 발명은 이들에 한정되지 않는다.
- [0192] <냉연 어닐링판(무방향성 전자 강판)의 제조>
- [0193] 표 1에 나타내는 성분 조성을 갖는 용강을, 통상 공지의 수법에 의해 용제하고, 연속 주조하여 두께 230mm의 슬래브(강 소재)로 했다.
- [0194] 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.
- [0195] 얻어진 냉연판에, 표 2에 나타내는 조건으로 어닐링을 실시하고, 이어서 공지의 수법에 의해 코팅을 실시하여, 냉연 어닐링판(무방향성 전자 강판)을 얻었다.
- [0196] <평가>
- [0197] (마이크로 조직의 관찰)
- [0198] 얻어진 냉연 어닐링판으로부터 조직 관찰용의 시험편을 채취했다. 이어서, 채취한 시험편을, 압연면(ND면)에서, 판두께가 1/4에 상당하는 위치가 관찰면이 되도록, 화학 연마에 의해 두께를 줄여 경면화했

다. 경면화한 관찰면에 대하여, 전자선 후방 산란 회절(EBSD) 측정을 실시하여, 국소 방위 데이터를 얻었다. 이 때, 스텝 사이즈: 10 μ m, 측정 영역: 100mm² 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.

[0199] 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 98% 이상이었다.

[0200] 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.

[0201] 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_i)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, X₁, S₁ 및 K₁이다.

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

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

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

[0202]

[0203] 상기식 중, n은 결정립의 수, x_i는 각 결정 입경 데이터(i: 1, 2, ..., n)이다.

[0204] (온간 피로 강도의 평가)

[0205] 얻어진 냉연 어닐링판으로부터, 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: 100℃, 인장-인장(편진(片振)), 응력비 (=최소 응력/최대 응력): 0.1 및 주파수: 20Hz의 조건으로 행하고, 반복수 10⁷회에 있어서 피로 파단을 일으키지 않는 최대 응력을 온간 피로 한계로 했다. 온간 피로 한계가 300MPa 이상인 경우에 온간 피로 강도가 우수하다고 평가했다.

[0206] (자기 특성(magnetic property)의 평가)

[0207] 얻어진 어닐링판으로부터, 길이 방향을 압연 방향 및 압연 직각 방향으로 하는, 폭 30mm, 길이 280mm의 자기 측정용 시험편을 채취하고, JIS C2550-1:2011에 준거하여, 엡스타인법으로 열처리판의 철손 W_{10/400}을 측정했다. W_{10/400} ≤ 15.0(W/kg)인 경우에 철손 특성이 좋다고 평가했다.

[0208] 상기의 결과를, 표 3에 나타낸다.

표 1

| 강종 | 상분 조성 (질량%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 비고 | | | | | | | | | |
|----|-------------|-----|------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-----|-------|-------|-------|------|------|----|----|----|----|---|----|----|---|----|----|----|----|---|----|----|
| | C | Si | Mn | P | S | Al | N | Si+Al | Cc | 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 | 0.0025 | 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| I | 0.0012 | 3.9 | 0.58 | 0.007 | 0.0005 | 0.5 | 0.0019 | 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| J | 0.0008 | 2.6 | 0.38 | 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 | 0.38 | 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 | 0.92 | 0.008 | 0.0005 | 0.5 | 0.0017 | 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P | 0.0013 | 3.9 | 0.08 | 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 | 0.0024 | 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 | 0.0028 | 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 | 0.0028 | 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 | — | — | — | — | 0.012 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| AE | 0.0033 | 3.1 | 1.06 | 0.013 | 0.0006 | 0.4 | 0.0019 | 3.5 | — | — | — | — | — | 0.05 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| AF | 0.0026 | 3.2 | 1.08 | 0.019 | 0.0005 | 0.4 | 0.0023 | 3.6 | — | — | — | — | — | — | 0.03 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

주) 열출부는 열량 범위 외인 것을 나타냄

[0209]

[0210]

(이하에서)

성분 조성 [질량%]

| 강종 | C | Si | Mn | P | S | Al | N | Si+Al | Co | Cu | Cs | Mg | REM | Sn | Sb | Cu | Ni | Ti | Nb | V | Ta | B | Ga | Pb | Zn | Mo | W | Gc | As | 비고 | |
|----|--------|-----|------|-------|--------|-----|--------|-------|--------|-----|-------|-------|-------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|-------|-------|---|-------|----|-------|-----|
| AG | 0.0021 | 3.1 | 1.13 | 0.014 | 0.0005 | 0.4 | 0.0023 | 3.5 | 0.0007 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AH | 0.0027 | 3.1 | 1.07 | 0.018 | 0.0004 | 0.4 | 0.0023 | 3.5 | - | 4.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AI | 0.0031 | 3.1 | 1.13 | 0.018 | 0.0005 | 0.4 | 0.0025 | 3.5 | - | - | 0.002 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AJ | 0.0024 | 3.1 | 1.06 | 0.017 | 0.0006 | 0.4 | 0.0017 | 3.5 | - | - | - | 0.039 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AK | 0.0034 | 3.2 | 1.06 | 0.013 | 0.0005 | 0.4 | 0.0018 | 3.6 | - | - | - | - | 0.080 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AL | 0.0030 | 3.2 | 1.05 | 0.014 | 0.0005 | 0.4 | 0.0018 | 3.6 | - | - | - | - | - | 0.19 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AM | 0.0022 | 3.2 | 1.04 | 0.012 | 0.0004 | 0.4 | 0.0018 | 3.6 | - | - | - | - | - | - | 0.16 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AN | 0.0011 | 3.3 | 0.23 | 0.006 | 0.0026 | 0.5 | 0.0015 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | 0.04 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AO | 0.0012 | 3.4 | 0.24 | 0.004 | 0.0031 | 0.5 | 0.0014 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | 0.46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AP | 0.0010 | 3.3 | 0.25 | 0.005 | 0.0026 | 0.5 | 0.0015 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | 0.03 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AQ | 0.0010 | 3.3 | 0.24 | 0.005 | 0.0021 | 0.5 | 0.0016 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | 0.44 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AR | 0.0011 | 3.3 | 0.23 | 0.006 | 0.0024 | 0.5 | 0.0016 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0011 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AS | 0.0008 | 3.3 | 0.23 | 0.006 | 0.0033 | 0.5 | 0.0019 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0047 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AT | 0.0012 | 3.2 | 0.24 | 0.005 | 0.0023 | 0.5 | 0.0012 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AU | 0.0013 | 3.4 | 0.23 | 0.004 | 0.0031 | 0.5 | 0.0013 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0038 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AV | 0.0011 | 3.4 | 0.24 | 0.005 | 0.0032 | 0.5 | 0.0019 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0013 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AW | 0.0008 | 3.3 | 0.24 | 0.006 | 0.0020 | 0.5 | 0.0020 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0092 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AX | 0.0009 | 3.3 | 0.24 | 0.006 | 0.0021 | 0.5 | 0.0014 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0004 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AY | 0.0011 | 3.3 | 0.24 | 0.006 | 0.0021 | 0.5 | 0.0019 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| AZ | 0.0012 | 3.2 | 0.23 | 0.005 | 0.0026 | 0.5 | 0.0014 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0003 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BA | 0.0011 | 3.3 | 0.23 | 0.004 | 0.0024 | 0.5 | 0.0016 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0022 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BB | 0.0009 | 3.3 | 0.25 | 0.004 | 0.0029 | 0.5 | 0.0019 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0001 | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BC | 0.0011 | 3.2 | 0.25 | 0.005 | 0.0029 | 0.5 | 0.0018 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0047 | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BD | 0.0009 | 3.4 | 0.25 | 0.005 | 0.0028 | 0.5 | 0.0014 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0001 | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BE | 0.0010 | 3.4 | 0.25 | 0.004 | 0.0024 | 0.5 | 0.0013 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0015 | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BF | 0.0011 | 3.3 | 0.23 | 0.006 | 0.0024 | 0.5 | 0.0017 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0006 | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BG | 0.0009 | 3.2 | 0.25 | 0.005 | 0.0028 | 0.5 | 0.0016 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.0044 | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BH | 0.0013 | 3.2 | 0.25 | 0.006 | 0.0023 | 0.5 | 0.0016 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.010 | - | - | - | - | 적용해 | |
| BI | 0.0013 | 3.4 | 0.24 | 0.005 | 0.0033 | 0.5 | 0.0016 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.048 | - | - | - | - | 적용해 | |
| BJ | 0.0010 | 3.3 | 0.25 | 0.005 | 0.0030 | 0.5 | 0.0012 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.005 | - | - | - | 적용해 | |
| BK | 0.0009 | 3.3 | 0.25 | 0.005 | 0.0025 | 0.5 | 0.0018 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 적용해 | |
| BL | 0.0010 | 3.4 | 0.23 | 0.004 | 0.0027 | 0.5 | 0.0014 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.003 | - | 적용해 | |
| BM | 0.0012 | 3.3 | 0.23 | 0.005 | 0.0025 | 0.5 | 0.0014 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.045 | - | 적용해 | |
| BN | 0.0013 | 3.3 | 0.25 | 0.006 | 0.0026 | 0.5 | 0.0019 | 3.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.006 | 적용해 |
| BO | 0.0011 | 3.4 | 0.25 | 0.004 | 0.0026 | 0.5 | 0.0018 | 3.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.041 | 적용해 |

주) 괄호부는 합명 범위 외인 것을 나타냄

표 2

| No. | 간종 | 판 두께 [mm] | 냉간 압연 공정 | | | | 어닐링 공정 | | 비고 |
|-----|----|-----------|-------------------|--------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|-----|
| | | | 최종 패스의 직경 D [mmφ] | 최종 압하율 r [%] | 최종 패스의 변형 속도 [s ⁻¹] | 압연 중의 압연 파단 | 승온 속도 V ₁ [°C/s] | 어닐링 온도 T ₂ [°C] | |
| 1 | A | 0.25 | 230 | 31 | 460 | - | 68 | 920 | 발명예 |
| 2 | B | 0.25 | 202 | 26 | 740 | - | 76 | 990 | 발명예 |
| 3 | C | 0.25 | 237 | 31 | 500 | - | 95 | 930 | 발명예 |
| 4 | D | 0.25 | 232 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 5 | E | 0.25 | 223 | 27 | 730 | - | 88 | 990 | 발명예 |
| 6 | F | 0.25 | 285 | 23 | 770 | - | 75 | 910 | 발명예 |
| 7 | G | 0.25 | 206 | 25 | 810 | - | 71 | 950 | 발명예 |
| 8 | H | 0.25 | 211 | 30 | 450 | - | 56 | 980 | 발명예 |
| 9 | I | 0.25 | 258 | 24 | 680 | - | 104 | 1020 | 발명예 |
| 10 | J | 0.25 | 220 | 29 | 1000 | - | 108 | 950 | 발명예 |
| 11 | K | 0.25 | 201 | 26 | 740 | - | 76 | 990 | 발명예 |
| 12 | L | 0.25 | 221 | 29 | 1000 | - | 104 | 950 | 비교예 |
| 13 | M | 0.25 | 221 | 29 | 1000 | - | 113 | 950 | 발명예 |
| 14 | N | 0.25 | 220 | 29 | 1000 | - | 110 | 950 | 발명예 |
| 15 | Q | 0.25 | 254 | 24 | 680 | - | 107 | 1020 | 비교예 |
| 16 | P | 0.25 | 253 | 24 | 680 | - | 102 | 1020 | 발명예 |
| 17 | Q | 0.25 | 260 | 24 | 680 | - | 101 | 1020 | 발명예 |
| 18 | R | 0.25 | 254 | 24 | 680 | - | 104 | 1020 | 비교예 |
| 19 | T | 0.25 | 208 | 30 | 450 | - | 54 | 980 | 발명예 |
| 20 | U | 0.25 | 210 | 30 | 450 | - | 57 | 980 | 발명예 |
| 21 | V | 0.25 | 213 | 30 | 450 | - | 56 | 980 | 발명예 |
| 22 | W | 0.25 | 210 | 30 | 450 | - | 57 | 980 | 비교예 |
| 23 | X | 0.25 | 238 | 23 | 340 | - | 104 | 960 | 비교예 |
| 24 | Y | 0.25 | 218 | 27 | 730 | - | 86 | 990 | 발명예 |
| 25 | Z | 0.25 | 224 | 27 | 730 | - | 92 | 990 | 발명예 |
| 26 | AA | 0.25 | 219 | 27 | 730 | - | 92 | 990 | 발명예 |
| 27 | AB | 0.25 | 219 | 27 | 730 | - | 92 | 990 | 발명예 |
| 28 | AC | 0.25 | 223 | 27 | 730 | - | 92 | 990 | 발명예 |
| 29 | AD | 0.25 | 218 | 27 | 730 | - | 86 | 990 | 발명예 |
| 30 | AE | 0.25 | 227 | 27 | 730 | - | 89 | 990 | 발명예 |
| 31 | AF | 0.25 | 227 | 27 | 730 | - | 84 | 990 | 발명예 |
| 32 | A | 0.25 | 135 | 31 | 460 | - | 67 | 920 | 비교예 |
| 33 | A | 0.25 | 158 | 31 | 460 | - | 68 | 920 | 발명예 |
| 34 | A | 0.25 | 169 | 31 | 460 | - | 70 | 920 | 발명예 |
| 35 | A | 0.25 | 235 | 12 | 460 | - | 71 | 920 | 비교예 |
| 36 | A | 0.25 | 234 | 17 | 460 | - | 70 | 920 | 발명예 |
| 37 | C | 0.25 | 236 | 31 | 90 | - | 95 | 930 | 비교예 |
| 38 | C | 0.25 | 235 | 31 | 120 | - | 96 | 930 | 발명예 |
| 39 | C | 0.25 | 237 | 31 | 1090 | 일부 파단 | 97 | 930 | 발명예 |
| 40 | C | 0.25 | 237 | 31 | 1360 | 전량 파단 | - | - | 비교예 |
| 41 | C | 0.25 | 234 | 31 | 500 | - | 9 | 930 | 비교예 |
| 42 | C | 0.25 | 243 | 31 | 500 | - | 16 | 930 | 발명예 |
| 43 | C | 0.25 | 242 | 31 | 500 | - | 39 | 930 | 발명예 |
| 44 | F | 0.25 | 291 | 23 | 770 | - | 72 | 870 | 비교예 |
| 45 | F | 0.25 | 283 | 23 | 770 | - | 77 | 890 | 발명예 |
| 46 | F | 0.25 | 292 | 23 | 770 | - | 78 | 1030 | 발명예 |
| 47 | F | 0.25 | 278 | 23 | 770 | - | 73 | 1060 | 비교예 |

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0211]

(이어서)

| No. | 강종 | 판 두께 [mm] | 냉간 압연 공정 | | | | 어닐링 공정 | | 비고 |
|-----|----|-----------|------------------------|------------------|---------------------------------|----------|-----------------------------|----------------------------|-----|
| | | | 최종 패스의 워크 롤 지름 D [mmφ] | 최종 패스의 압하율 r [%] | 최종 패스의 변형 속도 [s ⁻¹] | 압연 종의 파단 | 승온 속도 V ₁ [°C/s] | 어닐링 온도 T ₂ [°C] | |
| 48 | AG | 0.25 | 221 | 27 | 730 | - | 84 | 990 | 발명예 |
| 49 | AH | 0.25 | 221 | 27 | 730 | - | 92 | 990 | 발명예 |
| 50 | AI | 0.25 | 227 | 27 | 730 | - | 85 | 990 | 발명예 |
| 51 | AJ | 0.25 | 221 | 27 | 730 | - | 88 | 990 | 발명예 |
| 52 | AK | 0.25 | 218 | 27 | 730 | - | 90 | 990 | 발명예 |
| 53 | AL | 0.25 | 225 | 27 | 730 | - | 86 | 990 | 발명예 |
| 54 | AM | 0.25 | 223 | 27 | 730 | - | 86 | 990 | 발명예 |
| 55 | AN | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 56 | AO | 0.25 | 228 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 57 | AP | 0.25 | 229 | 23 | 340 | - | 92 | 960 | 발명예 |
| 58 | AQ | 0.25 | 238 | 23 | 340 | - | 85 | 960 | 발명예 |
| 59 | AR | 0.25 | 232 | 23 | 340 | - | 85 | 960 | 발명예 |
| 60 | AS | 0.25 | 233 | 23 | 340 | - | 85 | 960 | 발명예 |
| 61 | AT | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 87 | 960 | 발명예 |
| 62 | AU | 0.25 | 228 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 63 | AV | 0.25 | 238 | 23 | 340 | - | 87 | 960 | 발명예 |
| 64 | AW | 0.25 | 237 | 23 | 340 | - | 84 | 960 | 발명예 |
| 65 | AX | 0.25 | 232 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 66 | AY | 0.25 | 235 | 23 | 340 | - | 92 | 960 | 발명예 |
| 67 | AZ | 0.25 | 230 | 23 | 340 | - | 90 | 960 | 발명예 |
| 68 | BA | 0.25 | 232 | 23 | 340 | - | 89 | 960 | 발명예 |
| 69 | BB | 0.25 | 236 | 23 | 340 | - | 90 | 960 | 발명예 |
| 70 | BC | 0.25 | 237 | 23 | 340 | - | 84 | 960 | 발명예 |
| 71 | BD | 0.25 | 231 | 23 | 340 | - | 89 | 960 | 발명예 |
| 72 | BE | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 89 | 960 | 발명예 |
| 73 | BF | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 89 | 960 | 발명예 |
| 74 | BG | 0.25 | 235 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 75 | BH | 0.25 | 235 | 23 | 340 | - | 91 | 960 | 발명예 |
| 76 | BI | 0.25 | 238 | 23 | 340 | - | 85 | 960 | 발명예 |
| 77 | BJ | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 90 | 960 | 발명예 |
| 78 | BK | 0.25 | 232 | 23 | 340 | - | 87 | 960 | 발명예 |
| 79 | BL | 0.25 | 233 | 23 | 340 | - | 88 | 960 | 발명예 |
| 80 | BM | 0.25 | 227 | 23 | 340 | - | 91 | 960 | 발명예 |
| 81 | BN | 0.25 | 235 | 23 | 340 | - | 85 | 960 | 발명예 |
| 82 | BO | 0.25 | 226 | 23 | 340 | - | 89 | 960 | 발명예 |

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0212]

표 3

| No. | 냉연 어닐링판(무방향성 전자 강판) | | | | 온간 피로 한계 σ_{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 정도 K_1 | | | |
| 1 | 75 | 41.3 | 0.55 | 0.16 | 440 | 12.7 | 발명예 |
| 2 | 93 | 61.4 | 0.66 | 0.24 | 410 | 12.2 | 발명예 |
| 3 | 94 | 63.0 | 0.67 | 0.36 | 400 | 11.1 | 발명예 |
| 4 | 116 | 75.4 | 0.65 | 0.35 | 380 | 12.8 | 발명예 |
| 5 | 92 | 48.8 | 0.53 | 0.55 | 410 | 13.1 | 발명예 |
| 6 | 74 | 42.2 | 0.57 | 0.10 | 460 | 9.7 | 발명예 |
| 7 | 109 | 73.0 | 0.67 | 0.05 | 400 | 10.9 | 발명예 |
| 8 | 106 | 57.2 | 0.54 | 0.28 | 360 | 12.3 | 발명예 |
| 9 | 148 | 79.9 | 0.54 | 0.29 | 360 | 10.5 | 발명예 |
| 10 | 86 | 52.5 | 0.61 | 0.52 | 410 | 11.5 | 발명예 |
| 11 | 113 | 78.0 | 0.69 | 0.24 | 340 | 14.6 | 발명예 |
| 12 | 92 | 58.0 | 0.63 | 0.41 | 350 | 15.3 | 비교예 |
| 13 | 103 | 62.8 | 0.61 | 0.46 | 360 | 14.3 | 발명예 |
| 14 | 104 | 68.6 | 0.66 | 0.41 | 430 | 11.9 | 발명예 |
| 15 | 121 | 65.3 | 0.54 | 0.26 | 390 | 15.9 | 비교예 |
| 16 | 99 | 54.5 | 0.55 | 0.33 | 420 | 14.2 | 발명예 |
| 17 | 97 | 53.4 | 0.55 | 0.26 | 430 | 13.5 | 발명예 |
| 18 | 128 | 73.0 | 0.57 | 0.25 | 390 | 16.0 | 비교예 |
| 19 | 89 | 50.7 | 0.57 | 0.34 | 370 | 14.9 | 발명예 |
| 20 | 93 | 49.3 | 0.53 | 0.25 | 360 | 14.9 | 발명예 |
| 21 | 100 | 57.0 | 0.57 | 0.31 | 380 | 14.2 | 발명예 |
| 22 | 118 | 61.4 | 0.52 | 0.26 | 350 | 15.5 | 비교예 |
| 23 | 97 | 63.1 | 0.65 | 2.16 | 270 | 15.9 | 비교예 |
| 24 | 136 | 74.8 | 0.55 | 0.65 | 450 | 10.5 | 발명예 |
| 25 | 87 | 42.6 | 0.49 | 0.54 | 460 | 11.7 | 발명예 |
| 26 | 114 | 61.6 | 0.54 | 0.45 | 380 | 9.7 | 발명예 |
| 27 | 90 | 45.0 | 0.50 | 0.50 | 410 | 10.9 | 발명예 |
| 28 | 92 | 50.6 | 0.55 | 0.64 | 410 | 10.0 | 발명예 |
| 29 | 109 | 57.8 | 0.53 | 0.49 | 380 | 10.1 | 발명예 |
| 30 | 87 | 49.6 | 0.57 | 0.44 | 420 | 11.4 | 발명예 |
| 31 | 131 | 69.4 | 0.53 | 0.45 | 360 | 11.2 | 발명예 |
| 32 | 105 | 57.8 | 0.55 | 2.21 | 290 | 15.6 | 비교예 |
| 33 | 68 | 37.4 | 0.55 | 1.67 | 300 | 14.1 | 발명예 |
| 34 | 91 | 50.1 | 0.55 | 1.14 | 320 | 14.0 | 발명예 |
| 35 | 83 | 65.6 | 0.79 | 2.08 | 280 | 15.6 | 비교예 |
| 36 | 107 | 78.1 | 0.73 | 1.23 | 330 | 14.1 | 발명예 |
| 37 | 105 | 67.2 | 0.64 | 2.15 | 280 | 15.6 | 비교예 |
| 38 | 87 | 53.9 | 0.62 | 1.18 | 310 | 13.5 | 발명예 |
| 39 | 85 | 53.6 | 0.63 | 0.34 | 460 | 12.0 | 발명예 |
| 40 | - | - | - | - | - | - | 비교예 |
| 41 | 90 | 72.9 | 0.81 | 0.28 | 290 | 16.0 | 비교예 |
| 42 | 79 | 57.7 | 0.73 | 0.43 | 320 | 13.9 | 발명예 |
| 43 | 114 | 80.9 | 0.71 | 0.40 | 340 | 13.4 | 발명예 |
| 44 | 56 | 28.6 | 0.51 | 0.11 | 270 | 16.0 | 비교예 |
| 45 | 72 | 38.2 | 0.53 | 0.09 | 320 | 13.8 | 발명예 |
| 46 | 179 | 97.3 | 0.54 | 0.11 | 310 | 10.6 | 발명예 |
| 47 | 207 | 114.5 | 0.55 | 0.08 | 280 | 12.4 | 비교예 |

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0213]

(이어서)

| No. | 냉연 어닐링판(무방향성 전자 강판) | | | | 온간 피로 한계 σ_{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 | | | |
| 48 | 87 | 47.9 | 0.55 | 0.51 | 450 | 9.8 | 발명예 |
| 49 | 90 | 45.0 | 0.50 | 0.53 | 410 | 9.8 | 발명예 |
| 50 | 92 | 49.7 | 0.54 | 0.56 | 410 | 9.9 | 발명예 |
| 51 | 97 | 52.4 | 0.54 | 0.58 | 420 | 9.9 | 발명예 |
| 52 | 96 | 48.0 | 0.50 | 0.56 | 410 | 9.9 | 발명예 |
| 53 | 85 | 47.6 | 0.56 | 0.50 | 400 | 9.9 | 발명예 |
| 54 | 93 | 58.6 | 0.63 | 0.57 | 410 | 9.9 | 발명예 |
| 55 | 118 | 79.1 | 0.67 | 0.34 | 380 | 13.0 | 발명예 |
| 56 | 115 | 78.2 | 0.68 | 0.37 | 390 | 13.0 | 발명예 |
| 57 | 120 | 78.0 | 0.65 | 0.33 | 370 | 13.0 | 발명예 |
| 58 | 112 | 73.9 | 0.66 | 0.38 | 390 | 13.0 | 발명예 |
| 59 | 97 | 64.0 | 0.66 | 0.34 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 60 | 111 | 76.6 | 0.69 | 0.36 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 61 | 104 | 69.7 | 0.67 | 0.38 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 62 | 106 | 71.0 | 0.67 | 0.32 | 420 | 12.5 | 발명예 |
| 63 | 97 | 66.0 | 0.68 | 0.39 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 64 | 101 | 69.7 | 0.69 | 0.36 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 65 | 104 | 70.7 | 0.68 | 0.35 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 66 | 105 | 72.5 | 0.69 | 0.36 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 67 | 105 | 63.0 | 0.60 | 0.39 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 68 | 106 | 73.1 | 0.69 | 0.37 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 69 | 99 | 67.3 | 0.68 | 0.38 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 70 | 97 | 67.9 | 0.70 | 0.38 | 440 | 12.5 | 발명예 |
| 71 | 101 | 64.6 | 0.64 | 0.33 | 420 | 12.5 | 발명예 |
| 72 | 106 | 70.0 | 0.66 | 0.31 | 420 | 12.5 | 발명예 |
| 73 | 115 | 69.0 | 0.60 | 0.33 | 380 | 12.5 | 발명예 |
| 74 | 116 | 73.1 | 0.63 | 0.40 | 390 | 12.5 | 발명예 |
| 75 | 110 | 69.3 | 0.63 | 0.36 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 76 | 106 | 66.8 | 0.63 | 0.33 | 420 | 12.5 | 발명예 |
| 77 | 105 | 69.3 | 0.66 | 0.32 | 420 | 12.5 | 발명예 |
| 78 | 105 | 67.2 | 0.64 | 0.34 | 430 | 12.5 | 발명예 |
| 79 | 117 | 76.1 | 0.65 | 0.31 | 370 | 10.2 | 발명예 |
| 80 | 115 | 75.9 | 0.66 | 0.38 | 390 | 10.2 | 발명예 |
| 81 | 121 | 82.3 | 0.68 | 0.39 | 390 | 10.2 | 발명예 |
| 82 | 112 | 76.2 | 0.68 | 0.38 | 390 | 10.2 | 발명예 |

주) 밑줄부는 발명 범위 외인 것을 나타냄

[0214]

[0215]

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

[0216]

또한, 펀칭 시의 변형에 의한 철손 저감을 회복하는 목적으로 강판에 변형 제거 어닐링을 실시한 결과, 본 발명의 효과에 하등 영향은 없고, 우수한 피로 강도와 우수한 철손 특성이 양립되고 있었다.