(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년01월31일
(11) 등록번호 10-1011965
(24) 등록일자 2011년01월25일

(51) Int. Cl.
C22C 38/06 (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7012158
(22) 출원일자(국제출원일자) 2006년12월13일
심사청구일자 2008년05월21일
(85) 번역문제출일자 2008년05월21일
(65) 공개번호 10-2008-0063521
(43) 공개일자 2008년07월04일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2006/325319
(87) 국제공개번호 WO 2007/069776
국제공개일자 2007년06월21일
(30) 우선권주장
JP-P-2005-00361995 2005년12월15일 일본(JP)
JP-P-2005-00362020 2005년12월15일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP02853552 B2*
JP17113185 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
(72) 발명자
고노 마사아키
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
오다 요시히코
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
오쿠보 도모유키
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
(74) 대리인
특허법인코리아나

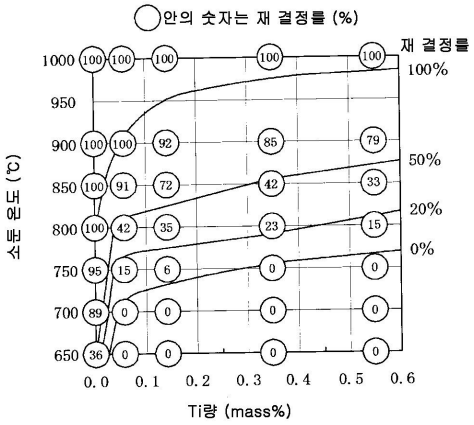
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 이성준

(54) 고강도 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법

(57) 요 약

질량% 로, C : 0.010% 이하, N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 억제하고, Si : 1.5 ~ 5.0%, Ti 혹은 Ti+V 을 합계로 0.8% 이하, 또한 (Ti+V)/(C+N)≥16 의 조건을 만족하여 함유하게 하고, 혹은 추가로 미재결정 회복 조직의 존재 비율을 50% 이상으로 함으로써, 고강도이고 또한 자기 특성이 우수하며 제조성에도 우수한 무방향성 전자 강판을 제공한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

질량% 로,

C 및 N 을, C : 0% 초과 0.010% 이하 및 N : 0% 초과 0.010% 이하,

또한 0% < C + N ≤ 0.010% 로 억제하고,

Si : 1.5% 이상 5.0% 이하, Mn : 0% 초과 3.0% 이하,

Al : 0% 초과 3.0% 이하, P : 0% 초과 0.2% 이하,

S : 0% 초과 0.01% 이하를 함유하고, 추가로

Ti 을 0.05% 이상 0.8% 이하, 또한 Ti / (C + N) ≥ 16 을 만족하는 범위에서 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물인 성분 조성을 갖고,

또한, 강판 중의 미재결정 회복 조직의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

질량% 로, Si : 1.5% 이상 4.0% 이하인, 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

질량% 로, Ni : 0.1 ~ 5.0%, Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01% 및 Co : 0.2 ~ 5.0% 로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 1 종을 추가로 함유하는 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 4

질량% 로,

C 및 N 을, C : 0% 초과 0.010% 이하 및 N : 0% 초과 0.010% 이하,

또한 0% < C + N ≤ 0.010% 로 하고,

Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 0% 초과 3.0% 이하,

Al : 0% 초과 3.0% 이하, P : 0% 초과 0.2% 이하 및

S : 0% 초과 0.01% 이하를 함유하고, 또는 추가로 Ni : 0% 초과 5.0% 이하를 함유하고,

추가로 Ti, V 중 어느 1 종 또는 2 종을,

합계 : 0.01% 이상 0.8% 이하, 또한 (Ti + V) / (C + N) ≥ 16 을 만족하는 범위에서 함유하고,

잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되고,

또한, 강판 중의 미재결정 회복 조직의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 5

질량% 로,

C 및 N 을, C : 0% 초과 0.010% 이하 및 N : 0% 초과 0.010% 이하,

또한 0% < C + N ≤ 0.010% 로 하고,

Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 0% 초과 3.0% 이하,

Al : 0% 초과 3.0% 이하, P : 0% 초과 0.2% 이하 및

S : 0% 초과 0.01% 이하를 함유하고, 또는 추가로 Ni : 0% 초과 5.0% 이하를 함유하고,

추가로 Nb, Zr 중 어느 1 종 또는 2 종을,

합계 : 0.01% 이상 0.5% 이하, 또한 (Nb + Zr) / (C + N) ≥ 10 을 만족하는 범위에서 함유하고,

잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되고,

또한, 강판 중의 미재결정 회복 조직의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 6

질량% 로,

C 및 N 을, C : 0% 초과 0.010% 이하 및 N : 0% 초과 0.010% 이하,

또한 0% < C + N ≤ 0.010% 로 하고,

Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 0% 초과 3.0% 이하,

Al : 0% 초과 3.0% 이하, P : 0% 초과 0.2% 이하 및

S : 0% 초과 0.01% 이하를 함유하고, 또한 추가로 Ni : 0% 초과 5.0% 이하를 함유하고,

추가로 Ti, V 중 적어도 1 종과 Nb, Zr 중 적어도 1 종을,

0.01% ≤ (Ti + V + Nb + Zr) ≤ 0.5%, 또한

(Ti + V + Nb + Zr) / (C+N) ≥ 16

을 만족하는 범위에서 함유하고,

잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되고,

또한, 강판 중의 미재결정 회복 조직의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 7

제 4 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

질량% 로, Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01% 및 Co : 0.2 ~ 5.0% 로 이루어지는 군에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 추가로 함유하는 고강도 무방향성 전자 강판.

청구항 8

질량% 로,

C 및 N 을, C : 0% 초과 0.010% 이하 및 N : 0% 초과 0.010% 이하,

또한 0% < C + N ≤ 0.010% 로 억제하고,

Si : 1.5% 이상 5.0% 이하, Mn : 0% 초과 3.0% 이하

Al : 0% 초과 3.0% 이하, P : 0% 초과 0.2질량% 이하

S : 0% 초과 0.01질량% 이하 함유하고, 추가로

Ti 을 0.05 질량% 이상 0.8 질량% 이하, 또한 Ti / (C + N) ≥ 16 을 만족하는 범위에서 함유하는 성분 조성을 갖는 강 슬라브를 열간 압연하고,

이어서, 냉간 또는 온간 압연에서 최종 판 두께의 냉연 코일로 한 후,

마무리 소둔을 실시할 때, 그 마무리 소둔을 소둔 온도 700℃ 이상, 850℃ 이하, 노내 장력 2.5 ㎫ 이상 20 ㎫ 이하에서 실시하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 9

제 4 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 나타내는 조성이 되는 강 슬라브를,

열간 압연 후,

1 회의 냉간 압연 혹은 온간 압연 또는 중간 소둔을 끼고 2 회 이상의 냉간 압연 혹은 온간 압연에 의해 최종 판 두께로 하고,

이어서 소둔 온도 : 700℃ 이상 1050℃ 이하의 조건에서 마무리 소둔을 실시하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 최종 판 두께를 0.15㎜ 이상으로 하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 11

제 7 항에 나타내는 조성이 되는 강 슬라브를,

열간 압연 후,

1 회의 냉간 압연 혹은 온간 압연 또는 중간 소둔을 끼고 2 회 이상의 냉간 압연 혹은 온간 압연에 의해 최종 판 두께로 하고,

이어서 소둔 온도 : 700℃ 이상 1050℃ 이하의 조건에서 마무리 소둔을 실시하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

열간 압연 직후, 열연판 소둔을 실시하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

열간 압연 직후, 열연판 소둔을 실시하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 고강도 무방향성 전자 강판 (high-strength non-oriented electrical steel sheet) 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 강판은 특히, 고속 회전기의 로터를 전형예로 하는, 큰 응력이 걸리는 전자 부품에 사용하는 데 바람직하다. 여기에서 고속 회전기로서는, 예를 들어 터빈 발전기나, 전기 자동차 및 하이브리드 자동차의 구동 모터, 혹은 로봇이나 공작기계의 서보 모터 등을 들 수 있다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 모터의 구동 시스템의 발달에 의해, 구동 전원의 주파수 제어가 가능하게 되었기 때문에, 가변속 운전을 실시하는 모터나, 상용 주파수 이상으로 고속 회전을 실시하는 모터가 증가되고 있다. 이러한 고속 회전을 수반하는 모터에서는, 회전체 (rotor) 에 작용하는 원심력은, 회전 반경에 비례하고, 또한 회전 속도의 2 승에 비례하여 커진다. 이 때문에, 특히 중·대형의 고속 모터의 로터재에는 고강도 (특히 높은 항장력 (tensile strength)) 가 필요하게 된다.

[0003] 또, 최근, 하이브리드 자동차의 구동 모터나 압축기 모터 등에서의 채용이 증가되고 있는 매립 자석형 DC 인버터 제어 모터 (inverter controlled brushless DC motor) 에서는, 로터에 슬릿을 형성하여 자석을 매립하고 있다. 이 때문에, 모터 회전시에는 슬릿간의 좁은 브릿지부에 응력이 집중되므로, 로터에 사용되는 코어 재료

에는 높은 기계적 강도 (mechanical strength) 가 필요하게 된다. 또, 모터의 가감속 운전이나 진동에 수반하여, 응력 상태가 변화되기 때문에, 로터에 사용되는 코어 (철심) 재료는 높은 피로 강도를 갖는 것이 바람직하다.

[0004] 한편으로, 모터나 발전기 등의 회전 기기는, 전자기 현상을 이용하기 위해서 그 코어 소재에는 전자기 특성 (electromagnetical properties) 이 우수한 것 (즉, 철손 (iron loss) 이 낮고, 바람직하게는 자속 밀도 (magnetic flus density) 가 높은 것) 도 요구된다.

[0005] 특히, 고속 회전 모터에서는, 고주파 자속에 의해 발생하는 와전류가 모터 효율 (mortor efficiency) 저하의 원인이 되기 때문에, 고주파 철손이 낮은 (즉 고주파 철손 특성이 우수한) 것이 중요하다.

[0006] 통상적으로, 로터용 코어는 프레스 펀칭한 무방향성 전자 강판을 적층하여 사용하지만, 고속 회전 모터에 있어서 로터의 소재가 상기 서술한 기계적 강도를 만족시킬 수 없는 경우에는, 보다 고강도의 주강제 (鑄鋼製) 로터 등을 사용하지 않을 수 없다. 그러나, 주물제 로터는 적층체가 아니라 일체물이기 때문에, 와전류손 (eddycurrent loss) 이 전자 강판을 적층한 로터보다 대폭 상승한다는 문제가 있다.

[0007] 따라서, 자기 특성이 우수하고, 또한 고강도의 전자 강판이 로터용 소재로서 요망되고 있다.

[0008] 강판의 고강도화 수법으로서는, 고용 강화 (solid solution hardening), 석출 강화 (precipitation hardening), 결정립 미세화 강화 (fine-grain hardening) 및 복합 조직 강화 (complex-phase hardening) 등이 알려져 있지만, 이들 강화 수법은 모두, 자기 특성을 열화시키기 때문에, 일반적으로는 강도와 자기 특성의 양립은 매우 곤란하다.

[0009] 이러한 상황하에서, 고강도를 갖는 무방향성 전자 강판에 관하여, 몇가지 제안이 이루어져 있다.

[0010] 예를 들어, 일본 공개특허공보 소60-238421호에는, Si 함유량을 3.5 ~ 7.0% (질량%, 이하 동일) 로 높게 하고, 추가로 고용 강화를 위해 Ti, W, Mo, Mn, Ni, Co, Al 등의 원소를 첨가하여 고강도화를 도모하는 방법이 제안되어 있다. 또, 일본 공개특허공보 소62-112723호에는, 상기의 강화법에 부가하여 마무리 소둔 (final annealing) 조건을 제어함으로써, 결정 입경을 0.01 ~ 5.0㎜ 로 하여, 자기 특성을 개선하는 방법이 제안되어 있다.

[0011] 그러나, 이들 방법을 공장 생산에 적용한 경우, 열연 후의 압연 라인에 있어서 판 파단 등의 트러블이 발생하기 쉬워, 수율 저하나 라인 정지를 피할 수 없게 되는 등의 문제가 있다. 또한, 판 파단에 대해서는, 냉간 압연을 판온 수백 ℃ 의 온간 압연 (warm rolling) 으로 하면 경감된다. 그러나 온간 압연을 위한 설비 대응이 필요해지는 점, 생산상의 제약이 커지는 점 등, 공정 관리상의 부하가 증대된다.

[0012] 또, 일본 공개특허공보 평2-22442호에는, Si 함유량 2.0 ~ 3.5% 의 강에 Mn 및 Ni 로 고용 강화를 도모하는 방법이 제안되어 있다. 또, 일본 공개특허공보 평6-330255호에는 Si 함유량 2.0 이상 4.0% 미만의 강에 있어서 Nb, Zr, Ti 및 V 의 탄질화물 (carbonitride) 에 의한 석출 강화 및 세립화 경화를 이용하는 기술이, 그리고 일본 공개특허공보 평2-8346호에는 이것에 Mn 및 Ni 의 첨가에 의한 고용 강화를 부가하여, 고강도 그리고 자기 특성의 양립을 도모하는 기술이 각각 제안되어 있다.

[0013] 그러나, 일본 공개특허공보 평2-22442호에 기재된 방법으로는 충분한 강도를얻을 수 없고, 일본 공개특허공보 평6-330255호 및 일본 공개특허공보 평2-8346호의 방법으로는 높은 강도를 얻은 경우, 자기 특성의 저하가 크다는 기술적 과제가 남는다.

[0014] 또한, 상기의 방법에 따라 제작한 강판에 대해, 피로 특성을 평가한 바, 고강도가 얻어지는 경우이어도 기대에 알맞는 피로 특성이 얻어지지 않는 것이 판명되었다. 즉, 강의 내력 (yield strength) 이나 항장력을 단순히 높여도, 피로 특성은 향상되지 않는 경우가 많고, 피로 특성까지 고려한 재료 설계 수법은 확립되어 있지 않은 것이 현상황이었다.

[0015] 피로 특성에 주목한 고강도 전자 강판으로서는, 일본 공개특허공보 2001-234303호에, Si 함유량이 3.3% 이하인 전자 강판에 대해, 그 강 조성에 따라 결정 입경을 제어함으로써, 350㎫ 이상의 피로 한도를 달성하는 기술이 개시되어 있다. 그러나, 이 방법으로는, 피로 한도의 도달 레벨 자체가 낮아 (실적으로 최대 약 430㎫), 현재 요망되는 레벨, 예를 들어 피로 한도 (fatigue limit) : 500㎫ 이상을 만족시키는 것은 아니었다.

[0016] 고강도 전자 강판의 제조 방법으로서는, 그 밖에도 일본 공개특허공보 2005-113185호에, 0.2 ~ 3.5% 의 Si 을 함유하는 강에 대해, 강재 내부에 가공 조직 (work hardening structure) 을 잔존시킴으로써 고강도화를 도모하

는 기술이 제안되어 있다. 그 구체적 방법으로서 냉간 압연 후에 열처리를 실시하지 않거나, 실시하더라도 750℃ 이상에서 30 초 이상 유지에 상당하는 정도에는 미치지 않고, 바람직하게는 700℃ 이하, 더욱 바람직하게는 650℃ 이하, 600℃ 이하, 550℃ 이하 및 500℃ 이하로 하는 수단이 개시되어 있다. 또한 750℃-30 초의 소둔에서 가공 조직률 5%, 700℃-30 초에서 20%, 600%-30 초에서 50% 를 실적으로서 예시하고 있다.

[0017] 이 경우, 소둔 온도가 저온이기 때문에, 충분한 압연 스트립의 형상 교정이 실시되지 않는다는 문제가 있다. 그리고, 강판 형상이 불량이면, 모터용 코어 등에 적층 가공한 후의 점적률 (lamination factor) 이 저하되는 점, 로터로서 고속 회전했을 때의 응력 분포가 불균일해지는 점 등의 문제가 발생한다.

[0018] 또, 일반적으로 무방향성 전자 강판의 마무리 소둔은 연속 소둔로를 이용하여 실시되고 있고, 노내는 강판 표면의 산화를 억제하기 위해서 수 % 이상의 수소가스를 포함하는 분위기로 조정되어 있는 것이 통례이다. 이러한 연속 소둔 설비에 있어서, 700℃ 를 밑도는 저온 소둔을 실시하려면, 노온 설정의 전환에 시간을 필요로 할 뿐만 아니라, 수소 폭발을 회피하기 위해서 노내 분위기의 치환이 필요해지는 등의, 다대한 조업상의 제약이 발생하게 된다.

[0019] 또한 이 기술을, 고온 마무리 소둔이나 코팅 도포-베이킹 처리 등의 후에, 예를 들어 재압연에 의해 가공 조직을 도입하여 적용하는 경우, 제조 공정의 추가가 되어 비용 상승이나 설비상의 제약이 발생하게 된다. 게다가, 마무리 소둔 후에 도포·베이킹된 강판 표면의 절연 코팅이 그 후의 가공 처리에 의해 파괴되어 절연성이 저하된다는 문제도 발생한다.

[0020] 또한 일본 공개특허공보 평4-337050호에는, Si : 4.0 ~ 7.0% 의 조성에 있어서 냉간 압연 후의 강판을 Si 함유량과의 관계로 규정되는 특정 온도에서 열처리함으로써, 결정 조직의 재결정률을 95% 이하로 하고, 잔부를 실질적으로 압연 조직으로 하여 강화를 도모하는 기술이 개시되어 있다. 당해 식에서는, 예를 들어 700℃ 에서 열처리하는 경우, 약 5.9% 이상의 Si 이 필요하다. 이 기술에서는 80kgf/㎟ 이상의 고항장력, 어느 정도의 신장, 및 우수한 자기 특성을 겸비한 실용적인 연자성 재료가 얻어지는 것으로 되어 있다.

[0021] 또 일본 공개특허공보 2005-264315호에는, Si : 0.2 ~ 4.0% 를 함유하고, 페라이트상을 주상으로 하는 전자 강판에 있어서, Ti, Nb, Ni 등을 첨가하여 강재 내부에 직경 0.050㎛ 이하의 금속간 화합물을 생성하여 강화를 도모하는 방법이 개시되어 있다. 이 기술에서는 60kgf/㎟ 이상의 항장력과 내마모성을 갖고, 자속 밀도나 철손이 우수한 무방향성 전자 강판을 냉간 압연성 등을 손상시키지 않고 제조할 수 있는 것으로 되어 있다.

발명의 상세한 설명

[0022] 발명의 개시

[0023] 발명이 해결하고자 하는 과제

[0024] 상기한 바와 같이, 고강도의 무방향성 전자 강판에 관해서 몇가지 제안이 이루어져 왔지만, 필요한 강도와 양호한 자기 특성 그리고 강판 형상을 확보하면서, 통상적인 전자 강판 제조 설비를 이용하여 공업적으로 안정되게 제조하는 것은 달성할 수 없는 것이 현상황이다.

[0025] 그래서, 본 발명의 목적은 강판 제조상의 제약이나 새로운 공정을 통상적인 무방향성 전자 강판의 제조에 실질적으로 부가하는 일 없이, 고강도이고 또한 판형상과 자기 특성도 우수한 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0026] 본 발명은 또, 고강도이고, 우수한 자기 특성 및 피로 특성을 갖고, 또한 제조성도 우수한 무방향성 전자 강판을 그 유리한 제조 방법과 함께 제안하는 것을 목적으로 한다.

[0027] 과제를 해결하기 위한 수단

[0028] 본 발명의 요지는 이하와 같다.

[0029] (1) 질량% 로, C 및 N 을, C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 억제하고, Si : 1.5% 이상 5.0% 이하, Mn : 3.0% 이하, Al : 3.0% 이하, P : 0.2% 이하, S : 0.01% 이하를 함유하고, 추가로 Ti 을 0.05% 이상 0.8% 이하, 또한 Ti/(C+N)≥16 을 만족하는 범위에서 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물인 성분 조성을 갖고, 또한, 강판 중의 미재결정 회복 조직 (non-recrystallized recovery structure) 의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 것을 특징으로 하는 고강도 무방향성 전자 강판.

[0030] 여기에서, 재결정 및 미재결정 회복 조직에 대해 설명한다. 먼저, 재결정이란, 결함 밀도가 낮고 열역학적

으로 안정적인 결정립이 새롭게 형성되어, 주위의 결함 밀도가 높은 매트릭스를 잠식하면서 성장하는 현상이다. 재결정에 있어서는 결정립계가 이동함으로써 결함 밀도는 급격하게 감소한다.

[0031] 한편, 회복이란, 입계의 통과에 의하지 않고 결함 자체가 싱크 (sink) 를 향해 열적으로 이동하여 전위 밀도가 저하되는 결과, 변형 에너지가 저하되어 가는 현상이다. 회복은, 무방향성 전자 강판에 통상 적용되는 단시간의 연속 소둔에서는, 소둔 온도 500℃ 이상의 조건에서 처리한 경우에 명확하게 나타난다. 회복 조직과 재결정 조직은 혼재될 수 있지만, 고온에서의 소둔일수록 재결정이 우세해진다. 통상적인 조성의 전자 강판에서는 600 ~ 650℃ 이상에서 급격하게 재결정이 진행되고, 700℃ 이상에서는 대부분이 재결정 조직이 된다.

[0032] 또한, 500℃ 이상에서 소둔한 강에 있어서, 재결정 조직과 미재결정의 회복 조직은, 광학 현미경에 의한 조직 (미시적 조직 : microstructure) 관찰로 용이하게 구별할 수 있다. 여기에서, 조직 관찰은 통상적으로 실시되는, 판 두께 방향 단면을 연마한 후, 나이탈 (질산 나이탈 용액 : nitric alcohol solution) 등에 의해 에칭함으로써 가능해진다.

[0033] 또한, 상기 (1) 의 발명에 있어서는 질량% 로, Si : 1.5% 이상 4.0% 이하인 것이 바람직하다. 또, 상기 (1) 의 발명에 있어서는 질량% 로, Ni : 0.1 ~ 5.0%, Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01% 및 Co : 0.2 ~ 5.0% 로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 1 종을 추가로 함유하는 것이 바람직하다. 이들 바람직한 조건은, 자유롭게 조합해도 된다.

[0034] (2) 질량% 로, C 및 N 을, C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 억제하고, Si : 1.5% 이상 5.0% 이하, Mn : 3.0% 이하, Al : 3.0% 이하, P : 0.2질량% 이하, S : 0.01질량% 이하 함유하고, 추가로 Ti 을 0.05질량% 이상 0.8질량% 이하, 또한 Ti/(C+N)≥16 을 만족하는 범위에서 함유하는 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하고, 이어서, 냉간 또는 온간 압연에서 최종 판 두께의 냉연 코일로 한 후, 마무리 소둔을 실시할 때, 그 마무리 소둔을 소둔 온도 700℃ 이상 850℃ 이하, 노내 장력 (strip unit tension in furnace) 2.5㎫ 이상 20㎫ 이하에서 실시하는 것을 특징으로 하는 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

[0035] 여기에서, 노내 장력은, 강대 (鋼帶) 가 소둔로 내에서 최고 온도가 되는 노 섹션 (대부분은 가열대 (heating section) 후단이나 균열대 (soaking section)) 에서의 강대의 단위 단면적당 장력이다.

[0036] 또한, 상기 (2) 의 발명에 있어서는 상기 (1) 의 발명과 동일하게, 강 슬래브의 성분 조성에 있어서 잔부가 Fe 및 불가피한 불순물인 것이 바람직하다.

[0037] 또 상기 (2) 의 발명에 있어서도 상기 (1) 의 발명과 동일하게 질량% 로, Si : 1.5% 이상 4.0% 이하인 것, 및/또는 질량% 로 Ni : 0.1 ~ 5.0%, Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01% 및 Co : 0.2 ~ 5.0% 로 이루어지는 군에서 선택되는 적어도 1 종을 추가로 함유하는 것이 바람직하다.

[0038] 상기 (2) 의 발명은, 특히 상기 (1) 의 발명의 강판, 즉, 미재결정 회복 조직의 존재 비율이 면적률로 50% 이상인 강판을 얻기 위해서 바람직하게 사용된다.

[0039] 또, 발명자들은, 상기의 과제를 해결하기 위하여 무방향성 전자 강판의 제조성 및 기계적 특성, 피로 특성 및 자기 특성에 미치는 각종 강화 수법의 영향 에 대해, 예의 검토를 실시하였다. 그리고, 고용 강화를 위해서, Si 등의 고용 강화 원소의 첨가량을 높인 고합금 전자 강판의 제조성 (구체적으로는 열연판 및 열연 소둔판의 휨 (bending) 특성 및 냉간 압연성) 에 미치는 합금 성분의 영향에 대해 상세하게 검토하였다.

[0040] 그 결과, 탄질화물 형성 원소에 관해서 이하에 관한 것을 알아냈다.

[0041] (a) 고용 C, N 을 최대한 저감시킴으로써, 3.5 mass% 초과 의 Si 을 함유하는 고합금강에 대해서도, 그 압연성을 대폭 높일 수 있게 된다.

[0042] (b) 그러기 위해서는, C, N 량을 저감시킴과 함께, Ti, V, Nb, Zr 등의 탄질화물 형성 원소를 C, N 에 대해 원자비로 충분히 과잉으로 첨가하는 것이 유효하다.

[0043] 상기의 견지에 의해, 고합금 전자 강판의 제조시에 판 파단 등의 공정 상의 트러블을 대폭 저감시킨 고생산성화가 가능해진다.

[0044] 다음으로, 이들 탄질화물 형성 원소가 전자 강판의 기계적 특성, 피로 특성 및 자기 특성에 미치는 영향에 대해

조사를 실시하여 이하를 알아냈다.

[0045] (c) Ti, V, Nb, Zr 의 탄질화물은 석출 강화 작용에 의해 고항장력화에 유효한 반면, 그 존재량이 많으면 피로 특성이나 자기 특성 (철손 및 자속 밀도) 의 열화를 초래한다.

[0046] (d) 이것에 대해서, C, N 에 대해 과잉으로 첨가한 Ti, V, Nb, Zr 은, 고용 강화 작용을 갖고, 항장력을 대폭 높임과 함께 피로 특성을 향상시키고, 게다가 자기 특성의 열화도 석출 강화의 경우와 비교하여 대폭 경감된다.

[0047] 또한, 주요한 고용 원소의 기계적 특성, 피로 특성 및 자기 특성에 미치는 영향에 관해서 조사한 결과, 이하에 관한 것을 알아냈다.

[0048] (e) 무방향성 전자 강판에 첨가되는 주요 원소 중, Si 을 이용한 고용 강화가 기계적 특성과 자기 특성의 양립이라는 관점에서 가장 유효하다. 그러나, Si 첨가량이 과잉으로 되면, 인장 강도 (항장력) 는 높아지지만 피로 특성이 대폭 열화된다. 즉 균형적이며, 기계적 특성, 피로 특성 및 자기 특성을 개선하려면, Si 첨가량에 최적 범위가 존재한다.

[0049] 본 발명은 또, 이상의 신규 견지에도 기초하여 개발된 것으로서, 그 요지 구성은 다음과 같다.

[0050] (3)

[0051] (3-1) 질량% 로, C 및 N 을, C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 하고, Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 3.0% 이하, Al : 3.0% 이하, P : 0.2% 이하 및 S : 0.01% 이하를 함유하고,

[0052] 또는 추가로 Ni : 5.0% 이하를 함유하고,

[0053] 추가로 Ti, V 중 어느 1 종 또는 2 종을, 합계 : 0.01% 이상 0.8% 이하, 또한 (Ti+V)/(C+N)≥16 을 만족하는 범위에서 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되는 것을 특징으로 하는 제조성이 우수하고 또한 피로 특성 및 자기 특성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판.

[0054] (3-2) 질량% 로, C 및 N 을, C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 하고, Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 3.0% 이하, Al : 3.0% 이하, P : 0.2% 이하 및 S : 0.01% 이하를 함유하고,

[0055] 또는 추가로 Ni : 5.0% 이하를 함유하고,

[0056] 추가로 Nb, Zr 중 어느 1 종 또는 2 종을, 합계 : 0.01% 이상 0.5% 이하, 또한 (Nb+Zr)/(C+N)≥10 을 만족하는 범위에서 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되는 것을 특징으로 하는 제조성이 우수하고 또한 피로 특성 및 자기 특성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판.

[0057] (3-3) 질량% 로, C 및 N 을, C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 하고, Si : 3.5% 초과 5.0% 이하, Mn : 3.0% 이하, Al : 3.0% 이하, P : 0.2% 이하 및 S : 0.01% 이하를 함유하고,

[0058] 또는 추가로 Ni : 5.0% 이하를 함유하고,

[0059] 추가로 Ti, V 중 적어도 1 종과 Nb, Zr 중 적어도 1 종을, 0.01%≤(Ti+V+Nb+Zr)≤0.5%, 또한 (Ti+V+Nb+Zr)/(C+N)≥16 을 만족하는 범위에서 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피한 불순물의 조성이 되는 것을 특징으로 하는 제조성이 우수하고 또한 피로 특성 및 자기 특성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판.

[0060] (3-4) 상기 (3-1) ~ (3-3) 중 어느 하나의 발명에 있어서,질량% 로, Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01% 및 Co : 0.2 ~ 5.0% 로 이루어지는 군에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 추가로 함유하는 조성이 되는 것을 특징으로 하는 제조성이 우수하고 또한 피로 특성 및 자기 특성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판.

[0061] (4) 상기 (3-1) ~ (3-4) 중 어느 하나의 발명에 나타내는 조성이 되는 강 슬래브를 열간 압연 후, 필요에 따라 열연판 소둔을 실시한 후, 1 회의 냉간 압연 혹은 온간 압연 또는 중간 소둔을 사이에 둔 2 회 이상의 냉간 압연 혹은 온간 압연에 의해 최종 판 두께로 하고, 이어서 소둔 온도 : 700℃ 이상 1050℃ 이하의 조건에서 마무리 소둔을 실시하는 것을 특징으로 하는, 제조성이 우수하고 또한 피로 특성 및 자기 특성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

[0062] 여기에서, 상기 최종 판 두께를 0.15㎜ 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0063] 본 발명, 특히 상기 (1) 및 (2) 의 발명에 의하면, 성분 조성 및 조직을 규제함으로써, 강판 제조상의 제약이나

새로운 공정을 더하지 않고, 고강도이고 또한 판 형상 및 자기 특성도 우수한 무방향성 전자 강판을 제공할 수 있다.

[0064] 또, 본 발명, 특히 (3) ((3-1) ~ (3-4)) 및 (4) 의 발명에 의하면, 고강도이고, 우수한 자기 특성을 갖는 것은 말할 필요도 없고, 피로 특성이 우수하고, 또한 제조성도 우수한 무방향성 전자 강판을 안정적으로 얻을 수 있다.

실 시 예

[0165] (실시예 1 : 발명 (1)·(2))

[0166] 표 1 에 나타내는 성분 조성의 강 슬래브를 판 두께 2.5㎜ 까지 열간 압연 후, 900℃ 에서 60s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정 및 판 두께 0.35㎜ 까지의 냉간 압연을 실시하였다. 여기에서, Ti 량이 본 발명의 범위를 초과하고 있는 강 G 는 냉간 압연 후에 박리 결함이 다발하였기 때문에, 이후의 처리는 실시하지 않았다. 또, Si 량이 4.3% 로 높고 Ti 이 거의 함유되어 있지 않은 강 N 과, Si 량이 본 발명 범위를 초과하고 있는 강 P 는, 냉간 압연 중에 판이 파단되었기 때문에, 이후의 처리는 실시하지 않았다. 이어서, 표 2 에 나타내는 조건에서 균열시간 20s 의 마무리 소둔을 실시하였다. 또한, 노내 장력은 로드 셀을 베어링 하부에 장착한 텐션 미터 롤 방식의 노내 장력계로 측정하였다.

표 1

[0167]

강	화학성분 (질량%)								Ti/(C+N)
	Si	Mn	Al	P	S	C	N	Ti	C+N	
A	2.8	0.45	0.35	0.01	0.001	0.0025	0.0023	0.0009	0.0048	0.2
B	2.8	0.44	0.36	0.01	0.002	0.0012	0.0018	0.056	0.0030	18.7
C	2.9	0.42	0.35	0.02	0.005	0.0017	0.0019	0.14	0.0036	38.9
D	2.9	0.44	0.36	0.01	0.001	0.0045	0.0033	0.35	0.0078	44.9
E	2.8	0.52	0.35	0.02	0.002	0.0008	0.0015	0.55	0.0023	239.1
F	3.4	0.05	0.001	0.01	0.0004	0.0023	0.0031	0.75	0.0054	138.9
G	2.9	0.05	0.001	0.01	0.0015	0.0018	0.0022	0.88	0.0040	220.0
H	2.9	0.05	0.001	0.01	0.0015	0.0020	0.0020	0.73	0.0040	182.5
I	2.8	0.42	0.36	0.02	0.002	0.0021	0.0022	0.062	0.0043	14.4
J	2.8	0.40	0.36	0.02	0.002	0.0048	0.0076	0.55	0.0124	44.4
K	2.9	0.06	0.001	0.01	0.001	0.0025	0.0026	0.41	0.0051	80.4
L	3.8	0.07	0.001	0.01	0.001	0.0023	0.0028	0.40	0.0051	78.4
M	4.3	0.05	0.001	0.01	0.0005	0.0024	0.0026	0.41	0.0050	82.0
N	4.2	0.05	0.001	0.01	0.0008	0.0025	0.0025	0.0005	0.0050	0.1
O	3.3	0.45	1.0	0.02	0.001	0.0032	0.0023	0.42	0.0055	76.4
P	5.2	0.05	0.001	0.01	0.0005	0.0028	0.0022	0.41	0.0050	82.0
Q	1.8	2.0	1.0	0.12	0.001	0.0013	0.0015	0.20	0.0028	71.4
R	1.8	2.0	1.0	0.12	0.001	0.0012	0.0016	0.03	0.0028	10.7

[0168] 이렇게 하여 얻어진 강판의 기계적 특성에 대해서, 압연 방향과 평행하게 잘라낸 JIS5호 인장 시험편을 이용하여 평가하고, 자기 특성에 대해 압연 방향 및 압연 직각 방향으로부터 등량의 엡스타인 시험편 (Epstein test pieces) 을 채취하여 평가하였다.

[0169] 또, 강판을 압연 방향을 따라 절단하고, 그 두께 단면을 연마하여 조직 관찰을 실시하여 재결정 조직의 면적 비율을 구하였다. 마무리 소둔 온도 500℃ 이상의 조직에 대해서, 재결정부를 제외한 면적을 회복 조직 비율로 간주하였다.

[0170] 또한 JIS C 2550 에 준거하여 소둔 전후의 강판의 평탄도 (flatness) 도 측정하였다.

[0171] 이상의 측정 또는 평가 결과를 표 2 에 병기한다.

표 2

No.	강 No.	마무리 소둔 온도 (℃)	노내 장력 (MPa)	철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	인장 강도 TS (MPa)	회복 조직 비율 (%)	재결정 조직 비율 (%)	소둔전 평탄도 (%)	소둔후 평탄도 (%)	비고
1	A	0	5	105	990	0	0	3.6	3.6	비교예
2	A	400	5	92	958	0	0	3.6	3.6	비교예
3	A	600	5	53.5	832	100	0	3.6	3.4	비교예
4	A	650	5	40	704	64	36	3.6	3.1	비교예
5	A	800	5	22.5	550	0	100	3.5	1.9	비교예
6	B	700	5	38	784	100	0	3.4	2.7	발명예
7	B	800	5	32	635	58	42	3.4	1.9	발명예
8	C	700	5	43	830	100	0	3.5	2.4	발명예
9	C	800	5	32.5	667	65	35	3.6	1.9	발명예
10	D	700	5	48	930	100	0	3.4	2.8	발명예
11	D	800	5	32.1	688	77	23	3.3	2.0	발명예
12	E	700	5	39	875	100	0	4.0	2.5	발명예
13	E	750	5	37	852	100	0	4.0	2.3	발명예
14	E	800	5	36	758	85	15	4.0	1.9	발명예
15	E	850	5	30	714	67	33	4.0	1.8	발명예
15b	E	870	5	31	588	43	57	4.0	1.8	비교예
16	E	1000	5	18	578	0	100	4.0	1.8	비교예
17	F	750	5	45	939	100	0	4.2	2.1	발명예
18	F	800	5	38	821	84	16	4.0	1.8	발명예
19	F	850	5	31	745	70	30	3.9	1.7	발명예
32	H	800	5	37	810	75	25	4.2	2.1	발명예
33	I	800	5	29.2	562	32	68	4.2	1.9	비교예
34	J	800	5	53	766	75	25	4.7	2.5	비교예
35	K	800	5	44	751	73	27	4.1	2.0	발명예
36	L	800	5	39	830	70	30	4.6	2.1	발명예
37	M	800	5	35	866	78	22	4.4	2.1	발명예
38	O	800	5	39	818	75	25	4.2	1.9	발명예
39	Q	800	5	31.4	642	68	32	3.9	1.9	발명예
40	R	800	5	23.7	495	0	100	3.8	1.8	비교예

[0172]

[0173] 주) 강 G : 냉간 압연시에 박리 결함 다발로 이후 처리하지 않음

[0174] 강 N, P : 냉간 압연시에 파단되었기 때문에, 이후 처리하지 않음

[0175] 표 2 에 있어서, 종래 조성의 강 A 를 소재로 한 압연 상태인 No.1 이나 마무리 소둔 온도가 강의 회복 온도에 도달하지 않은 400℃ 에서 소둔한 No.2 는 100% 가공 조직으로 이루어져 인장 강도는 높지 않지만 철손이 현저하게 떨어진다. 또, 600℃ ~ 650℃ 에서 소둔하여 회복 조직을 잔존시킨 No.3 및 No.4 는 고강도이며, 철손도 개선 경향은 있으나, 평탄도는 소둔 전후로 거의 개선되지 않아, 강판 형상인 점에서는 부족하다. 한편, 미재결정립의 면적률이 50% 미만이고, 재결정립이 주체가 된 No.5 나 15b 는 강도의 저하가 현저하다. 또, 강 중 Ti 량이 C+N 의 16 배에 도달하지 않은 No.33 및 No.41 에서는 충분한 강도를 얻을 수 없고, C+N 이 0.010% 를 초과하는 No.34 에서는 철손이 높다.

[0176] 이에 반해, 본 발명의 강 조성으로 이루어지는 강을 사용한 발명예인 No.6 ~ 15, 17 ~ 19, 32, 35 ~ 38 및 40 은 높은 강도와 저철손성을 나타내고, 또한 강판 형상인 점에서도 우수하다.

[0177] 또한, 강 중 Si 량이 4.0% 를 초과하는 No.37 및 Si+Al 량이 4.0% 를 초과하는 No.38 은 열연판 소둔 후의 굽힘 특성이 각각 27 회 및 23 회이다. 이에 반해, 다른 발명예는 모두 40 회 이상이 되어 보다 제조성이 우수하다. 여기에서, 굽힘 특성은 온도 30℃ 에 있어서 굽힘 반경 15㎜, 굽힘 각도 90° 의 반복 굽힘 시험을 실시하여 강판에 균열이 발생할 때까지의 횟수로 평가한 것이다.

[0178] (실시예 2 : 발명 (1)·(2))

[0179] 표 1 의 강 A 및 D 의 슬래브를 판 두께 2㎜ 까지 열간 압연 후, 800℃ 에서 60s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정 그리고 판 두께 0.35㎜ 까지의 냉간 압연을 실시하여 코일을 제작하였다. 얻어진 코일을 표 3 에 나타내는 조건에서 연속 소둔로에 의한 마무리 소둔을 실시하여 실시예 1 과 동일한 평가를 실시하였다.

[0180] 그 결과를 표 3 에 병기한다. 표 3 으로부터 알 수 있는 바와 같이, 강 A 및 D 모두, 소둔 온도가 낮은 650 ℃ 에서는, 노내 장력을 높여도 강판 형상의 개선의 정도는 작다. 한편, 소둔 온도 800℃ 로 높여서 노내 장력을 본 발명의 범위로 제어한 코일의 강판 형상은 현저하게 개선되어 있다. 이 마무리 소둔에 의해 종래강 A 에서는 강도 저하가 커져 고강도재로서의 사용에는 부족한 것에 반해, 본 발명예인 강 D 에서는, 고강도와 우수한 강판 형상의 양립이 가능하다.

[0181] 또한, 노내 장력이 적정 범위 상한의 20㎫ 를 초과한 경우에는 철손이 증가되며 강판 형상도 열화된다.

표 3

[0182]

No.	강No.	마무리 소둔 온도 (℃)	노내 장력 (MPa)	철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	인장 강도 TS (MPa)	회복 조직 비율 (%)	재결정 조직 비율 (%)	소둔전 평탄도 (%)	소둔후 평탄도 (%)	비고
20	A	650	5	40.1	704	65	35	3.6	3.1	비교예
21	A	650	15	39.5	701	63	37	3.6	2.8	비교예
22	A	800	5	22.5	550	0	100	3.5	1.9	비교예
23	A	800	15	21.7	548	0	100	3.6	1.4	비교예
24	D	650	5	61.3	998	100	0	3.4	3.1	발명예
25	D	650	20	62.3	1009	100	0	3.4	2.6	발명예
26	D	800	1.5	32.3	681	78	22	3.4	2.8	발명예 (제법 부적합)
27	D	800	5	32.1	688	77	23	3.3	2.0	발명예
28	D	800	10	31.9	685	75	25	3.4	1.7	발명예
29	D	800	15	31.9	679	78	22	3.4	1.6	발명예
30	D	800	20	32.5	682	78	22	3.4	1.6	발명예
31	D	800	23	37.8	680	78	22	3.4	2.2	발명예 (제법 부적합)

[0183] (실시예 3 : 발명 (1)·(2))

[0184] 표 4 에 나타내는 성분 조성의 강 슬래브를 하기 a ~ c 중 어느 하나의 조건에서 최종 판 두께까지의 냉간 압연을 실시하였다.

[0185] a : 판 두께 2.0㎜ 까지 열연 후, 열연판 소둔을 실시하지 않고, 최종 판 두께 0.35㎜ 까지 온간 압연 (판온 250℃)

[0186] b : 판 두께 3.8㎜ 까지 열연 후, 열연판 소둔을 실시하지 않고, 1.5㎜ 까지 냉간 압연하고, 그 후 1000℃-30s 유지한 중간 소둔을 실시한 후, 최종 판 두께 0.35㎜ 까지 냉간 압연

[0187] c : 판 두께 2.5㎜ 까지 열연 후, 1050℃-30s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 1.0㎜ 까지 냉간 압연하고, 그 후 1000℃-30s 유지한 중간 소둔을 실시한 후, 최종 판 두께 0.20㎜ 까지 온간 압연 (판온 200℃)

[0188] 이어서, 표 5 에 나타내는 조건에서 균열시간 10s 의 마무리 소둔을 실시하고, 실시예 1 과 동일한 평가를 실시하여 표 5 에 결과를 병기하였다. 각 본 발명 강은 우수한 강도 및 자기 특성을 양립시킨다.

표 4

[0189]

강	화학성분 (질량%)										Ti/(C+N)
	Si	Mn	Al	P	S	C	N	Ti	C+N	기타	
S	2.8	0.45	0.35	0.01	0.001	0.0020	0.0018	0.35	0.0038	Ni: 3.4	92.1
T	2.8	0.44	0.35	0.01	0.001	0.0021	0.0020	0.36	0.0041	Sb: 0.08	87.8
U	2.8	0.45	0.34	0.02	0.001	0.0022	0.0017	0.35	0.0039	Sn: 0.03	89.7
V	2.8	0.46	0.34	0.01	0.002	0.0019	0.0022	0.33	0.0041	B: 0.002 Ca: 0.002	80.5
W	2.8	0.45	0.36	0.01	0.001	0.0023	0.0018	0.35	0.0041	Sb: 0.05 REM: 0.004	85.4
X	2.8	0.45	0.35	0.01	0.001	0.0022	0.0019	0.34	0.0041	Co: 2.5	82.9
Y	2.8	0.43	0.35	0.01	0.001	0.0020	0.0019	0.35	0.0039	Ni: 4.3 Sn: 0.08 B: 0.003	89.7

표 5

No.	강 No.	압연 조건	마무리 소둔 온도 (℃)	노내 장력 (MPa)	철손 $W_{10/400}$ (W/kg)	인장 강도 TS (MPa)	회복 조직 비율 (%)	재결정 조직 비율 (%)	소둔전 평탄도 (%)	소둔후 평탄도 (%)	비고
42	S	a	800	10	33.5	768	77	23	3.8	2.0	발명예
43	T	a	770	10	35	785	89	11	3.9	2.2	발명예
44	U	a	850	10	32	707	60	40	3.9	1.8	발명예
45	V	b	800	15	33	772	74	26	3.9	2.0	발명예
46	W	b	720	15	42	840	100	0	3.6	2.0	발명예
47	X	c	780	15	28	855	88	12	4.1	1.9	발명예
48	Y	c	720	15	25	924	100	0	4.2	2.1	발명예

[0190]

[0191] (실시예 4 : 발명 (3)·(4))

[0192] 표 6 에 나타내는 성분 조성이 되는 강 슬래브를 판 두께 : 2㎜ 까지 열간 압연 후, 900℃ 에서 60s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정하고, 이어서 판 두께 : 0.35㎜ 까지 냉간 압연한 후, 950℃ 에서 30s 유지한 마무리 소둔을 실시하였다.

[0193] 그 때, 열연 소둔판을 30㎜ 폭으로 잘라내어, 온도 : 30℃ 에서 굽힘 반경 : 15㎜, 굽힘 각도 : 90° 의 반복 굽힘 시험 (repetition bending test) 을 실시하여 제조 라인에서의 통판성을 모의 평가하였다. 또, 냉간 압연성의 평가로서 압연판 단면의 가장자리 균열 깊이를 측정하였다.

[0194] 이렇게 하여 얻어진 전자 강판의 기계적 특성 (항장력 (TS)), 피로 특성 (피로 한도 강도 (FS)) 및 자기 특성 (자속 밀도 B_{50}, 고주파 철손 $W_{10/1000}$) 에 대해서 조사한 결과를 표 7 에 기재한다.

[0195] 또한, 각 특성의 평가 방법은 다음과 같다.

[0196] 기계적 특성은, 압연 방향과 평행하게 잘라낸 JIS 5호 인장 시험편을 이용하여 실시하였다.

[0197] 피로 특성은, 압연 방향과 평행하게 시험편을 잘라내고, 평행부 단면을 800번의 에머리지로 연마한 후, 응력비 : 0.1, 주파수 : 20Hz 의 부분 인장 (인장-인장) 으로 실시하고, 1000만 (107) 사이클 경과 후에도 판 파단이 발생하지 않는 최대 응력 (피로 한도 강도 (FS)) 으로 평가하였다.

[0198] 자기 특성은, 압연 방향 및 압연 직각 방향으로부터 등량의 엡스타인 시험편을 채취하여 평가하였다.

표 6

[0199]

강	화학성분 (질량%)											(Ti/V)/(C+N)
	Si	Mn	Al	Ni	P	S	C	N	C+N	Ti	V	
1	4.21	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0018	0.0023	0.0041	0.001	0	0.2
2	4.18	0.05	0	0	0.01	0.002	0.0019	0.0025	0.0044	0.01	0	2.3
3	4.20	0.04	0	0	0.02	0.002	0.0017	0.0022	0.0039	0.05	0	12.8
4	4.20	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0015	0.0023	0.0038	0.071	0	18.7
5	4.11	0.04	0	0	0.02	0.002	0.0019	0.0028	0.0047	0.15	0	31.9
6	4.29	0.04	0	0	0.01	0.002	0.0022	0.0026	0.0048	0.31	0	64.6
7	4.11	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0024	0.0022	0.0046	0.49	0	106.5
8	4.10	0.06	0	0	0.01	0.002	0.0022	0.0024	0.0046	0.75	0	163.0
9	4.21	0.06	0	0	0.01	0.001	0.0019	0.0021	0.0040	1.19	0	297.5
10	4.19	0.05	0	0	0.01	0.002	0.0042	0.0035	0.0077	0.0005	0	0.1
11	4.10	0.04	0	0	0.02	0.002	0.0044	0.0036	0.0080	0.04	0	5.0
12	4.20	0.04	0	0	0.01	0.001	0.0038	0.0038	0.0076	0.08	0	10.5
13	4.11	0.04	0	0	0.02	0.002	0.0041	0.0040	0.0081	0.12	0	14.8
14	4.10	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0048	0.0044	0.0092	0.198	0	21.5
15	4.21	0.06	0	0	0.01	0.002	0.0047	0.0039	0.0086	0.31	0	36.0
16	4.10	0.05	0	0	0.01	0.002	0.0048	0.0033	0.0081	0.7	0	86.4
17	4.31	0.06	0	0	0.01	0.001	0.0044	0.0030	0.0074	0.92	0	124.3
18	4.11	0.06	0	0	0.01	0.002	0.0042	0.0034	0.0076	1.48	0	194.7
19	4.21	0.06	0	0	0.01	0.002	0.0153	0.0035	0.0188	0.0007	0	0.0
20	4.10	0.04	0	0	0.02	0.001	0.0148	0.0038	0.0186	0.04	0	2.2
21	4.29	0.04	0	0	0.01	0.002	0.0155	0.0041	0.0196	0.11	0	5.6
22	4.10	0.05	0	0	0.02	0.002	0.0152	0.0045	0.0197	0.195	0	9.9
23	4.19	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0151	0.0046	0.0197	0.35	0	17.8
24	4.10	0.04	0	0	0.01	0.002	0.0148	0.0049	0.0197	0.77	0	39.1
25	4.12	0.04	0	0	0.01	0.001	0.0152	0.0038	0.0190	0.95	0	50.0
26	4.28	0.05	0	0	0.01	0.002	0.0144	0.0031	0.0175	1.25	0	71.4
27	4.12	0.06	0	0	0.01	0.002	0.032	0.0033	0.0353	0.0008	0	0.0
28	4.20	0.04	0	0	0.02	0.001	0.033	0.0028	0.0358	0.098	0	2.7
29	4.20	0.05	0	0	0.01	0.002	0.035	0.0041	0.0391	0.22	0	5.6
30	4.28	0.06	0	0	0.01	0.002	0.032	0.0044	0.0364	0.43	0	11.8
31	4.11	0.05	0	0	0.02	0.001	0.033	0.0041	0.0371	0.62	0	16.7
32	4.19	0.04	0	0	0.01	0.002	0.033	0.0036	0.0366	0.82	0	22.4
33	4.11	0.04	0	0	0.02	0.002	0.031	0.0046	0.0356	1.03	0	28.9
58	3.22	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0025	0.0022	0.0047	0.48	0	102.1
59	3.71	0.05	0	0	0.01	0.001	0.0024	0.0024	0.0048	0.48	0	100.0

표 7

강	열연판 굽힘횟수 (회)	냉연판 균열깊이 (mm)	TS (MPa)	FS (MPa)	B_{50} (T)	$W_{10/1k}$ (W/kg)	비고
1	4.0	3.7	621	528	1.69	78	비교예
2	3.8	1.4	630	529	1.69	79	비교예
3	8.2	1.1	671	570	1.67	83	비교예
4	24.5	0.4	669	575	1.67	84	발명예
5	28.8	0.2	697	599	1.66	86	발명예
6	29.0	0.3	756	643	1.64	92	발명예
7	31.0	0.4	825	701	1.63	96	발명예
8	28.0	0.4	919	772	1.60	104	발명예
9	8.5	5.0	1090	850	1.56	122	비교예
10	3.0	5.4	632	525	1.69	83	비교예
11	3.0	4.1	635	545	1.67	88	비교예
12	5.5	3.5	695	570	1.66	95	비교예
13	10.4	1.3	735	610	1.66	96	비교예
14	23.9	0.7	755	634	1.65	99	발명예
15	24.8	0.5	799	687	1.64	106	발명예
16	26.5	0.7	950	808	1.60	119	발명예
17	9.0	0.6	1050	872	1.58	129	비교예
18	7.0	5.6	1220	1000	1.52	159	비교예
19	1.0	9.0	638	523	1.68	95	비교예
20	0.5	9.0	680	537	1.67	117	비교예
21	2.0	6.2	715	551	1.64	144	비교예
22	2.6	5.0	791	593	1.61	153	비교예
23	7.2	3.5	853	631	1.59	161	비교예
24	11.9	3.1	1006	734	1.55	180	비교예
25	6.2	4.8	1080	778	1.53	182	비교예
26	3.9	6.8	1195	848	1.50	191	비교예
27	1.0	9.0	651	508	1.67	118	비교예
28	0.5	9.0	733	535	1.64	159	비교예
29	1.4	9.0	855	581	1.61	190	비교예
30	0.5	5.8	1000	610	1.59	224	비교예
31	3.4	4.5	1065	660	1.57	229	비교예
32	7.2	4.3	1138	694	1.55	239	비교예
33	1.5	6.7	1218	706	1.53	243	비교예
58	76	0.1	587	464	1.66	117	비교예
59	43	0.3	762	609	1.65	101	발명예

[0200]

[0201] 표 7 에 나타내는 바와 같이, 본 발명에 따라, Si 을 3.5% 초과로 하며, C, N 량을 제어하고, 또한 적당량의 Ti 을 첨가한 발명예는 모두 제조성이 우수하며 높은 항장력과 피로 한도를 갖고, 또한 양호한 자기 특성을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

[0202] (실시예 5 : 발명 (3)·(4))

[0203] 표 8 에 나타내는 성분 조성이 되는 강 슬래브를 판 두께 : 2㎜ 까지 열간 압연 후, 900℃ 에서 60s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정하고, 이어서 판 두께 : 0.25㎜ 까지 냉간 압연한 후, 950℃ 에서 30s 유지한 마무리 소둔을 실시하였다.

[0204] 그 때, 열연 소둔판을 30㎜ 폭으로 잘라내고, 온도 : 30℃ 에서 굽힘 반경 : 15㎜, 굽힘 각도 : 90° 의 반복 굽힘 시험을 실시하여 제조 라인에서의 통판성을 모의 평가하였다. 또, 냉간 압연성의 평가로서 압연판 단면의 가장자리 균열 깊이를 측정하였다.

[0205] 이렇게 하여 얻어진 전자 강판의 기계적 특성 (항장력 (TS)) 피로 특성 (피로 한도 강도 (FS)) 및 자기 특성 (자속 밀도 B_{50}, 고주파 철손 $W_{10/1000}$) 에 대해 조사한 결과를 표 9 에 나타낸다.

표 8

강	화학성분 (질량%)												(Ti+V)/(C+N)	비고
	Si	Mn	Al	Ni	P	S	C	N	C+N	Ti	V	기타		
34	3.62	0.12	0	0	0.01	0.001	0.0111	0.0028	0.0139	0.058	0.045	-	7.4	비교예
35	3.68	0.11	0	0	0.01	0.002	0.0015	0.0023	0.0038	0.52	0	Sn: 0.025	136.8	발명예
36	3.90	0.13	0	0	0.02	0.002	0.0019	0.0028	0.0047	0.52	0	-	110.6	발명예
37	4.11	0.14	0	0	0.01	0.001	0.0024	0.0022	0.0046	0.49	0	-	106.5	발명예
38	4.62	0.13	0	0	0.02	0.002	0.0022	0.0015	0.0037	0.50	0	Ca: 0.0018	135.1	발명예
39	4.89	0.11	0	0	0.01	0.002	0.0022	0.0019	0.0041	0.51	0	-	124.4	발명예
40	5.20	0.14	0	0	0.01	0.001	0.0024	0.0022	0.0046	0.52	0	-	113.0	비교예
41	5.62	0.12	0	0	0.01	0.002	0.0022	0.0024	0.0046	0.75	0	-	163.0	비교예
42	3.71	2.10	0	0	0.01	0.001	0.0019	0.0021	0.0040	0.35	0	B: 0.0012	87.5	발명예
43	3.69	0.05	1.82	0	0.01	0.002	0.0015	0.0035	0.0050	0.35	0	-	70.0	발명예
44	3.68	0.04	0	1.91	0.02	0.002	0.0019	0.0015	0.0034	0	0.55	-	161.8	발명예
45	3.71	0.04	0	3.22	0.01	0.001	0.0024	0.0019	0.0043	0.25	0.34	Sb: 0.095	137.2	발명예
46	3.70	0.04	0	4.89	0.02	0.002	0.0011	0.0024	0.0035	0.73	0	Co: 1.21	208.6	발명예
60	4.11	0.14	0	0	0.01	0.001	0.0033	0.0035	0.0068	0.04	0.05	-	13.2	비교예
61	4.11	0.14	0	0	0.01	0.001	0.0034	0.0033	0.0067	0.04	0.30	-	50.7	발명예
62	4.11	0.14	0	0	0.01	0.001	0.0033	0.0034	0.0067	0.40*	0.50*	-	134.3	비교예

[0206]

[0207] *) Ti+V>0.8%

표 9

강	열연판 굽힘횟수 (회)	냉연판 균열깊이 (mm)	TS (MPa)	FS (MPa)	B_{50} (T)	$W_{10/1k}$ (W/kg)	비고
34	6.4	4.7	602	457	1.69	115	비교예
35	37	0.2	765	650	1.65	71	발명예
36	34	0.6	790	672	1.64	72	발명예
37	32.5	0.7	795	684	1.64	72	발명예
38	27.5	0.9	843	717	1.62	72	발명예
39	19	0.9	870	731	1.61	77	발명예
40	5.3	2.9	910	564	1.60	81	비교예
41	2.2	5.4	1025	574	1.57	85	비교예
42	15.2	0.6	764	634	1.65	102	발명예
43	22.2	0.5	778	661	1.59	63	발명예
44	26	0.7	769	661	1.65	61	발명예
45	23.3	0.5	840	772	1.64	69	발명예
46	20.5	0.4	957	818	1.63	72	발명예
60	5.5	6.4	631	538	1.68	74	비교예
61	28.3	0.8	736	604	1.65	72	발명예
62	3.5	5.1	1010	688	1.51	86	비교예

[0208]

[0209] 표 9 에 나타내는 바와 같이, 강판 성분을 본 발명을 만족하는 C, N 량으로 제어하고, 또한 적당량의 Ti, V 을 첨가한 발명예는 모두 제조성이 우수하며 높은 항장력과 피로 한도를 갖고, 또한 양호한 자기 특성이 얻어지는 것을 알 수 있다.

[0210] 한편, Si 의 첨가량이 5% 를 초과하면 열연판의 굽힘성, 냉간 압연성의 저하가 커지며, 또 항장력은 높음에도 불구하고 피로 한도 강도는 저하되는 경향을 나타낸다.

[0211] (실시예 6 : 발명 (3)·(4))

[0212] 표 10 에 나타내는 성분 조성이 되는 강 슬래브를 판 두께 : 2.2㎜ 까지 열간 압연 후, 800℃ 에서 90s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정하고, 이어서 판 두께 : 0.30㎜ 까지 냉간 압연한 후, 1000℃ 에서 30s 유지한 마무리 소둔을 실시하였다. No.67 만은 열연판 소둔을 생략하고, 판 두께 3.0㎜ 로 열연 → 열연판 소둔 없음 → 판 두께 1.5㎜ 로 온간 압연 (판온 280℃) → 900℃ -30s 중간 소둔 → 최종 판 두께 0.30㎜ 로 냉연이라는 압연 공정을 채용하였다.

[0213] 또한, 열연 소둔판 (No.67 은 열연판) 을 30㎜ 폭으로 잘라내고, 온도 : 30℃ 에서 굽힘 반경 : 15㎜, 굽힘 각도 : 90° 의 반복 굽힘 시험을 실시하여 제조 라인에서의 통판성을 모의 평가하였다. 또, 냉간 압연성의 평

가로서 압연판 단면의 가장자리 균열 깊이를 측정하였다.

[0214] 이렇게 하여 얻어진 전자 강판의 기계적 특성 (항장력 (TS)) 피로 특성 (피로 한도 강도 (FS)) 및 자기 특성 (자속 밀도 B_{50}, 고주파 철손 $W_{10/1000}$) 에 대해 조사한 결과를, 표 11 에 나타낸다.

표 10

강	화학성분 (질량%)													(Nb+Zr)/(C+N)	비고
	Si	Mn	Al	Ni	P	S	C	N	C+N	Nb	Zr	Ti	V	기타	
47	4.51	0.11	0.32	0	0.02	0.002	0.0008	0.0015	0.0023	0.014	0	0	0	-	6.1	비교예
48	4.62	0.12	0.32	0	0.01	0.002	0.0009	0.0013	0.0022	0.076	0.008	0	0	Ca: 0.0030	38.2	발명예
49	4.53	0.11	0.34	0	0.02	0.001	0.0015	0.0025	0.0040	0.16	0.05	0	0	-	52.5	발명예
50	4.51	0.14	0.35	0	0.01	0.001	0.0019	0.0025	0.0044	0.42	0	0	0	Sn: 0.082	95.5	발명예
51	4.58	0.15	0.33	0	0.02	0.002	0.0022	0.0019	0.0041	0.68	0.15	0	0	-	202.4	비교예
52	4.43	0.10	0.28	0.5	0.01	0.002	0.0031	0.0010	0.0041	0.03	0	0.17	0	-	48.8**	발명예
53	4.43	0.13	0.32	0	0.01	0.001	0.0021	0.0025	0.0046	0	0.15	0.10	0.10	-	76.1**	발명예
63	4.20	0.10	0.28	0.2	0.01	0.001	0.0022	0.0023	0.0045	0.10	0.10	0.10	0.10	Sn:0.05 REM: 0.002 Ca: 0.002	88.9**	발명예
64	4.20	0.10	0.28	0.2	0.01	0.001	0.0036	0.0040	0.0076	0.04	0.03	0	0	-	9.2	비교예
65	4.20	0.10	0.28	0.2	0.01	0.001	0.0035	0.0038	0.0073	0.05	0.04	0	0	-	12.3	발명예
66	4.20	0.10	0.28	0.2	0.01	0.001	0.0036	0.0039	0.0075	0.30*	0.30*	0	0	-	80.0	비교예
67	4.43	0.10	0.28	0.5	0.01	0.002	0.0031	0.0010	0.0041	0.03	0	0.17	0	-	48.8**	발명예

[0215]

[0216] *) Nb+Zr > 0.5%

[0217] **) (Ti+V+Nb+Zr)/(C+N)

표 11

강	열연판 굽힘횟수 (회)	냉연판 균열깊이 (mm)	TS (MPa)	FS (MPa)	B_{50} (T)	$W_{10/1k}$ (W/kg)	비고
47	2.5	5.0	678	502	1.66	71	비교예
48	23.6	1.2	706	551	1.65	73	발명예
49	22.1	0.9	758	599	1.64	74	발명예
50	17.1	1.7	862	672	1.61	74	발명예
51	6.2	6.3	1055	749	1.55	82	비교예
52	16.5	0.9	855	668	1.61	76	발명예
53	12.0	0.9	887	691	1.60	77	발명예
63	26.5	0.4	808	701	1.62	76	발명예
64	1.0	12.5	576	389	1.62	78	비교예
65	18.3	0.6	723	586	1.62	74	발명예
66	6.5	4.5	660	461	1.55	83	비교예
67*	43.5	0.4	903	710	1.58	78	발명예

[0218]

[0219] *) 판 두께 3.0㎜ 로 열연 → 열연판 소둔없음 → 판 두께 1.5㎜ 로 온간 압연 (판온 280℃) → 900℃ -30s 중간 소둔 → 최종 판 두께 0.30㎜ 로 냉연

[0220] 표 11 에 나타내는 바와 같이, 강판 성분을 본 발명을 만족하는 C, N 량으로 제어하고, 또한 최적의 Nb, Zr, 혹은 추가로 Ti, V 을 첨가한 발명예는 모두 제조성이 우수하며 높은 항장력과 피로 한도를 갖고, 또한 양호한 자기 특성을 갖고 있다.

[0221] (실시예 7 : 발명 (3)·(4))

[0222] 본 발명의 강을 조성하는, 3.9% Si, 0.14% Mn, 0.33% Al, 2.67% Ni, 0.02% P, 0.002% S, 0.0009% C, 0.0018% N, 0.28% Ti 및 0.055% Sn 조성 (Ti/(C+N) =103.7) 의 강 슬래브를 판 두께 : 2㎜ 까지 열간 압연 후, 1000℃ 에서 60s 유지한 열연판 소둔을 실시한 후, 산 세정하고, 이어서 여러 가지 판 두께로 냉간 압연한 후, 950℃ 에서 30s 유지한 마무리 소둔을 실시하여 각 특성에 미치는 판 두께의 영향에 대해 조사하였다.

[0223] 얻어진 결과를 표 12 에 나타낸다.

표 12

[0224]

강	판 두께 (mm)	TS (MPa)	FS (MPa)	B_{50} (T)	$W_{10/1k}$ (W/kg)	비고
54	0.35	776	667	1.65	91.0	발명예
55	0.20	781	656	1.65	52.4	발명예
56	0.15	769	638	1.65	44.2	발명예
57	0.11	782	555	1.65	39.4	발명예 (바람직한 범위 외)

[0225] 표 12 에 나타내는 바와 같이, 판 두께를 얇게 함으로써 고주파 철손 특성은 크게 개선된다. 또, 항장력은 어느 판 두께이어도 거의 동일하다.

[0226] 그러나, 피로 한도 강도는, 판 두께가 0.15㎜ 이상인 것이 보다 현저하게 개선된다.

산업상 이용 가능성

[0227] 본 발명에 의하면 성분 조성 혹은 추가로 조직을 규제함으로써, 강판 제조 상의 제약이나 새로운 공정을 부가하는 일 없이, 고강도이고 혹은, 추가로 피로 특성도 우수하고, 또한 판 형상 및 자기 특성도 우수한 무방향성 전자 강판을 안정적으로 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0065] 도 1 은, Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 및 소둔 온도 (종축 : 단위=℃) 와, 재결정률 (원 안의 숫자 : 단위=면적%) 의 관계를 나타내는 도면이다.

[0066] 도 2 는, 강 중 (C+N) 량 (횡축 : 단위=질량%) 가, 제조 라인에서의 통판성 (굽힘 횟수) (종축 : 단위=횟수) 에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다.

[0067] 도 3 은, 강 중 (C+N) 량 (횡축 : 단위=질량%) 가, 냉간 압연성 (압연판 단면의 가장자리 균열 깊이) (종축 : 단위=㎜) 에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다.

[0068] 도 4 는, 제조 라인에서의 통판성 (굽힘 횟수) (종축 : 단위=횟수) 에 미치는 강 중 Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 의 영향을, 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해서 나타낸 그래프이다.

[0069] 도 5 는, 제조 라인에서의 통판성 (굽힘 횟수) (종축 : 단위=횟수) 에 미치는 Ti/(C+N) 비 (횡축) 의 영향을 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0070] 도 6 은, 냉간 압연성 (압연판 단면의 가장자리 균열 깊이) (종축 : 단위=㎜) 에 미치는 강 중 Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 의 영향을, 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0071] 도 7 은, 냉간 압연성 (압연판 단면의 가장자리 균열 깊이) (종축 : 단위=㎜) 에 미치는 Ti/(C+N) 비 (횡축) 의 영향을 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0072] 도 8 은, 항장력 (TS) (횡축 : 단위=㎫) 에 미치는 강 중 Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 의 영향을, 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0073] 도 9 는, 피로 한도 (FS) (횡축 : 단위=㎫) 에 미치는 강 중 Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 의 영향을, 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0074] 도 10 은, 고주파 철손 ($W_{10/1000}$) (종축 : 단위=W/kg) 에 미치는 강 중 Ti 량 (횡축 : 단위=질량%) 의 영향을, 4 수준의 강 중 (C+N) 량에 대해 나타낸 그래프이다.

[0075] 또한, 도 4 ~ 10 에 있어서, ◆ 는 C+N : 0.0038 ~ 0.0048질량%, ■ 은 C+N : 0.0074 ~ 0.0092질량%, ▲ 은 C+N : 0.0175 ~ 0.0196질량%, × 는 C+N : 0.0353 ~ 0.0391질량% 를 나타낸다.

[0076] 발명을 실시하기 위한 최선의 형태

[0077] 이하, 성분에 관한 「%」 표시는 특별히 언급하지 않는 한 질량% 를 의미하는 것으로 한다.

[0078] 〔발명 원리〕

[0079] 먼저, 상기 (1) 및 (2) 의 발명의 원리에 대해서 설명한다.

[0080] 발명자들은, 상기 서술한 과제 중 하나인 고강도와 자기 특성을 양립시키는 무방향성 전자 강판을 공업적으로 안정되고, 게다가 양호한 강판 형상으로 제조하기 위한 수단을 예의 검토하였다. 여기에서 요구되는 고강도는, 구체적으로는 항장력 600㎫ 이상, 바람직하게는 700㎫ 이상, 더욱 바람직하게는 800㎫ 이상이다. 또, 요구되는 자기 특성, 특히 고주파저 철손 특성은, 예를 들어 판 두께 0.35㎜ 의 무방향성 전자 강판에 있어서 $W_{10/400}$ 값이 50W/kg 이하, 바람직하게는 40W/kg 이하, 더욱 바람직하게는 30W/kg 이하가 되는 수준이다.

[0081] 상기 검토의 결과, 특히 항장력이 700㎫ 를 초과하는 고강도재에서는, 강판 조직을 마무리 소둔에서 재결정을 억제하여 회복 조직으로 고정시키는 것이 유효한 것을 알아냈다. 그러나, 통상적인 강 조성의 무방향성 전자강 소재를 이용하여 회복 조직을 얻으려면, 마무리 소둔 온도를 600℃ 이하의 저온에서 실시해야 한다. 이러한 저온 소둔을 이용하여 공업적으로 안정되게 제조하려면, 강판 형상이 열화되는 점, 소둔 분위기의 치환이나 노온 조건의 변경에 다대한 시간과 작업 부하가 걸리는 점 등의 문제를 해결할 필요가 있다.

[0082] 그래서, 강 성분에 관한 여러 가지의 검토를 실시한 바, Ti 을 C 및 N 에 대해서 충분히 과잉으로 첨가한 강 조성으로 함으로써, 통상적인 무방향성 전자 강판의 소둔과 동등한, 700℃ 이상의 마무리 소둔 온도에서도 고강도화에 유효한 회복 조직이 안정적으로 얻어지는 것을 알아냈다.

[0083] (실험 1)

[0084] 즉, 도 1 에, C+N≤0.01% 로 저감시킨 2.8% Si-0.35% Al 강의 재결정 거동에 미치는 Ti 첨가량 및 마무리 소둔 온도 (균열시간 20s) 의 영향을 검토한 결과를 나타낸다. 여기에서 그래프의 횡축은 Ti 량 (질량%), 종축은 소둔 온도 (℃) 이며, 각 원 안의 숫자는 당해 조건에 있어서의 재결정률 (recrystallization ratio) (면적%) 를 나타낸다. 또한, 재결정률도 판 두께 방향 단면의 광학 조직 관찰 결과로부터 산출되어, 미재결정 회복 조직의 비율 (면적%) 은 100 - 재결정률 (면적%) 이 된다.

[0085] 통상적으로, 무방향성 전자 강판에 있어서, Ti 은 자기 특성을 열화시키는 유해 원소로서, 0.005질량% 이하로 제어되는 것이 일반적이지만, 이 Ti 함유 레벨에서는 650℃ 이상에서 급격하게 재결정이 진행되기 때문에, 안정적으로 회복 조직을 얻기 위해서는 600℃ 이하라는 저온에서 마무리 소둔을 실시하는 것이 필요해진다.

[0086] 한편, 0.05질량% 이상의 Ti 를 첨가하면, 재결정 개시 온도가 100℃ 이상 상승하여, 종래, 공업적으로 실시되어 온 700℃ 이상의 소둔 온도에서도, 안정적으로 회복 조직이 얻어지는 것을 알아냈다. 그리고, 마무리 소둔 온도 700℃ 이상 850℃ 이하, 노내 장력 2.5㎫ 이상 20㎫ 이하로 함으로써, 안정적으로 회복 조직을 얻음과 함께, 강판 형상도 양호하게 제어할 수 있는 것을 알아내어 고강도, 자기 특성, 판 형상, 생산성이 우수한 고강도 무방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 완성시켰다.

[0087] 다음으로, 상기 (3) 및 (4) 의 발명의 원리에 대해 설명한다.

[0088] 이하, 본 발명의 토대가 된 실험 결과에 대해 설명한다.

[0089] (실험 2)

[0090] 먼저, Si 함유량이 3.5% 를 초과하는 고합금 강의 제조성에 미치는 강 조성의 영향을 조사하기 위해, 초고순도강을 제조할 수 있는 콜드 크루시블 (cold crucible induction melting furnace) 진공 고주파 용해로를 이용하여, Si 량을 4.1 ~ 4.3% 의 범위로 제어함과 함께, C, N 량을 여러 가지로 변화시킨 시험 강괴를 용제하였다.
이어서, 얻어진 강괴를, 판 두께 : 2㎜ 까지 열간 압연 후, 900℃ 에서 소둔 (열연판 소둔) 을 실시한 후, 판 두께 : 0.35㎜ 까지 냉간 압연하였다.

[0091] 그 때, 열연 소둔판을 30㎜ 폭으로 잘라내고, 온도 : 30℃ 에서 굽힘 반경 : 15㎜, 굽힘 각도 : 90° 의 반복 굽힘 시험을 실시하여 제조 라인에서의 통판성을 모의 평가하였다. 또한, 이 반복 굽힘 횟수가 10 회에 미치지 못한 재료인 경우에는, 제조 라인에서의 파단 빈도가 증가되는 것을 알고 있다. 또, 냉간 압연성의 평가로서, 상기 열연 소둔판의 단면의 가장자리 균열 깊이 (edge crack length) 를 측정하였다.

[0092] 도 2 및 도 3 에, 그 결과를 나타낸다. 여기에서, 그래프의 횡축은 강 중 (C+N) 량 (질량%), 종축은 각각, 제조 라인에서의 통판성 (굽힘 횟수) 및 냉간 압연성 (압연판 단면의 가장자리 균열 깊이) (㎜) 이다.

[0093] 도 2 및 도 3 에 나타내는 바와 같이, 제조 라인에서의 통판성 (열연판의 굽힘 특성) 및 냉간 압연성 (가장자리 균열 깊이), 즉 제조성은, C 와 N 의 합계량에 강하게 의존하는 것이 분명해졌다. 즉, C+N 을 합계로 0.0015% 이하로 저감시키면 4.2% Si 클래스의 고합금강에서도 충분한 제조성을 나타내지만, C+N 량이 증가되면 제조성은 급격하게 열화된다.

[0094] 그러나, 전로 정련이나 탈가스 이차 정련 등 일반적인 설비를 사용한 현재의 기술로는, C+N 량을 정상적으로 0.0015% 이하로 하는 것은 매우 곤란하다.

[0095] (실험 3)

[0096] 그래서, 강 중에 존재하는 고용 C, N 이 이번 평가한 제조성 저하의 주요인이 아닐까 하고 생각하여 탄실화물 생성 원소를 첨가하여, C, N 을 석출 고정시키는 것을 시도하였다.

[0097] 즉, 전기로를 이용하여 Si 량을 4.1 ~ 4.3% 의 범위로 제어하고, C+N 의 합계량을, (1) 0.0038 ~ 0.0048% 의 범위, (2) 0.0074 ~ 0.0092% 의 범위, (3) 0.0175 ~ 0.0196% 의 범위, (4) 0.0353 ~ 0.0391% 의 범위의 4 수준으로 제어하고, 추가로 Ti 첨가량을 여러 가지 변화시킨 강괴를 제조하였다. 이어서, 판 두께 : 2㎜ 까지 열간 압연하여, 900℃ 에서 열연판 소둔을 실시한 후, 판 두께 : 0.35㎜ 까지 냉간 압연하여, 950℃ 에서 마무리 소둔을 실시하였다.

[0098] 이렇게 하여 얻어진 시료에 대해서, 상기 서술한 바와 상기와 동일하게 하여, 제조 라인에서의 통판성 (열연판의 굽힘 특성) 및 냉간 압연성 (가장자리 균열 깊이) 에 대해서 조사한 결과를, 도 4 ~ 7 에 각각 나타낸다.
여기에서 도 4 및 도 6 의 횡축은 강 중 Ti 량 (질량%) 이고, 도 5 및 도 7 의 횡축은, C+N 량 (강 중 C 량과 강 중 N 량의 합 : 질량%) 에 대한 강 중 Ti 량 (질량%) 의 비, 즉 Ti/(C+N) 이다. 또, 도 4 및 도 5 의 종축은 제조 라인에서의 통판성 (굽힘 횟수) 이고, 도 6 및 도 7 의 종축은 냉간 압연성 (압연판 단면의 가장자리 균열 깊이) (㎜) 이다. 또, 도면 중, 검은 마름모꼴 ◆ 은 C+N 의 상기 수준 (1) 을, 검은 사각 ■ 은 동일 수준 (2) 를, 검은 삼각 ▲ 은 동일 수준 (3) 을, 가새표 × 는 동일 수준 (4) 을 각각 나타낸다.

[0099] 이들 결과로부터, C+N 량에 대해 Ti 을 원자비로 약 4 배 이상 (질량% 비로 16 배 이상) 으로 과잉으로 첨가함으로써, 열연판의 굽힘 특성 및 냉간 압연성은 현격히 개선되어 공업적으로 대량 생산할 수 있는 순도 레벨의 C+N 량이어도, 고합금강을 안정적으로 제조할 수 있는 것이 판명되었다.

[0100] 그러나, C+N 량이 너무 많으면 Ti 첨가에 의한 제조성 개선 효과는 작아져, 열연판 굽힘 횟수 및 냉연 가장자리 균열 깊이 모두, 공업 생산상 문제가 되는 레벨 (굽힘 횟수 : 10회 미만, 가장자리 균열 깊이 : 3㎜ 초과) 에 도달한다.

[0101] 또, Ti 첨가에 의해 제조성이 충분히 개선되어 있는 C+N 량 레벨이어도, Ti 첨가량이 0.8% 를 초과하면 제조성은 열화되는 것이 판명되었다. 또한 C+N 량이 많고 또한 Ti 첨가량이 적은 조성인 것 및 Ti 첨가량이 과잉한 것 중에는, 냉연시의 가장자리 균열이 10㎜ 이상에 도달하여, 판 파단을 발생시킨 것도 보인다.

[0102] (실험 4)

[0103] 다음으로, 얻어진 강판으로부터 압연 방향과 평행하게 잘라낸 시험편을 이용하여 기계적 특성 및 피로 특성을 조사하였다. 여기에, 기계적 특성은 JIS5호 인장 시험편 (평행부 길이 25㎜) 을 이용하여, 인장 시험에 있어서의 항장력으로 평가하였다. 또, 피로 특성은 평행부 길이 15㎜ 인 피로 시험편을 이용하고, 응력비 : 0.1, 주파수 : 20Hz 인 부분 인장 (인장 - 인장) 피로 시험에 의해 조사하고, 1000만 (107) 사이클 경과 후에도 판 파단이 발생되지 않는 최대 응력을 피로 한도로서 구하였다.

[0104] 얻어진 결과를 도 8 및 도 9 에 나타낸다. 여기에서, 그래프의 횡축은 강 중 Ti 량 (질량%) 이고, 도 8 의 종축은 항장력 (TS) (㎫), 도 9 의 종축은 피로 한도 (㎫) 이다. 또한, 플롯된 기호와 C+N 량의 수준의 관계는 도 4 ~ 7 과 동일하다.

[0105] 도 8 에 나타낸 바와 같이, 항장력 (TS) 은 Ti 첨가량과 함께 상승하고, 그 효과는 C+N 량이 많을수록 현저하였다. 이 이유는, C+N 량이 많은 강일수록 Ti의 탄질화물 석출에 의한 석출 강화에 의한 고강도화가 진행되고 있기 때문으로 생각할 수 있다. 한편, C+N 량이 적은 강 및 Ti 첨가량이 C+N 량에 대해 충분히 과잉인 강에서는, 고용 Ti 에 의한 고강도화가 주체가 된 것으로 추정된다.

[0106] 또, 도 9 에 나타낸 바와 같이, 피로 한도는, 동일 Ti 첨가량 레벨에서 비교하면, 항장력의 결과와 반대로 C+N 량이 적은 그룹이 보다 높은 피로 특성을 나타내고 있었다. 이 이유는, C+N 량이 많은 그룹에서는, 석출되는 탄질화물 사이즈가 커지기 쉽고, 또 그 존재량이 많기 때문에, 피로 파괴의 기점이 되었기 때문으로 추정된다.

[0107] 또한, 압연 방향과 압연 직각 방향으로부터 동일 수 잘라낸 자기 측정용 시험편을 이용하여, 엡스타인법에 따라

자기 특성을 평가한 결과를, 도 10 에 나타낸다. 여기에서, 그래프의 횡축은 강 중 Ti 량 (질량%), 종축은 고주파 철손 ($W_{10/1000}$) (W/kg) 이며, C+N 수준의 기호는 도 4 ~ 9 와 동일하다.

[0108] 동 도면에 나타낸 바와 같이, C+N 량이 많은 그룹은, 소량의 Ti 첨가로 철손 특성이 급격하게 열화되는데 반해, C+N 량을 억제한 그룹에서는, Ti 첨가에 의한 철손 열화는 경미하였다.

[0109] 이상의 검토 결과로부터, 공업적으로 충분히 양호한 제조성, 피로 강도까지 고려한 고강도화 및 우수한 자기 특성이라고 하는 상반되는 요구를 높은 차원에서 만족하는 무방향성 전자 강판을 얻기 위해서는, C+N 량을 공업적으로 가능한 범위에서 최대한 저감시킨 고합금강에, Ti 을 고용 C, N 을 석출 고정시키는 원소로서, 또 고용 강화 원소로서 활용하는 것이 중요하다는 것이 구명된 것이다.

[0110] 상기의 견지에 기초하여, C+N 량을 공업적으로 가능한 레벨까지 저감시키고, Ti 을 비롯한 적당량의 탄질화물 형성 원소 (V, Nb, Zr) 를 적당량 첨가한 강을 베이스로 하여 Si, Mn, Al, Ni, P 등의 합금 원소 첨가의 영향에 대해 계통적인 평가를 실시하여, 최적의 강 조성 조건을 분명히 하였다.

[0111] 〔강 조성〕

[0112] 이하, 상기의 견지에 기초하여 정한 본 발명의 성분 조성 범위의 한정 이유에 대해 설명한다.

[0113] ·C : 0.010% 이하 및 N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010%

[0114] 본 발명에 있어서, C 및 N 은 고용 상태에서 존재하면 강의 제조성을 현저하게 저하시키는 유해 원소이지만, Ti, 혹은 후술하는 (발명 (3)·(4) 에 있어서의) Nb, V, Zr 등 탄질화물 형성 원소를 적당량 첨가함으로써, 제조성에 대한 악영향을 공업적 규모로 생산하는 데 있어서 지장이 없는 레벨까지 경감시킬 수 있다. 그렇다고는 해도, 탄질화물의 생성도 자기 특성, 또한 피로 특성의 열화를 초래하므로 C 및 N 은 가능한 범위에서 최대한 저감시키는 것이 바람직하다. 따라서, C : 0.010% 이하, N : 0.010% 이하, 또한 C+N≤0.010% 로 억제하는 것으로 하였다.

[0115] 바람직하게는 C : 0.005% 이하 및 N : 0.005% 이하, 더욱 바람직하게는 C : 0.003% 이하 및 N : 0.003% 로 한다. C 이나 N 은 함유시킬 필요는 없지만, 공업적으로 저감시킬 수 있는 하한은 각각 0.0001% 정도이다.

[0116] ·Si : 1.5% 이상 5.0% 이하 :

[0117] Si 은, 탈산제로서 일반적으로 사용되는 것 외에, 강의 전기 저항을 높여 철손을 저감시키는 효과를 갖는, 무방향성 전자 강판을 구성하는 주요 원소이다. 또한 높은 고용 강화능을 갖는다. 즉, 무방향성 전자 강판에 첨가되는 Mn, Al 및 Ni 등, 다른 고용 강화 원소와 비교하여, 고항장력화, 고피로 강도화 그리고 저철손화를 가장 밸런스 좋게 양립시킬 수 있는 원소이기 때문에, 본 발명 (1)·(2) 에 있어서는 1.5% 이상으로 첨가한다. 보다 바람직하게는 2.0% 이상이다. 본 발명 (3)·(4) 에 있어서는 더욱 적극적으로 3.5% 를 초과하여 첨가하고, Si 량의 증가와 함께 얻어지는 항장력·피로 한도 강도의 상승 및 철손의 저감에 의한 고특성화를 활용하는 것으로 한다.

[0118] 한편, Si 량이 5.0% 를 초과하면 항장력은 증가하지만, 피로 한도 강도는 급격하게 저하되며, 또한 냉간 압연중에 균열이 발생할수록 제조성이 저하된다. 이 원인은 고 Si 화에 수반하여 규칙상이 생성되기 때문으로 생각된다. 또, Si 량이 3.5% 를 초과하면 인성 (靭性) 이 저하되기 시작하고 4.0% 를 초과하면 인성 열화가 명확하게 나타난다. 또한 5.0% 를 초과하면 인성 열화가 현저해져, 통판 및 압연시에 고도의 제어가 필요해져 생산성도 저하된다. 따라서, Si 량의 상한은 5.0% 로 하였다. 바람직하게는 4.0% 이하로 한다. 발명 (1)·(2) 에 있어서 인성을 중시하는 경우에는 3.5% 이하로 하는 것이 더욱 바람직하다.

[0119] ·Ti : 0.05% 이상 0.8% 이하, 또한 Ti/(C+N)≥16 (발명 (1)·(2))

[0120] ·하기 중 어느 하나의 조건 (발명 (3)·(4))

[0121] (3-1) Ti+V : 0.01% 이상 0.8% 이하, 또한 (Ti+V)/(C+N)≥16,

[0122] (3-2) Nb+Zr : 0.01% 이상 0.5% 이하, 또한 (Nb+Zr)/(C+N)≥10,

[0123] 또는, (3-3) 0.01%≤(Ti+V+Nb+Zr)≤0.5%,

[0124] 또한 (Ti+V+Nb+Zr)/(C+N)≥16

[0125] Ti 은, 본 발명에 있어서 중요한 원소이다. 즉, Ti 은, 강의 재결정 온도를 높이는 효과를 갖고, 강판의 마무리 소둔 온도를 750℃ 이상으로 높여도, 본 발명 (1)·(2) 에 있어서 충분히 미재결정 조직을 잔존시킬 수 있다는 효과를 갖는다. 또한, Ti 은 고용 강화 원소로서도 작용하여 고항장력화에 기여한다. 이들 효과를 안정적으로 발휘하려면, Ti : 0.05% 이상 또한 Ti/(C+N)≥16 이 필요하다. 한편, Ti 이 0.8% 를 초과하면, 박리 결함이라 불리는 결함이 발생하기 쉬워져, 제조성 및 수율이 저하되기 때문에 상한을 0.8% 로 한다.

[0126] 또한, Ti 은 탄질화물을 형성하고, 강 중에 존재하는 고용 C, N 을 석출 고정시켜 고합금강의 제조성을 개선하는 효과를 갖고 있다. 또, 고용 강화 원소로서도 작용하고, 고항장력화, 고피로 강도화에도 유효하게 기여한다. 특히 Si 을 3.5% 초과 첨가하여 고용 강화를 최대한 활용하는 본 발명 (3)·(4) 에 있어서는, 이들의 효과를 활용한다. 즉, 동일한 탄질화물 형성 원소·고용 강화 원소인 V 과 합쳐, 0.01% 이상 0.8% 이하이고, 또한 (Ti+V)/(C+N)≥16 함유시키는 것으로 한다. C, N 을 제조 공정 도중에서 안정적으로 석출 고정시키기 위해서는, 최저라도 Ti 과 V 의 합계 Ti+V 으로 0.01% 의 함유가 필요하고, 또 C, N 에 대해 충분히 과잉으로 첨가하는 것이 필요하기 때문에, 질량% 비로 (Ti+V)/(C+N)≥16 을 만족시키는 범위에서 함유시킨다.
바람직하게는 Ti+V 으로 0.05% 이상으로 한다. 한편, Ti+V 이 0.8% 를 초과하면 제조성이 저하되므로, Ti+V 의 상한은 0.8% 로 정한다.

[0127] Nb 및 Zr 도, 상기 서술한 Ti 이나 V 과 동일하게, 탄질화물을 형성하고, 강 중에 존재하는 고용 C, N 을 석출 고정시켜 고합금강의 제조성을 개선하는 효과를 갖고 있다. 또, 고용 강화 원소로서도 작용하며, 고항장력화, 고피로 강도화에 유효하게 기여한다. 이 때문에, 본 발명 (3)·(4) 에 있어서는 이들의 원소를 Ti 이나 V 대신에 이용해도 된다. C, N 을 제조 공정 도중에서 안정적으로 석출 고정시키기 위해서는, 최저라도 Nb 와 Zr 의 합계 Nb+Zr 으로 0.01% 의 함유가 필요하고, 또 C, N 에 대해 충분히 과잉으로 첨가하는 것이 필요하기 때문에, 질량% 비로 (Nb+Zr)/(C+N)≥10 을 만족시키는 범위에서 함유시키는 것으로 하였다. 한편, Nb+Zr 이 0.5% 를 초과하면 제조성이 저하되므로, Nb+Zr 의 상한은 0.5% 로 정한다.

[0128] 상기 서술한 바와 같이, Ti 과 V 및 Nb 와 Zr 은 모두, 탄질화물 형성 원소로서, 또 고용 강화 원소로서 동일한 효과이므로, 이들 4 종을 복합하여 함유시킬 수도 있다. 이 경우에 있어서, C, N 을 제조 공정 도중에서 안정적으로 석출 고정시키기 위해서는, 최저로 Ti, V, Nb, Zr 의 합계 Ti+V+Nb+Zr 으로 0.01% 의 함유가 필요하며, 또 C, N 에 대해서 충분히 과잉으로 첨가하는 것이 필요하기 때문에, 질량% 비로 (Ti+V+Nb+Zr)/(C+N)≥16 을 만족시킬 필요가 있다. 그러나, Ti+V+Nb+Zr 이 0.5% 를 초과하면 제조성이 저하되므로, Ti+V+Nb+Zr 의 상한은 0.5% 로 한다.

[0129] 또한, 미재결정 회복 조직을 확보하여 고강도와 자기 특성을 양립시키는 효과는 Ti 이 Nb, V, Zr 보다 현격히 우수하므로, 본 발명 (1)·(2) 에 대해서는 Ti 첨가를 필수로 한다.

[0130] ·Mn : 3.0% 이하

[0131] Mn 은, 고용 강화에 의한 강도 향상에 유효한 원소인 것에 추가하여, 열간 취성의 개선에 유효한 원소이며, 바람직하게는 0.03% 이상으로 첨가한다. 그러나, 과잉된 첨가는 철손의 열화를 초래하기 때문에, 그 첨가량을 3.0% 이하로 제한한다.

[0132] ·Al : 3.0% 이하

[0133] Al 은, 강력한 탈산제로서 작용하는 효과에 더하여, 강의 전기 저항을 높여, 철손을 저감시키는 작용을 갖는다.
또, 고용 강화에 의한 강도 향상에 유효하다. 그러나, 과잉된 첨가는 압연성의 저하를 초래하기 때문에, 그 상한을 3.0% 로 한다. 보다 바람직하게는 2.0% 이하이다. 미재결정 조직에 의한 강화를 주로 사용하는 본 발명 (1)·(2) 에서는 Si+Al≤4.0% 로 하는 것이 바람직하다.

[0134] 또한, 이 Al 은 반드시 함유시킬 필요는 없다. 예를 들어, Al 의 첨가를 0.005% 이하로 억제해도 된다. 즉, 예를 들어 Si 에 의해 탈산함으로써 Al 을저감시키는 한편, AlN 등의 석출물을 저감시켜 철손을 저감시킬 수도 있다. 단 공업적으로 저감시킬 수 있는 강 중 Al 량의 하한은 0.0001% 정도이다.

[0135] ·P : 0.2% 이하

[0136] P 는, 비교적 소량의 첨가로도 대폭적인 고용 강화능이 얻어지기 때문에, 고강도화에 매우 유효하고, 바람직하게는 0.005% 이상으로 첨가한다. 그러나, 과잉된 첨가는 편석에 의한 취화에 의해, 입계 균열이나 압연성의 저하를 초래하기 때문에, 그 첨가량을 0.2% 이하, 바람직하게는 0.20% 이하로 제한한다. 단 공업적으로 저감할 수 있는 강 중 P 량의 하한은 0.001% 정도이다.

[0137] ·S : 0.01% 이하

[0138] S 는, 과잉으로 존재하면 MnS 등의 황화물을 형성하여, 자기 특성을 저하시킨다. 또한 MnS 는 피로 파괴의 기점이 될 우려도 있다. 이 때문에, 강 중 S 량은 최대한 저감시키는 것이 바람직하지만, 0.01% 까지의 함유이면 허용할 수 있으므로, 그 첨가량은 0.01% 이하로 하였다. 단 공업적으로 저감할 수 있는 강 중 S 량의 하한은 0.0003% 정도이다.

[0139] ·기타

[0140] 본 발명에 관련된 무방향성 전자 강판의 기본 조성은 이상과 같지만, 상기 성분에 더하여, 자기 특성의 개선 원소로서 알려진 Ni, Sb, Sn, B, Ca, 희토류 원소 (Rem) 및 Co 를 단독 또는 복합으로 첨가할 수 있다. 그러나, 이들 첨가량은 본 발명의 목적을 저해시키지 않을 정도로 해야 한다. 구체적으로는, 다음의 범위로 한다. Sb : 0.002 ~ 0.1%, Sn : 0.002 ~ 0.1%, B : 0.001 ~ 0.01%, Ca : 0.001 ~ 0.01%, Rem : 0.001 ~ 0.01%, Co : 0.2 ~ 5.0% 및 Ni : 5.0% 이하, 바람직하게는 0.1 ~ 5.0%.

[0141] 특히 Ni 의 첨가는 바람직하다. 즉, 고용 강화 및 고전기 저항화에 기여하는 많은 원소가 그 첨가에 의해 포화 자속 밀도의 저하를 초래하는 것에 반해, Ni 은 포화 자속 밀도를 저하시키지 않고 고용 강화에 의한 강도 향상 및 고전기 저항화에 의한 철손 저감이 가능한 매우 유효한 원소이다. 그러나, Ni 은 고가의 원소이며 과잉된 첨가는 비용 상승을 초래하기 때문에, 5.0% 이하로 함유시키는 것이 바람직하다.

[0142] 또한, 강의 잔부 조성은 Fe 및 불가피한 불순물로 한다. 불가피한 불순물로서는, 상기에 예로 든 원소 (비용 등의 이유로 불가피하게 함유되는 경우) 외에, Cu (원료에 스크랩강을 사용하는 경우에 혼입되는 경우가 있다) 등을 들 수 있다.

[0143] 〔강 조직〕

[0144] 다음으로, 본 발명 (1)·(2) 에 있어서의 강판 조직의 한정 이유를 서술한다.

[0145] 본 발명의 목적인 고강도 및 자기 특성의 양립을 위해서는, 강판 조직은 회복 조직인 것이 바람직하다. 압연 상태인 가공 조직에서는 자기 특성이 현저하게 열등한 것이 된다. 한편, 마무리 소둔에 의해 재결정이 진행되면, 자기 특성은 양호해지지만 강도의 저하가 커진다. 이에 반해, 회복 조직은 대략 500℃ 이상에서의 소둔에 의해 형성되는데, 이 회복 조직은 높은 강도를 갖고, 또한 비교적 양호한 자기 특성을 얻을 수 있다.
본 발명 (1)·(2) 에 있어서는, 이 회복 조직을 유효하게 이용하는 것이 중요하며, 강도와 자기 특성을 양립시키기 위해서, 이 미재결정의 회복 조직이 강판의 두께 단면 관찰에 있어서의 면적률로 50% 이상을 갖는 것이 필요하다.

[0146] 또한, 본 발명 (3)·(4) 에 있어서는 고용 강화를 주된 강화 기구로 하기 때문에, 미재결정 회복 조직을 확보할 필요는 없다. 따라서, 강도를 확보할 수 있다면, 재결정 조직을 100% 로 하여, 더욱 안정적인 공업 생산성을 확보해도 된다. 단, 미재결정 회복 조직에 의한 강화의 원용을 병용하는 것을 배제하는 것은 아니다.

[0147] 〔제조 방법〕

[0148] 마지막으로, 본 발명에 따른 제조 방법에 대해 설명하고, 그 한정 이유를 서술한다.

[0149] 본 발명에 있어서, 강 용제에서 냉간 압연까지의 제조 공정은, 일반적인 무방향성 전자 강판에서 통상 채용되고 있는 방법에 따라 실시할 수 있다. 특히, 본 발명은, 적절한 C, N 량 제어 및 탄질화물 형성 원소의 첨가에 의해, 일반적으로는 열연 코일의 통판성 및 냉간 압연성이 문제가 되는 3.5% 를 초과하는 Si 을 갖는 고합금강인 경우에도, 제조성이 대폭 개선되어 있으므로, 통상적인 무방향성 전자 강판의 제조 공정을 적용할 수 있다.

[0150] 이하에 대표적인 제조 방법의 예를 든다.

[0151] 먼저, 전로 및 2 차 정련, 또는 전기로 등에서 소정 성분으로 용제한 용강을 연속 주조법 또는 조괴-분괴법에 따라 강 슬래브로 한다.

[0152] 이어서, 강 슬래브에 열간 압연을 실시하는데, 당해 열간 압연에 있어서의 마무리 온도나 권취 온도는, 특별히 규정할 필요는 없고, 일반적인 조건, 예를 들어 마무리 압연 온도 : 700℃ ~ 900℃ 및 권취 온도 : 400 ~ 800℃ 정도이면 된다.

[0153] 다음으로, 필요에 따라, 강판의 연화 혹은 최종 제품의 자기 특성을 향상시키는 목적으로, 600 ~ 1100℃ 정도의 온도에서 열연판 소둔을 실시할 수 있다.

[0154] 열연판 소둔 후 (열연판 소둔을 실시하지 않은 경우에는 권취 후), 냉간 압연 혹은 온간 압연을 실시하여 소정 제품 판 두께 (최종 판 두께) 로 한다. 또한, 1 회의 냉간 압연 혹은 온간 압연에 의해 최종 판 두께로 해도 되고, 중간 소둔을 사이에 둔 2 회 이상의 냉간 압연 혹은 온간 압연을 실시하여 최종 판 두께로 해도 된다. 또한, 온간 압연은 통상적으로, 판온 100 ~ 300℃ 에서 압연이 실시된다.

[0155] 또한, 최종 판 두께는 0.15㎜ 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0156] 즉, 판 두께는, 제품의 자기 특성, 특히 고속 회전 모터의 로터재로서 사용되는 경우에 중요한 수 100Hz 이상의 고주파역에서의 철손 특성에 대한 영향이 크고, 이 점에서는 판 두께를 얇게 할수록 유리하다. 한편, 기계적 특성, 피로 특성 및 자기 특성에 미치는 제품 판 두께의 영향을 검토한 결과, 인장 시험에 있어서의 기계적 특성은 판 두께의 영향을 거의 받지 않는 데 반해, 피로 특성은 0.15㎜ 보다 얇으면 급격하게 저하되었다. 또, 과잉된 박육화는 모터 제조 공정에 있어서, 프레스 펀칭 공수의 증가나 적층수의 증가에 의한 생산성의 면에서도 불리해진다. 따라서, 특히 피로 강도를 중시하는 경우에는, 판 두께의 하한은 0.15㎜로 하는 것이 바람직하다. 또, 판 두께의 상한에 관해서는, 필요로 하는 자기 특성의 레벨에 따라 적절히 결정할 수 있지만, 전자 강판으로서 일반적으로 사용되는 것은 0.65㎜ 이하이다. 또한, 본 발명에서는, 고강도화에 수반하는 자기 특성의 열화는, 종래 알려져 있는 고강도 전자 강판보다 억제되어 있으므로, 동등한 강도 레벨, 판 두께로 한 경우, 종래 강보다 우수한 자기 특성을 얻을 수 있다.

[0157] 이어서, 연속 소둔로에서 마무리 소둔을 실시하는데, 소둔 조건은 발명 (1)·(2) 와 발명 (3)·(4) 로 개별적으로 규정한다.

[0158] 발명 (1)·(2) 에 있어서는, 강대의 단위 단면적 (통판과 수직인 방향, 소위 TD 방향 단면의 단면적) 당의 노내 장력을 2.5㎫ 이상 20㎫ 이하로 유지하고, 또한 700℃ 이상 850℃ 이하의 온도 범위에서 실시하는 것이 중요하다. 본 발명의 강 조성으로 이루어지는 압연 코일을 상기 조건에서 마무리 소둔을 실시함으로써, 강판 내에 미재결정의 회복 조직을 잔존시켜 자기 특성과 고강도화의 양립을 도모할 수 있고, 또한 충분한 코일 형상 교정 효과도 발휘할 수 있다.

[0159] 즉, 소둔 온도가 700℃ 미만 또는 장력 2.5㎫ 미만에서는, 형상 교정이 충분하지 않다. 한편, 850℃ 를 초과하면, 재결정이 진행되기 때문에 강도의 저하를 초래한다. 또, 노내 장력이 20㎫ 를 초과하면, 코일에 국부적인 변형이 발생하여 형상이 오히려 열화되거나 노내 파단을 일으키는 경우가 있기 때문에, 20㎫ 를 상한으로 한다. 강판 형상의 개선의 관점에서, 더욱 바람직한 조업 범위는 마무리 소둔 온도 750℃ 이상 850℃ 이하, 노내 장력 5㎫ 이상 15㎫ 이하이다.

[0160] 또한, 마무리 소둔 온도 등의 소둔 조건은, 미재결정 회복 조직이 면적률로 50% 이상 확보되도록 제어하는 것이 바람직하다. 상기 소둔 조건은 실질적으로 그 요구를 만족시키지만, 강 중 Ti 량이 0.3% 미만인 경우에는, 마무리 소둔 온도 (T) (℃) 를 도 1 에서 개산 (槪算) 하여 대략 하기 식

[0161] $T \leq 850-160\ (0.3-x)$ (단 x= 강 중 Ti 량 : 질량%)

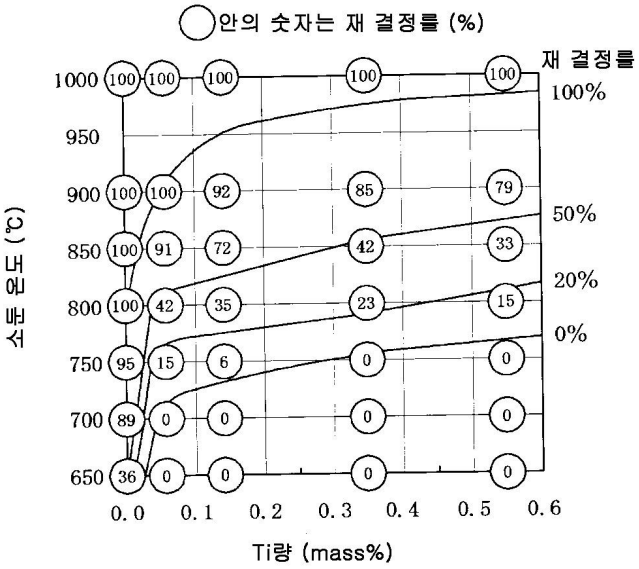
[0162] 를 만족시키는 것이, 보다 확실하게 미재결정 회복 조직 50% 이상을 확보하는 관점에서 바람직하다.

[0163] 한편, 본 발명 (3)·(4) 에 있어서는, 마무리 소둔은 소둔 온도 : 700℃ 이상 1050℃ 이하의 범위에서 실시한다. 마무리 소둔 온도가 700℃ 미만에서는, 재결정이 충분히 진행되지 않아 미재결정립이 불필요하게 많아지므로, 형상 교정이 불충분해진다. 또, 자기 특성도, 700℃ 이상이 안정적으로 양호해진다. 소둔 온도의 상승에 수반하여 철손 특성은 향상되지만, 기계적 특성 (내력, 항장력) 및 피로 특성은 저하되는 경향을 나타내기 때문에, 소둔 온도는 필요로 하는 자기 특성 레벨 및 강도 레벨에 따라 적절히 결정할 수 있다. 상용 주파수 (50 ~ 60Hz) 내지 수 ㎑ 등의 고주파수역에서의 철손 특성의 관점에서는 900 ~ 1050℃, 보다 바람직하게는 925 ~ 1025℃ 이다. 그러나, 마무리 소둔 온도가 1050℃ 를 초과하면 자기 특성의 개선이 보이지 않을 뿐만 아니라, 기계적 특성의 저하를 초래하며 에너지적으로도 불리해지므로 상한은 1050℃ 로 한정한다.

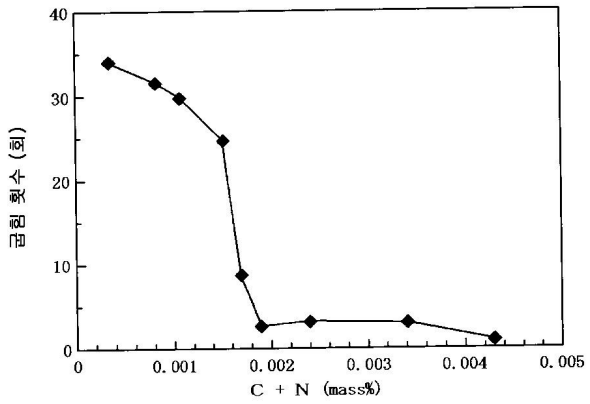
[0164] 상기 마무리 소둔에 이어서, 처리액의 도포 및 베이킹 처리에 의해 절연 피막을 강판에 부여하여 최종 제품으로 한다. 절연 피막의 종류·막 두께나 부여 조건 등은 통상적인 범위이면 된다. 예를 들어 인산염계 피막 등이 바람직하게 사용된다.

도면

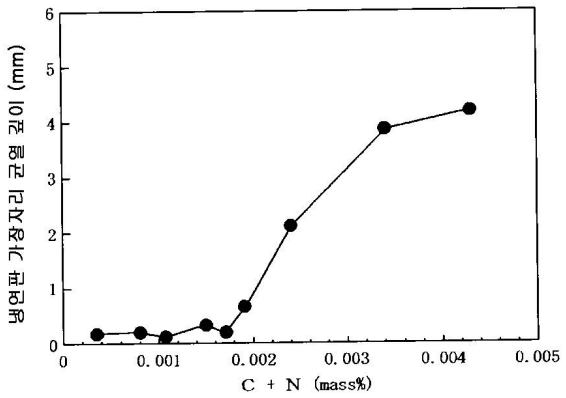
도면1



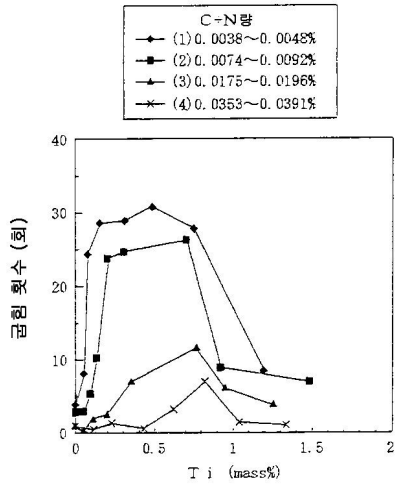
도면2



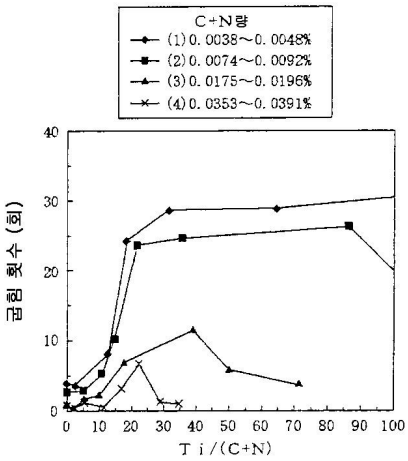
도면3



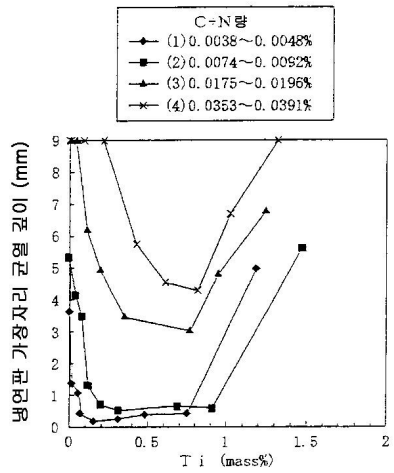
도면4


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
굽힘 횟수 (회)
Ti (mass%)

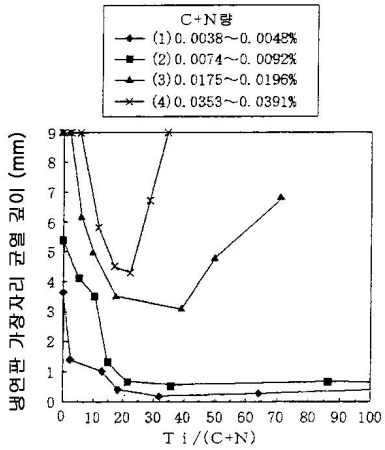
도면5


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
굽힘 횟수 (회)
Ti/(C+N)

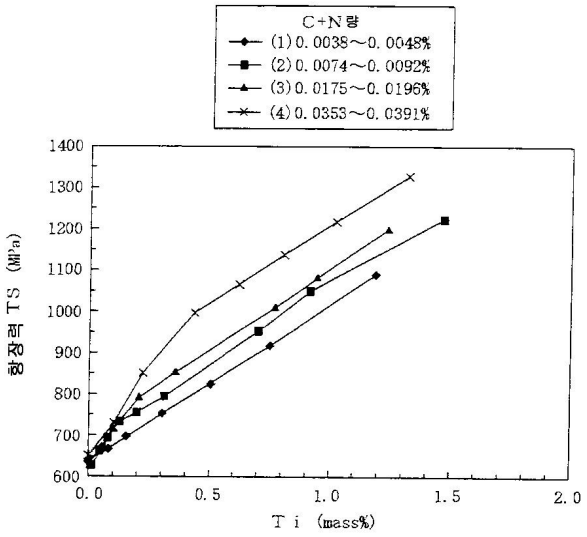
도면6


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
냉연판 가장자리 균열 깊이 (mm)
Ti (mass%)

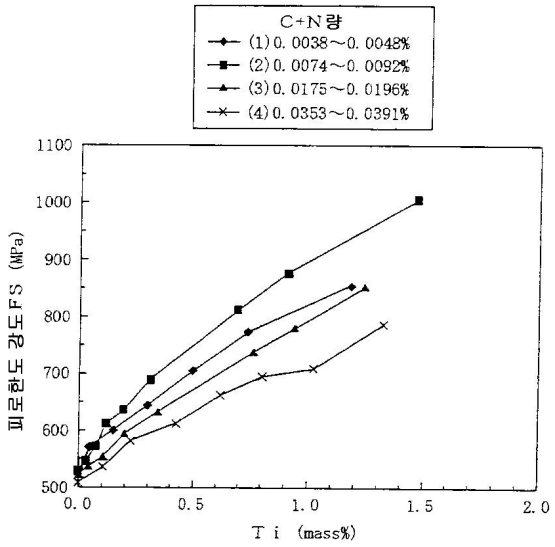
도면7


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
냉연판 가장자리 균열 깊이 (mm)
Ti/(C+N)

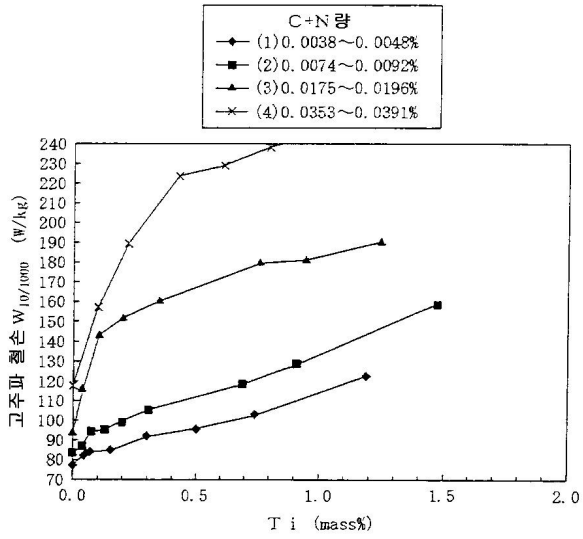
도면8


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
항장력 TS (MPa)
Ti (mass%)

도면9


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
피로한도 강도FS (MPa)
1100
1000
900
800
700
600
500
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
Ti (mass%)

도면10


C+N량
(1) 0.0038~0.0048%
(2) 0.0074~0.0092%
(3) 0.0175~0.0196%
(4) 0.0353~0.0391%
고주파 철손 W10/1000 (W/kg)
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
Ti (mass%)