(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0047754
(43) 공개일자 2025년04월04일

(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 38/06 (2006.01) *C22C 38/12* (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01) *C22C 38/50* (2006.01)
C22C 38/52 (2006.01) *C22C 38/58* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7006184
(22) 출원일자(국제) 2023년08월31일
심사청구일자 2025년02월25일
(85) 번역문제출일자 2025년02월25일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/031709
(87) 국제공개번호 WO 2024/057940
국제공개일자 2024년03월21일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-145195 2022년09월13일 일본(JP)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
(72) 발명자
사이토 하야토
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
다나카 타카아키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이철

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **고강도 무방향성 전자 강판과 그의 제조 방법**

(57) 요 약

mass%로, C: 0.0050% 이하, Si: 2.0~5.0%, Mn: 0.2~1.8%, Al: 0.5~2.5%, Mo: 0.001~0.100%, Sn 및 Sb를 합계로 0.02~0.10mass%를 함유하고, Si, Al 및 Mn의 함유량이 소정의 관계를 충족하는 강 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 냉간 압연하고, 마무리 어닐링하여 무방향성 전자 강판을 제조할 때, 상기 마무리 어닐링에 있어서의 균열 온도를 500℃ 이상 또한 Si, Al 및 Mn의 함유량으로부터 결정되는 온도 T 이하로 하고, 상기 균열 온도로 보존유지(保持)하는 시간을 60s 이하로 하고, 500℃ 이상의 체류 시간을 100s 이하로 하여 인장 강도가 700~950MPa, 판두께 중심부의 전위 밀도가 $1.2\times10^{14}m^{-2}$ 이상으로 함으로써, 마무리 어닐링 후는 고강도이고, 변형 제거 어닐링 후는 저철손의 무방향성 전자 강판을 얻는다.

(52) CPC특허분류
C22C 38/004 (2013.01)
C22C 38/005 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/12 (2013.01)
C22C 38/40 (2013.01)
C22C 38/50 (2013.01)
C22C 38/52 (2013.01)
C22C 38/58 (2013.01)

(72) 발명자
오쿠보 토모유키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
스에히로 류이치
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
마루야마 시게히로
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이

명 세 서

청구범위

청구항 1

C: 0.0050mass% 이하, Si: 2.0~5.0mass%, Mn: 0.2~1.8mass%, P: 0.020mass% 이하, S: 0.0050mass% 이하, Al: 0.5~2.5mass%, N: 0.0050mass% 이하, Mo: 0.001~0.100mass% 및 O: 0.0050mass% 이하를 함유하고, 추가로 Sn 및 Sb 중 적어도 1종을 합계로 0.02~0.10mass% 함유하고, 또한, 상기 Si, Al 및 Mn의 함유량(mass%)을 각각 [Si], [Al] 및 [Mn]으로 나타낼 때, 상기 함유량이 하기 (1)식을 충족하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,

인장 강도가 700~950MPa이고,

판두께 중심부의 전위 밀도가 $1.2\times10^{14}\ m^{-2}$ 이상인 무방향성 전자 강판.

$[Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4\geq2.72$ ···(1)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ge: 0.0005~0.0100mass%를 함유하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 성분 조성에 더하여 추가로, 하기 A~H군 중 적어도 1군의 성분을 함유하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

·A군; Zn: 0.001~0.010mass%

·B군: Pb: 0.0001~0.0030mass%

·C군; Ca, Mg 및 REM: 적어도 1종을 합계로 0.0010~0.0080mass%

·D군; Ti, Nb 및 V: 적어도 1종을 합계로 0.0005~0.0030mass%

·E군; Cr, Cu 및 Ni: 적어도 1종을 합계로 0.01~0.40mass%

·F군; B: 0.0003~0.0040mass%

·G군; Co, W 및 Ta: 적어도 1종을 합계로 0.0005~0.0200mass%

·H군; Ga: 0.0005~0.0100mass% 및 As: 0.001~0.010mass% 중 적어도 1종

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 하고, 마무리 어닐링을 실시하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서,

상기 마무리 어닐링에 있어서의 균열 온도를 500℃ 이상 또한 하기 (2)식으로 정의되는 온도 T(℃) 이하로 하고, 상기 균열 온도로 보존유지(保持)하는 시간을 60s 이하로 하고, 500℃ 이상의 온도에 체류하는 시간을 100s 이하로 하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

$T=184\times([Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4)$ ···(2)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 높은 강도를 갖는 저(低)철손의 무방향성 전자 강판과 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 전기 기기에 대한 에너지 절약화로의 요구는 강해지고 있고, 회전기의 철심에 이용되는 무방향성 전자 강판에 대해서도 자기 특성의 향상이 강하게 요구되고 있다. 회전기의 철심은, 회전자(로터 코어(rotor core))와 고정자(스테이터 코어(stator core))로 구성되어 있는 것이 일반적이다. 대경의 모터나 회전수가 높은 모터에서는, 로터 코어에는 큰 원심력이 가해지기 때문에, 코어에 이용되는 무방향성 전자 강판(소재 강판)에는 고강도인 것이 요구된다. 한편, 스테이터 코어에 이용되는 무방향성 전자 강판에는 저철손인 것이 요구된다.

[0003] 또한, 소재의 수율이나 생산 효율을 높이는 관점에서는, 동일한 무방향성 전자 강판(소재 강판)으로부터, 로터 코어재와 스테이터 코어재를 채취할 수 있는 것, 또한, 스테이터 코어의 철손을 저감하는 관점에서, 코어 조립 후에 변형 제거 어닐링을 실시했을 때에 저철손화할 수 있는 것이 바람직하다.

[0004] 고강도를 갖는 무방향성 전자 강판으로서, 예를 들면 특허문헌 1에는, 질량%로, C: 0.060% 이하, Si: 0.2~3.5%, Mn: 0.05~3.0%, P: 0.30% 이하, S: 0.040% 이하, Al: 2.50% 이하 및 N: 0.020% 이하를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고, 강재 내부에 가공 조직이 잔존하는, 자기 특성이 우수한 고강도 전자 강판이 제안되어 있다.

[0005] 또한, 특허문헌 2에는, 질량%로, C: 0.005% 이하, Si: 3.5% 초과 4.5% 이하, Mn: 0.01% 이상 0.10% 이하, Al: 0.005% 이하, Ca: 0.0010% 이상 0.0050% 이하, S: 0.0030% 이하 및 N: 0.0030% 이하를 함유하고, 또한, Ca/S: 0.80 이상을 충족하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는, 판두께: 0.40㎜ 이하, 미(未)재결정의 가공 조직: 10% 이상 70% 이하, 인장 강도(TS): 600㎫ 이상, 철손 $W_{10/400}$: 30W/kg 이하의 전자 강판이 제안되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 2005-113185호

(특허문헌 0002) 일본공개특허공보 2012-149337호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그러나, 발명자들의 조사한 결과에 의하면, 상기의 특허문헌 1 및 특허문헌 2에 개시된 기술에서는, 고강도의 무방향성 전자 강판은 얻어지기는 하지만, 변형 제거 어닐링 후의 철손이 반드시 양호하지는 않다는 문제가 있는 것이 밝혀졌다.

[0008] 본 발명은, 종래 기술이 갖는 상기의 문제점을 감안하여 이루어진 것으로서, 그의 목적은, 마무리 어닐링 후는 고강도이고, 변형 제거 어닐링 후는 저철손의 특성을 갖는 무방향성 전자 강판을 제공함과 함께, 그의 유리한 제조 방법을 제안하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 발명자들은, 상기 과제의 해결을 위해, 강의 성분 조성 및 제조 조건에 착안하여 예의 검토를 거듭했다. 그 결과, 강의 성분 조성에 따라서 냉연판의 마무리 어닐링 온도를 적절한 온도로 제어함으로써, 마무리 어닐링 후는 고강도이고, 변형 제거 어닐링 후는 저철손의 무방향성 전자 강판이 얻어지는 것을 인식하여, 본 발명을 완성시키기에 이르렀다.

[0010] 상기 인식에 기초하는 본 발명은, C: 0.0050mass% 이하, Si: 2.0~5.0mass%, Mn: 0.2~1.8mass%, P: 0.020mass% 이하, S: 0.0050mass% 이하, Al: 0.5~2.5mass%, N: 0.0050mass% 이하, Mo: 0.001~0.100mass

% 및 O: 0.0050mass% 이하를 함유하고, 추가로 Sn 및 Sb 중 적어도 1종을 합계로 0.02~0.10mass% 함유하고, 또한, 상기 Si, Al 및 Mn의 함유량(mass%)을 각각 [Si], [Al] 및 [Mn]으로 나타낼 때, 상기 함유량이 하기 (1)식;

[0011] $[Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4 \geq 2.72$ ···(1)

[0012] 을 충족하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고, 인장 강도가 700~950MPa이고, 판두께 중심부의 전위 밀도가 $1.2\times10^{14}m^{-2}$ 이상인 무방향성 전자 강판이다.

[0013] 본 발명의 상기 무방향성 전자 강판은, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ge: 0.0005~0.0100mass%를 함유하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 본 발명의 상기 무방향성 전자 강판은, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, 하기 A~H군 중 적어도 1군의 성분을 함유하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 기(記)

[0016] ·A군; Zn: 0.001~0.010mass%

[0017] ·B군: Pb: 0.0001~0.0030mass%

[0018] ·C군; Ca, Mg 및 REM: 적어도 1종을 합계로 0.0010~0.0080mass%

[0019] ·D군; Ti, Nb 및 V: 적어도 1종을 합계로 0.0005~0.0030mass%

[0020] ·E군; Cr, Cu 및 Ni: 적어도 1종을 합계로 0.01~0.40mass%

[0021] ·F군; B: 0.0003~0.0040mass%

[0022] ·G군; Co, W 및 Ta: 적어도 1종을 합계로 0.0005~0.0200mass%

[0023] ·H군; Ga: 0.0005~0.0100mass% 및 As: 0.001~0.010mass% 중 적어도 1종

[0024] 또한, 본 발명은 상기의 어느 것에 기재된 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 하고, 마무리 어닐링을 실시하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서, 상기 마무리 어닐링에 있어서의 균열 온도를 500℃ 이상 또한 하기 (2)식;

[0025] $T=184\times([Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4)$ ···(2)

[0026] 으로 정의되는 온도 T(℃) 이하로 하고, 상기 균열 온도로 보존유지(保持)하는 시간을 60s 이하로 하고, 500℃ 이상의 온도에 체류하는 시간을 100s 이하로 하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법을 제안한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 의하면, 고강도의 로터 코어재와 저철손의 스테이터 코어재를, 동일한 무방향성 전자 강판으로부터 채취할 수 있기 때문에, 고성능의 모터 코어를 효율적으로 제조하는 것이 가능해진다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] (발명을 실시하기 위한 형태)

[0029] 우선, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 성분 조성과 그의 한정 이유에 대해서 설명한다.

[0030] C: 0.0050mass% 이하

[0031] C는, 탄화물을 형성하여 철손을 열화하는 유해 원소이기 때문에, 본 발명에서는 0.0050mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.0035mass% 이하이다. 또한, C의 하한은 특별히 정하지 않지만, 제강 공정에서의 탈탄 비용의 상승을 억제하는 관점에서, 0.0003mass% 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0032] Si: 2.0~5.0mass%

[0033] Si는, 강의 비저항을 높여, 철손을 저감하는 효과가 있는 중요한 원소이다. 또한, 고용 강화에 의해, 강판을

고강도화하는 효과도 있다. 이들 효과를 얻기 위해서는, 2.0mass% 이상 함유할 필요가 있다. 바람직하게는 2.8mass% 이상이다. 한편, Si가 5.0mass%를 초과하면, 포화 자속 밀도가 저하하거나, 압연하여 제조하거나 하는 것이 곤란해지기 때문에, 상한은 5.0mass%로 한다. 바람직하게는 3.8mass% 이하이다.

[0034] Mn: 0.2~1.8mass%

[0035] Mn은, Si와 같이, 철손의 저감과 고강도화에 유효한 원소이다. 또한, 열간 가공성을 개선하는 원소이기도 하다. 이 때문에, 본 발명에서는 Mn을 0.2mass% 이상 함유시킨다. 바람직하게는 0.3mass% 이상이다. 한편, Mn이 1.8mass%를 초과하면, Mn 탄화물의 석출에 의해 철손이 열화하게 되기 때문에, 상한은 1.8mass%로 한다. 바람직하게는 1.4mass% 이하이다.

[0036] P: 0.020mass% 이하

[0037] P는, 입계에 편석하여 강판을 취화하고, 압연성을 저하하기 때문에, 상한을 0.020mass%로 할 필요가 있다. 바람직하게는, 0.015mass% 이하이다. 또한, P는, 고용 강화에 의해 강판의 고강도화에도 기여하지만, 상기 효과를 얻기 위해서는 0.005mass% 이상 함유하는 것이 바람직하다.

[0038] S: 0.0050mass% 이하

[0039] S는, 미세한 황화물을 형성하여, 철손을 열화시키는 유해 원소이기 때문에, 본 발명에서는 0.0050mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.0030mass% 이하이다.

[0040] Al: 0.5~2.5mass%

[0041] Al은, Si와 마찬가지로, 강의 비저항을 높여 철손을 저감하는 효과가 있다. 또한, 고용 강화에 의해 강판을 고강도화하는 효과도 있다. 이들 효과를 얻기 위해서는, 0.5mass% 이상 함유할 필요가 있다. 바람직하게는 0.7mass% 이상이다. 한편, Al을 과잉으로 첨가하면, 질화물이나 산화물을 형성하여 제조성을 해치게 되기 때문에, 상한은 2.5mass%로 한다. 바람직하게는 1.8mass% 이하이다.

[0042] N: 0.0050mass% 이하

[0043] N은, 미세 질화물을 형성하여, 입(粒)성장을 저해하고, 철손을 열화시키는 유해 원소이기 때문에, 0.0050mass% 이하로 제한할 필요가 있다. 바람직하게는 0.0030mass% 이하이다.

[0044] Mo: 0.001~0.100mass%

[0045] Mo는, 마무리 어닐링 후의 전위 밀도를 높이는 데에 필요한 원소로서, 0.001mass% 이상 함유할 필요가 있다. 한편, 0.100mass%를 초과하여 첨가하면, 변형 제거 어닐링 중에 탄화물을 형성하여, 입성장을 저해하고, 변형 제거 어닐링 후의 자기 특성을 열화시키게 된다. 그 때문에, Mo는 0.001~0.100mass%의 범위에서 첨가한다. 또한, 전위 밀도를 보다 높이는 관점에서, Mo는 0.003mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하고, 0.005mass% 이상 첨가하는 것이 보다 바람직하다. 한편, 변형 제거 어닐링 후의 철손을 보다 저감하는 관점에서, Mo는 0.070mass% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0046] O: 0.0050mass% 이하

[0047] O는, 산화물을 형성하여, 입성장을 저해하고, 철손을 열화시키는 유해 원소이기 때문에, 0.0050mass% 이하로 제한할 필요가 있다. 바람직하게는 0.0030mass% 이하이다.

[0048] Sn 및 Sb 중 적어도 1종: 합계로 0.02~0.10mass%

[0049] Sn 및 Sb는, 모두 집합 조직의 개선을 통하여 자기 특성을 향상하는 데에 유효한 원소이다. 이 때문에, Sn, Sb는, 적어도 1종을 합계로 0.02mass% 이상 함유할 필요가 있다. 한편, 과잉으로 첨가해도, 상기 효과가 포화하기 때문에, 상한은 합계로 0.10mass%로 한다.

[0050] $[Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4 \geq 2.72$

[0051] 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 상기 Si, Al 및 Mn의 함유량(mass%)을 각각 [Si], [Al] 및 [Mn]으로 나타낼 때, 상기 함유량이 하기 (1)식;

[0052] $[Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4 \geq 2.72 \cdots (1)$

[0053] 을 충족하는 것이 필요하다. 상기 (1)식은, 마무리 어닐링 중의 회복 및 재결정의 어려움, 즉, 전위 밀도의 저

하의 어려움을 나타내는 파라미터이고, 상기 (1)식을 충족한 후에, 후술하는 적절한 마무리 어닐링을 실시함으로써, 마무리 어닐링 후의 인장 강도 및 강판의 판두께 중심부의 전위 밀도를 소기한 값까지 높일 수 있다. 또한, 상기 함유량은, 하기 (1′)식;

[0054] $[Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4 \geq 3.65 \cdots (1')$

[0055] 을 충족하는 것이 바람직하다.

[0056] 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 상기 성분에 더하여, Ge를 함유할 수 있다.

[0057] Ge: 0.0005~0.0100mass%

[0058] Ge는, 강판 표면이나 결정 입계에 편석하여 산화나 질화를 억제함으로써 철손의 개선에 기여하는 원소이다. 또한, 본 발명에서 규정하는 조건하에서의 마무리 어닐링 중에 있어서의 전위 밀도의 저하를 억제하여, 제품판의 인장 강도를 높이는 효과가 있다. 상기의 효과를 얻기 위해서는 0.0005mass% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 바람직하게는 0.0008mass% 이상이다. 한편, 0.0100mass%를 초과하여 첨가하면, 입계 편석이 현저해져, 입성장을 저해하거나, 철손을 열화하거나 하게 되기 때문에, 첨가하는 경우는 0.0100mass% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0059] 또한, 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 상기 성분에 더하여 추가로, 하기의 A~H군 중으로부터 선택되는 적어도 1군의 성분을 함유할 수 있다.

[0060] A군; Zn: 0.001~0.010mass%

[0061] Zn은, 강판 조직(결정립)을 세립화하여, 고강도화에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 0.001mass% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 한편, Zn이 0.010mass%를 초과하면, 산화물이 과잉으로 형성되어 철손이 열화하기 때문에, 첨가하는 경우는, 0.010mass% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0062] B군; Pb: 0.0001~0.0030mass%

[0063] Pb는, Zn과 마찬가지로, 결정립을 세립화하여, 고강도화에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 0.0001mass% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 한편, 0.0030mass%를 초과하면, 변형 제거 어닐링에 있어서의 입성장을 저해하여, 철손이 열화하게 되기 때문에, 첨가하는 경우는, 0.0030mass% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0064] C군; Ca, Mg 및 REM 중 적어도 1종: 합계로 0.0010~0.0080mass%

[0065] Ca, Mg 및 REM은, 모두 S를 황화물로서 고정하여, 철손의 개선에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 적어도 1종을 합계로 0.0010mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 0.0080mass%를 초과하여 첨가하면, 개재물을 형성하여 제조성을 해치게 되기 때문에, 상한은 0.0080mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 합계로 0.0020~0.0050mass%의 범위이다.

[0066] D군; Ti, Nb 및 V 중 적어도 1종: 합계로 0.0005~0.0030mass%

[0067] Ti, Nb 및 V는, 모두 석출 강화나 결정립의 미세화에 의해 강판 강도를 높이는 데에 유효한 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 적어도 1종을 합계로 0.0005mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 0.0030mass%를 초과하여 첨가하면 입성장을 현저하게 저해하여, 철손이 열화하게 되기 때문에, 상한은 0.0030mass%로 하는 것이 바람직하다.

[0068] E군; Cr, Cu 및 Ni 중 적어도 1종: 합계로 0.01~0.40mass%

[0069] Cr, Cu 및 Ni는, 모두 강판의 고유 저항을 높여, 철손을 개선하는 효과가 있다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 적어도 1종을 합계로 0.01mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, 과잉으로 첨가하면, 탄화물을 생성하여 철손을 열화하거나, 표면 성상을 열화하거나 하게 되기 때문에, 상한은 0.40mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 합계로 0.03~0.15mass%의 범위이다.

[0070] F군; B: 0.0003~0.0040mass%

[0071] B는, 결정립의 세립화에 의해 고강도화에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 0.0003mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 0.0040mass%를 초과하여 첨가하면, 상기의 효과가 포화할 뿐 아니라, 붕화물이 과잉으로 생성되어 철손이 열화하게 되기 때문에, 상한은 0.0040mass%로 하는 것이 바람직하다.

[0072] G군; Co, W 및 Ta 중 적어도 1종: 합계로 0.0005~0.0200mass%

[0073] Co, W 및 Ta는, 모두 석출물을 형성하여, 결정립의 미세화나 석출물의 분산 효과에 의해 고강도화에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는, 적어도 1종을 합계로 0.0005mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 합계로 0.0200mass%를 초과하는 첨가는, 변형 제거 어닐링에 있어서의 입성장을 현저하게 저해하고, 철손을 열화시키게 되기 때문에, 상한은 0.0200mass%로 하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.0010~0.0100mass%의 범위이다.

[0074] H군; Ga: 0.0005~0.0100mass% 및 As: 0.001~0.010mass% 중 적어도 1종

[0075] Ga 및 As는, 모두 강판 표면이나 결정 입계에 편석하여 산화나 질화를 억제함으로써 철손의 개선에 기여하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 Ga는 0.0005mass% 이상, As는 0.001mass% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 바람직하게는 Ga: 0.0008mass% 이상, As: 0.002mass% 이상이다. 한편, Ga: 0.0100mass%, As: 0.010mass%를 초과하여 첨가하면, 입계 편석이 현저해져, 입성장을 저해하거나, 철손을 열화하거나 하게 되기 때문에, 첨가하는 경우는, Ga는 0.0100mass% 이하, As는 0.010mass% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0076] 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 상기 성분 이외의 잔부는, Fe 및 불가피적 불순물이다.

[0077] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 대해서 설명한다.

[0078] 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 전술한 성분 조성을 갖는 강 소재(슬래브)를 제조하고, 당해 슬래브를 열간 압연하여 소정의 판두께의 열연판으로 한다. 이어서, 상기 열연판에 열연판 어닐링을 실시한 후, 산 세정하고, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 하고, 그 후, 마무리 어닐링을 실시함으로써 제조한다. 이하, 구체적으로 설명한다.

[0079] 강 소재(슬래브)

[0080] 무방향성 전자 강판의 제조에 이용하는 강 소재가 되는 슬래브의 제조 방법은, 특별히 한정하지 않는다. 예를 들면, 전술한 성분 조성을 갖는 강을 전로(converter) 또는 전기로(furnace)나 진공 탈가스 장치 등을 이용한 통상 공지의 정련 프로세스를 이용하여 용제한다. 이어서, 상기 용제한 강을, 연속 주조법 또는 조괴-분괴 압연법, 박(薄)슬래브 연속 주조법 등을 이용하여 강 소재로 하면 좋다. 또한, 원료로서 철 스크랩이나 직접 환원철을 이용해도 좋다.

[0081] 열간 압연

[0082] 이어서, 상기 슬래브는, 소정의 온도로 가열한 후, 열간 압연하여 소정의 판두께의 열연판으로 한다. 열간 압연의 조건은, 특별히 한정하지 않지만, 슬래브의 가열 온도는 1000℃ 이상 1150℃ 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다. 또한, 열간 압연 후의 코일 권취 온도는 500℃ 이상 700℃ 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.

[0083] 열연판 어닐링

[0084] 이어서, 상기 열간 압연 후의 강판(열연판)은 열연판 어닐링을 실시한다. 이 열연판 어닐링은, 800~1000℃의 온도에 5~300sec간 보존유지하는 조건으로 행하는 것이 바람직하다. 또한, 열연판 어닐링 후의 강판 조직(결정립)이 조대해지면, 산 세정 후의 냉간 압연에서, 변형대나 전단대 등의 변형이 집중된 영역이 형성되어, 재결정이 촉진되기 때문에, 전위 밀도가 저하하기 쉽다. 그 때문에, 열연판 어닐링의 온도는 950℃ 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 920℃ 이하이다.

[0085] 산 세정

[0086] 이어서, 상기 열연판 어닐링 후의 열연판은, 상법(常法)의 산 세정을 하여 스케일을 제거한다. 상기 산 세정은, 다음 공정인 냉간 압연이 가능해질 정도로 스케일을 제거할 수 있는 조건이면 좋고, 예를 들면 염산이나 황산 등을 사용하는 상용의 산 세정 조건을 적용할 수 있다. 또한, 스케일 제거를 촉진하기 위해, 산 세정 전 혹은 산 세정 중에, 예를 들면 쇼트 블래스트나 경압연 등으로 스케일에 균열을 발생시키는 메커니컬 디스케일링을 추가하여 행해도 좋다.

[0087] 냉간 압연

[0088] 이어서, 상기 산 세정한 열연판은, 냉간 압연하여 최종 판두께(제품 판두께)의 냉연판으로 한다. 이 냉간 압연은, 상기 최종 판두께로 할 수 있으면, 특별히 제한되지 않는다. 또한, 냉간 압연은, 1회에 한정되지 않고, 필요에 따라서 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 행해도 좋다. 이 경우의 중간 어닐링 조건도

상용의 조건이면 좋고, 특별히 제한은 없다. 단, 상기 냉간 압연 중, 최종 판두께로 하는 냉간 압연의 압하율은, 지나치게 낮으면 가공 경화가 불충분해지고, 마무리 어닐링 후의 강도가 소기한 값보다 저하할 우려가 있기 때문에, 50% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 70% 이상이다.

[0089] 마무리 어닐링

[0090] 이어서, 상기 최종 판두께로 한 냉연판에 마무리 어닐링을 실시한다. 이 마무리 어닐링은, 냉연판에 소정의 강도와 자기 특성을 부여하는 공정으로서, 본 발명에 있어서 특히 중요한 공정이다. 냉연판에 본 발명이 소기한 강도(인장 강도: 700MPa 이상)를 부여하기 위해서는, 마무리 어닐링의 균열 온도는, 강판 중의 Si, Al 및 Mn의 함유량을 각각 [Si], [Al] 및 [Mn]으로 나타낼 때, 하기 (2)식;

[0091] $T=184\times([Si]+[Al]/2.5+[Mn]/4)\cdots(2)$

[0092] 으로 정의되는 온도 T 이하의 온도로 하고, 또한, 당해 온도로 보존유지하는 시간(균열 시간)을 60s 이하로 하여 행할 필요가 있다. 여기에서, 상기 (2)식으로 정의되는 온도 T는, 전위 밀도가 저하하여 인장 강도가 저하하게 되는 연화 온도를 나타내는 파라미터이다. 상기 조건을 충족함으로써, 마무리 어닐링 후의 강판의 인장 강도를 700MPa 이상으로 하고, 또한, 판두께 중심부의 전위 밀도를 $1.2\times10^{14}m^{-2}$ 이상으로 할 수 있다. 그러나, 마무리 어닐링의 균열 온도가 상기 (2)식으로 정의되는 온도 T를 초과하거나, 혹은, 균열 시간이 60s를 초과하면, 강판 내의 전위 밀도가 급속히 저하하여, 상기한 인장 강도가 얻어지지 않게 된다. 또한, 상기 (2)식에서는, 연화 온도의 지표를 Si, Al 및 Mn의 함유량으로부터 구하고 있는데, 이는, 본 발명의 범위에서는, 주요한 첨가 원소인 Si, Al, Mn의 첨가량을 고려하면 충분하기 때문이다.

[0093] 단, 마무리 어닐링의 균열 온도가 500℃ 미만이 되면, 충분히 회복이 일어나지 않고 인장 강도가 950MPa을 초과하여, 펀칭 가공성이 저하하게 되기 때문에, 균열 온도는 500℃ 이상으로 할 필요가 있다. 바람직하게는 600℃ 이상이다. 마찬가지의 이유로부터, 균열 시간도 5s 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0094] 또한, 마무리 어닐링에 있어서 500℃ 이상의 온도에 체류하는 시간은 100s 이하로 하는 것이 중요하다. 500℃ 이상의 온도역에서도 장시간 체류하면, 전위 밀도가 지나치게 저하하여, 소기한 인장 강도가 얻어지지 않게 된다. 바람직하게는 60s 이하이다.

[0095] 상기 마무리 어닐링 후의 강판은, 필요에 따라서 절연 피막을 피성(被成)하여, 제품판으로 한다.

[0096] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 강판 특성에 대해서 설명한다.

[0097] 인장 강도: 700MPa 이상 950MPa 이하

[0098] 대형 혹은 고속 회전하는 모터의 로터 코어가 충분한 내구성을 확보하기 위해서는, 마무리 어닐링 후의 상태에 있어서의 강판의 인장 강도가 700MPa 이상인 것이 필요하다. 그러나, 인장 강도가 과잉으로 지나치게 높아지면, 펀칭 가공성이 저하하게 되기 때문에, 상한은 950MPa로 한다. 바람직하게는 730~860MPa의 범위이다.

[0099] 판두께 중심부의 전위 밀도: $1.2\times10^{14}m^{-2}$ 이상

[0100] 또한, 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 강의 성분 조성과, 당해 성분 조성에 따른 조건의 마무리 어닐링을 실시함으로써, 강판의 판두께 중심부의 전위 밀도를 $2\times10^{14}m^{-2}$ 이상으로 하는 것이 필요하다. 이에 따라, 상기한 높은 인장 강도를 확실하게 확보할 수 있다. 바람직한 전위 밀도는, $3.0\times10^{14}m^{-2}$ 이상이다. 또한, 상기 전위 밀도는, 강판의 편측 표면을 기계 연마 및 화학 연마에 의해 판두께 1/2까지 두께 감소하고, 그의 연마면(강판 표면에 평행한 면)을 X선 회절하여 피크의 반값폭을 측정하여, Williamson-Hall법을 이용하여 구할 수 있다.

[0101] 변형 제거 어닐링 후의 철손 특성

[0102] 본 발명의 무방향성 전자 강판은, 변형 제거 어닐링 후의 철손 특성이 우수한 것이 특징이다. 여기에서, 변형 제거 어닐링 후의 철손 특성은, 변형 제거 어닐링 조건에 의해서도 영향을 받는다. 상기 변형 제거 어닐링은, 통상, 비산화성 또는 환원성의 분위기에 있어서, 700~900℃×1~2hr의 조건으로 행해지는 것이 일반적이다. 그러나, 변형 제거 어닐링 조건을 상기와 같은 범위에서 규정하면 자기 특성을 평가하는 것이 어려워진다. 그래서, 본 발명에서는, 변형 제거 어닐링 후의 자기 특성의 평가는, 변형 제거 어닐링을 모의한, N_2 분위기하에서 800℃×2hr의 열처리 후의 자기 특성으로 평가하는 것으로 한다. 또한, 실제의 스테이터 코어에 실시하는 변형 제거 어닐링 조건은, 상기 조건과 상이하게 해도 좋은 것은 물론이다.

[0103] 또한, 강판의 철손값은 판두께에 크게 의존하기 때문에, 철손의 양부(良否)를 판단하는 기준값은 판두께마다 설정할 필요가 있다. 그래서, 본 발명에서는 상기 기준값으로서, 판두께가 0.20㎜인 경우는 $W_{10/400}$: 10.3W/kg, 0.25㎜인 경우는 $W_{10/400}$: 11.5W/kg, 판두께 0.35㎜의 경우는 $W_{10/400}$: 14.7W/kg, 판두께 0.50㎜의 경우 $W_{10/400}$: 22.5W/kg으로 규정하고, 상기 기준값 이하의 철손이면, 스테이터 코어재로서 적합하게 이용할 수 있다고 평가한다.

[0104] 실시예

[0105] 표 1에 나타낸 여러 가지의 성분을 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 강을 상법의 정련 프로세스로 용제한 후, 연속 주조법으로 슬래브로 했다. 이어서, 상기 슬래브를 가스로에서 1100℃의 온도에 30min간 가열한 후, 조압연과 마무리 압연으로 이루어지는 열간 압연하여 판두께 1.8㎜의 열연판으로 했다. 그 후, 상기 열연판에 920℃×30s의 열연판 어닐링을 실시한 후, 산 세정하고, 냉간 압연하여 최종 판두께 0.25㎜의 냉연판으로 한 후, 표 2에 나타낸 조건으로 마무리 어닐링을 실시하여 제품판으로 했다.

[0106] [표 1-1]

강 No.	화학성분 (mass%)																(1)식 좌변	온도 T (℃)	비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Mo	Sn	Sb	Ce	그 외						
1	0.0026	3.4	0.8	0.012	0.0014	1.4	0.0023	0.0012	0.005	0.04	—	—	—				4.16	765	발명강
2	0.0014	3.3	1.8	0.008	0.0023	0.6	0.0030	0.0014	0.008	—	0.05	—	—				3.99	734	발명강
3	0.0023	3.8	0.8	0.018	0.0031	0.7	0.0019	0.0023	0.002	0.02	0.08	—	—				4.28	788	발명강
4	0.0033	3.5	0.6	0.005	0.0018	1.5	0.0019	0.0020	0.015	0.03	—	—	Ca : 0.0024				4.25	782	발명강
5	0.0027	3.0	1.4	0.009	0.0033	1.0	0.0024	0.0027	0.004	0.04	—	—	Mg : 0.0032				3.75	690	발명강
6	0.0018	3.2	0.6	0.011	0.0012	0.9	0.0019	0.0024	0.013	0.02	0.02	—	REM : 0.0039				3.71	683	발명강
7	0.0022	3.2	1.2	0.014	0.0021	1.2	0.0031	0.0025	0.003	0.04	—	—	Ti : 0.0012				3.98	732	발명강
8	0.0041	3.2	1.0	0.011	0.0018	2.5	0.0017	0.0024	0.010	—	0.04	—	Yb : 0.0028				4.45	819	발명강
9	0.0022	3.0	0.6	0.014	0.0028	0.8	0.0019	0.0019	0.010	—	0.03	—	V : 0.0024				3.47	638	발명강
10	0.0025	3.4	0.3	0.006	0.0025	0.7	0.0008	0.0021	0.020	0.02	0.02	—	Cr : 0.15				3.76	691	발명강
11	0.0029	3.4	0.2	0.015	0.0016	1.8	0.0020	0.0019	0.050	0.03	—	—	—				4.17	767	발명강
12	0.0014	3.3	0.5	0.013	0.0029	1.2	0.0022	0.0026	0.009	0.03	0.01	—	Cu : 0.07				3.91	719	발명강
13	0.0023	3.8	0.6	0.009	0.0022	2.0	0.0022	0.0016	0.030	—	0.05	—	Ni : 0.12				4.75	874	발명강
14	0.0016	3.2	1.0	0.013	0.0008	0.5	0.0024	0.0017	0.035	0.02	—	—	Cu : 0.06, Ni : 0.06				3.65	672	발명강
15	0.0047	2.8	0.8	0.013	0.0012	1.5	0.0020	0.0013	0.055	0.05			B : 0.0011				3.60	662	발명강
16	0.0026	3.2	0.8	0.012	0.0036	0.8	0.0031	0.0013	0.005	—	0.01	—	—				3.72	684	비교강
17	0.0021	3.4	0.8	0.012	0.0015	0.3	0.0024	0.0014	0.004	0.04	—	—	—				3.72	684	비교강
18	0.0031	3.4	0.7	0.008	0.0012	1.4	0.0028	0.0015	—	0.04	—	—	—				4.14	761	비교강
19	0.0023	3.4	0.6	0.014	0.0007	1.2	0.0021	0.0009	0.005	0.03	—	—	Co : 0.004				4.03	742	발명강
20	0.0004	3.4	0.5	0.012	0.0011	1.0	0.0009	0.0014	0.006	0.02	0.01	—	W : 0.002				3.93	722	발명강
21	0.0028	3.2	1.0	0.010	0.0017	1.6	0.0026	0.0006	0.012	0.07	0.02	—	Ta : 0.003				4.09	753	발명강
22	0.0031	3.2	0.8	0.010	0.0014	1.6	0.0014	0.0026	0.009	0.03	—	—	Co : 0.003, W : 0.001				4.04	743	발명강
23	0.0019	3.5	0.4	0.008	0.0024	1.0	0.0016	0.0021	0.006	—	0.03	0.0007	—				4.00	736	발명강
24	0.0008	3.4	0.8	0.013	0.0019	0.8	0.0025	0.0013	0.004	0.04	—	—	Zn : 0.002				3.92	721	발명강
25	0.0017	3.4	0.3	0.014	0.0021	1.4	0.0023	0.0012	0.013	0.04	—	—	Pb : 0.0003				4.04	742	발명강
26	0.0026	1.9	0.8	0.012	0.0014	1.4	0.0023	0.0012	0.005	0.04	—	—	—				2.66	489	비교강
27	0.0023	3.4	0.6	0.01	0.0016	0.8	0.0028	0.0016	0.005	0.04			Ga:0.0008				3.87	712	발명강
28	0.0018	3.2	0.8	0.008	0.0013	1.0	0.0021	0.0012	0.005	0.03	0.02	—	As:0.003				3.80	699	발명강

[0107]

[0108] [표 1-2]

강 No.	화학성분 (mass%)															(1)식 좌변	온도 T (℃)	비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Mo	Sn	Sb	Ge	그 외					
29	0.0023	3.5	0.8	0.012	0.0021	0.6	0.0022	0.0017	0.008	0.04	—	0.0010	Ca : 0.0026			3.94	725	발명강
30	0.0022	3.5	0.5	0.016	0.0024	1.2	0.0014	0.0021	0.005	0.04	—	0.0005	Mg : 0.0012			4.11	755	발명강
31	0.0013	3.4	0.7	0.012	0.0031	1.4	0.0010	0.0013	0.011	0.02	0.01	0.0015	REM : 0.0010			4.14	761	발명강
32	0.0011	3.6	1.2	0.013	0.0026	0.8	0.0025	0.0012	0.008	0.03	—	0.0008	Ti : 0.0023			4.22	776	발명강
33	0.0016	3.6	1.5	0.013	0.0017	0.8	0.0024	0.0017	0.007	0.04	—	0.0007	Nb : 0.0005			4.30	790	발명강
34	0.0008	3.4	0.6	0.006	0.0016	0.8	0.0021	0.0026	0.005	0.06	—	0.0035	V : 0.0020			3.87	712	발명강
35	0.0031	3.2	0.6	0.006	0.0004	1.2	0.0008	0.0021	0.005	—	0.05	0.0020	Cr : 0.21			3.83	705	발명강
36	0.0025	3.7	0.8	0.012	0.0006	1.2	0.0011	0.0014	0.008	0.03	—	0.0100	Cu : 0.16			4.38	806	발명강
37	0.0026	3.8	0.8	0.018	0.0012	0.6	0.0023	0.0016	0.008	0.04	—	0.0006	Ni : 0.08			4.24	780	발명강
38	0.0031	3.5	0.8	0.013	0.0013	0.6	0.0018	0.0008	0.008	0.04	—	0.0040	Cu : 0.12, Ni : 0.06			3.94	725	발명강
39	0.0018	3.4	0.5	0.01	0.0018	0.6	0.0017	0.0012	0.005	—	0.03	0.0063	B : 0.0006			3.77	693	발명강
40	0.0016	3.4	0.5	0.012	0.0009	0.8	0.0024	0.0014	0.003	0.05	—	0.0007	Co : 0.002			3.85	707	발명강
41	0.0015	3.5	0.6	0.01	0.0008	0.4	0.0024	0.0016	0.004	0.01	0.03	0.0005	W : 0.001			3.81	701	발명강
42	0.0024	3.5	0.6	0.007	0.0021	0.4	0.0026	0.0021	0.004	0.04	—	0.0016	Ta : 0.004			3.81	701	발명강
43	0.0023	3.6	0.7	0.006	0.0026	0.6	0.0018	0.0014	0.006	0.02	0.02	0.0021	Zn : 0.005			4.02	739	발명강
44	0.0027	3.2	0.7	0.014	0.0022	0.8	0.0021	0.0016	0.016	0.03	—	0.0008	Pb : 0.0004			3.70	680	발명강
45	0.0018	3.4	0.8	0.012	0.0018	1.4	0.0012	0.0017	0.030	0.04	—	0.0006	Ga : 0.0006			4.16	765	발명강
46	0.0014	3.4	0.8	0.013	0.0017	0.8	0.0013	0.0019	0.020	0.04	—	0.0007	As : 0.002			3.92	721	발명강
47	0.0013	3.5	0.5	0.008	0.0015	0.8	0.0021	0.0014	0.006	0.04	—	0.0006	Ca : 0.0032, Ti : 0.0018, Cr : 0.02			3.95	726	발명강
48	0.0014	3.5	0.5	0.009	0.0012	0.8	0.0034	0.0016	0.001	0.04	—	0.0005	Co : 0.003, Cu : 0.25			3.95	726	발명강
49	0.0022	3.5	0.5	0.012	0.0014	0.8	0.0016	0.0017	0.005	0.04	—	0.0008	Zn : 0.003, Co : 0.002			3.95	726	발명강
50	0.0018	3.5	0.5	0.015	0.0016	0.8	0.0014	0.0009	0.002	0.04	—	0.0020	Pb : 0.0004, Ni : 0.05			3.95	726	발명강
51	0.0013	3.5	0.5	0.014	0.0008	0.8	0.0025	0.0012	0.011	0.04	—	0.0013	Pb : 0.0004, B : 0.0005			3.95	726	발명강
52	0.0017	3.5	0.5	0.007	0.0007	0.8	0.0023	0.0011	0.031	0.04	—	0.0006	Cu : 0.04, Cr:0.02, B : 0.0003			3.95	726	발명강
53	0.0016	3.5	0.5	0.014	0.0016	0.8	0.0017	0.0018	0.008	0.04	—	0.0007	Cu : 0.15, Co : 0.004, Ga : 0.010			3.95	726	발명강
54	0.0013	3.5	0.5	0.013	0.0024	0.8	0.0023	0.0013	0.040	0.04	—	0.0010	Ti : 0.0023, B : 0.0004			3.95	726	발명강
55	0.0026	3.5	0.5	0.010	0.0034	0.8	0.0009	0.0014	0.012	0.04	—	0.0017	Pb : 0.0005, Mg : 0.0026, As : 0.004			3.95	726	발명강
56	0.0008	3.5	0.5	0.018	0.0018	0.8	0.0012	0.0017	0.008	0.04	—	0.0011	Zn : 0.003, Pb : 0.0002, Ca : 0.0036, Ti : 0.0016, Cu : 0.06, Cr : 0.02, B : 0.0003, Co : 0.007, Ga : 0.009, As : 0.004			3.95	726	발명강

[0109]

[0110] [표 2-1]

강판 No.	강 No.	마무리 어닐링 조건				강도 특성			철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	
		온도 T (℃)	어닐링 온도 (℃)	어닐링 시간 (s)	500℃ 이상의 체류 시간(s)	인장 강도 (MPa)	전위 밀도 ($\times 10^{14}m^{-2}$)	마무리 어닐링 후	변형 제거 어닐링 후	비고
1	1	765	720	15	40	730	3.5	26.5	10.6	발명예
2	2	734	690	10	30	745	5.5	28.6	10.7	발명예
3	3	788	750	10	30	725	2.8	22.3	10.0	발명예
4	4	782	740	10	35	740	3.2	21.6	10.3	발명예
5	5	690	690	10	35	700	4.0	29.4	11.0	발명예
6	6	683	650	10	35	735	5.3	32.4	10.9	발명예
7	7	732	700	30	90	750	5.2	28.3	10.7	발명예
8	8	819	780	10	30	790	3.9	30.1	11.2	발명예
9	9	638	600	10	25	930	13.3	42.1	11.3	발명예
10	10	691	670	10	30	710	3.8	27.2	10.5	발명예
11	11	767	750	10	30	725	2.5	19.2	10.9	발명예
12	12	719	700	10	30	730	4.3	26.5	10.5	발명예
13	13	874	800	10	30	860	6.1	23.6	10.1	발명예
14	14	672	650	10	30	790	8.9	37.9	10.8	발명예
15	15	662	650	10	30	765	7.8	43.3	11.3	발명예
16	16	684	670	10	30	710	6.2	38.6	12.3	비교예
17	17	684	670	10	30	700	5.5	37.9	11.8	비교예
18	18	761	720	15	40	685	1.0	24.7	11.2	비교예
19	1	765	980	10	30	640	0.9	11.2	11.2	비교예
20	1	765	800	10	30	670	1.1	17.6	11.6	비교예
21	19	742	710	10	30	720	3.2	26.1	10.5	발명예
22	20	722	680	10	30	710	3.2	29.2	10.7	발명예
23	21	753	700	10	30	740	3.8	27.0	10.6	발명예
24	22	743	700	10	30	720	3.0	27.4	10.9	발명예
25	23	736	700	10	30	730	3.1	26.6	10.6	발명예
26	24	721	670	10	30	725	4.1	30.4	10.8	발명예
27	25	742	720	10	30	720	2.8	25.4	10.4	발명예
28	1	765	720	15	110	675	1.0	25.3	11.9	비교예
29	26	489	500	10	30	1080	18.3	54.7	13.4	비교예
30	27	712	690	10	30	720	4.0	28.1	10.4	발명예
31	28	699	680	10	30	715	4.1	29.4	10.6	발명예

[0111]

[0112] [표 2-2]

강판 No.	강 No.	마무리 어닐링 조건			500℃ 이상의 체류 시간(s)	강도 특성		철손 $W_{10/400}$ (W/kg)		비고
		온도 T (℃)	어닐링 온도 (℃)	어닐링 시간 (s)		인장 강도 (MPa)	전위 밀도 ($\times 10^{14}m^{-2}$)	마무리 어닐링 후	변형 제거 어닐링 후	
32	29	725	700	10	30	740	4.4	26.8	10.3	발명예
33	30	755	720	10	30	760	4.1	24.6	10.2	발명예
34	31	761	720	10	30	745	3.4	24.6	10.2	발명예
35	32	776	710	10	30	760	4.2	25.4	10.2	발명예
36	33	790	730	10	30	770	4.4	20.9	10.1	발명예
37	34	712	680	10	30	740	4.5	29.2	10.7	발명예
38	35	705	680	10	30	735	4.3	29.5	10.6	발명예
39	36	806	750	10	30	780	4.0	20.8	9.8	발명예
40	37	780	730	10	30	745	3.5	23.0	9.8	발명예
41	38	725	700	10	30	740	4.4	26.8	10.2	발명예
42	39	693	680	10	30	730	4.1	29.3	10.7	발명예
43	40	707	680	10	30	750	5.0	29.2	10.6	발명예
44	41	701	680	10	30	745	4.9	29.1	10.6	발명예
45	42	701	680	10	30	740	5.1	29.1	10.5	발명예
46	43	739	700	10	30	735	3.5	26.7	10.4	발명예
47	44	680	670	10	30	740	4.4	30.6	10.8	발명예
48	45	765	720	10	30	790	5.3	24.6	10.3	발명예
49	46	721	700	10	30	735	4.1	26.9	10.4	발명예
50	47	726	700	10	30	750	4.7	26.9	10.4	발명예
51	48	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.4	발명예
52	49	726	700	10	30	745	4.5	26.9	10.5	발명예
53	50	726	700	10	30	770	5.4	26.9	10.3	발명예
54	51	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.6	발명예
55	52	726	700	10	30	755	4.7	26.9	10.3	발명예
56	53	726	700	10	30	745	4.5	26.9	10.4	발명예
57	54	726	700	10	30	760	5.0	26.9	10.5	발명예
58	55	726	700	10	30	770	5.4	26.9	10.3	발명예
59	56	726	700	10	30	840	8.1	26.9	10.1	발명예

[0113]

[0114] 이어서, 상기와 같이 하여 얻은 제품판으로부터 평가용의 샘플을 채취하여, 이하의 평가 시험에 제공했다.

[0115] <인장 시험>

[0116] 상기 샘플로부터, 인장 방향을 압연 방향으로 하는 JIS5호 인장 시험편을 채취하고, JIS Z 2241에 준거하여, 인장 강도 TS를 측정했다.

[0117] <전위 밀도 측정>

[0118] 상기 샘플로부터, 25㎜×30㎜의 시험편을 채취하고, 시험편의 편측 표면을 기계 연마 및 화학 연마하여 판두께 중앙부까지 두께 감소하고, 당해 연마면을 X선 회절하여 피크의 반값폭을 측정하고, Williamson-Hall법에 의해 전위 밀도를 구했다.

[0119] <자기 특성>

[0120] 상기 샘플로부터, 폭: 30㎜×길이: 280㎜의 시험편을 L 방향(압연 방향) 및 C 방향(압연 방향과 직각 방향)으로부터 채취하고, JIS C 2550-1에 준거하여 철손 $W_{10/400}$을 측정했다. 추가로, N_2 분위기하에서 800℃×2hr의 변형 제거 어닐링(SRA: Stress Relief Annealing)을 모의한 열처리를 실시한 후, 상기한 방법으로 변형 제거 어닐링

후의 철손 $W_{10/400}$을 측정했다.

[0121] 상기 평가 시험의 결과를 표 2에 병기했다. 이 결과로부터, 본 발명에 적합한 조건으로 제조한 발명예의 강판은, 모두 전위 밀도가 $1.2\times10^{14}m^{-2}$ 이상, 인장 강도가 700㎫ 이상이고, 게다가, SRA 후의 철손값도 기준값($W_{10/400}$: 11.5W/kg)보다 낮아, 자기 특성이 우수한 것을 알 수 있다. 또한, No. 29의 강판은, (2)식으로 정의되는 온도 T가 489℃이고, 500℃를 하회하고 있는 점에서, 인장 강도가 본 발명의 범위 외가 되고, 철손도 뒤떨어지는 비교예가 되어 있다.