(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0091289
(43) 공개일자 2025년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 27/245 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) *C22C 38/02* (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01) *C23G 1/08* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01) *H01F 1/18* (2006.01)
H01F 3/02 (2006.01) *H01F 41/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01F 27/245 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7016800
(22) 출원일자(국제) 2023년11월22일
심사청구일자 2025년05월21일
(85) 번역문제출일자 2025년05월21일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/042039
(87) 국제공개번호 WO 2024/111637
국제공개일자 2024년05월30일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-186165 2022년11월22일 일본(JP)

(71) 출원인
닛폰세이테츠 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쪼메 6방 1고
(72) 발명자
다카하시 마사루
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내
야스다 마사토
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 최인호, 성재동

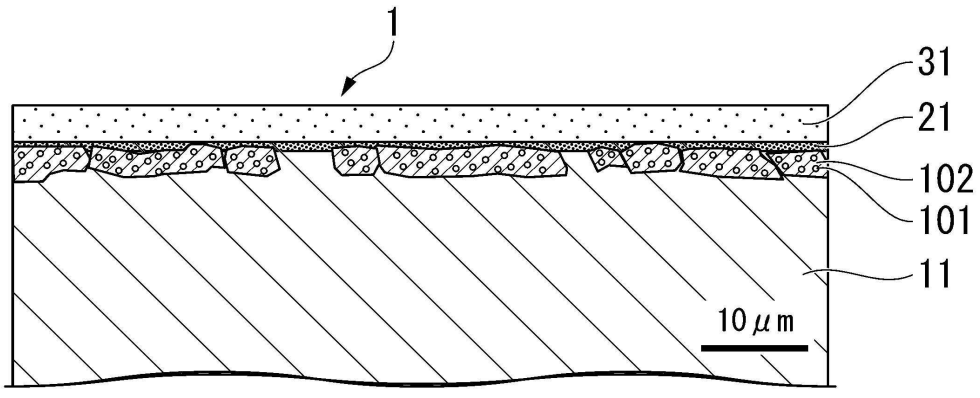
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **방향성 전자 강판 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

이 방향성 전자 강판은, 규소 강판과, 상기 규소 강판의 표면에 형성된, Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층과, 상기 산화물층의 표면에 형성된 절연 피막층을 갖고, 상기 규소 강판의, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이, 0.010 내지 0.200개/㎛^{2}의 밀도로 존재하고, 상기 규소 강판의 표면 측에, 상기 표면에 수직인 방향의 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 두께에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 1.5 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 편평 결정립이 존재하고, 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 상기 계면의 길이에 차지하는, 상기 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C21D 8/1233 (2013.01)
C21D 8/1261 (2013.01)
C21D 8/1272 (2013.01)
C22C 38/02 (2013.01)
C23G 1/08 (2013.01)
H01F 1/147 (2013.01)
H01F 1/18 (2013.01)
H01F 3/02 (2013.01)
H01F 41/0213 (2013.01)

(72) 발명자
하마무라 히데유키
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내
와다 나오키
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내
이와키 마사타카
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내
모기 히사시
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시키가이샤 내

명 세 서

청구범위

청구항 1

규소 강판과,

상기 규소 강판의 표면에 형성된, Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층과,

상기 산화물층의 표면에 형성된 절연 피막층

을 갖고,

상기 규소 강판의, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이, 0.010 내지 0.200개/$㎛^2$의 밀도로 존재하고,

상기 규소 강판의 표면 측에, 상기 표면에 수직인 방향의 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 두께에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 1.5 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 편평 결정립이 존재하고,

상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 상기 계면의 길이에 차지하는, 상기 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 편평 결정립의 상기 평균 두께의 평균이 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 계면을 구성하는 상기 편평 결정립의 표면에 있어서, 상기 산화물층의 피복률이 50% 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 규소 강판에, 깊이가 10 내지 30㎛이고, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 방향으로 연장되는 홈이, 복수 존재하고,

인접하는 상기 홈의 상기 압연 방향의 간격이, 1.0 내지 20.0㎜인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 규소 강판에, 깊이가 10 내지 30㎛이고, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 방향으로 연장되는 홈이, 복수 존재하고,

인접하는 상기 홈의 상기 압연 방향의 간격이, 1.0 내지 20.0㎜인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 규소 강판의 상기 홈의 표면 측에, 상기 홈의 상기 표면에 수직인 방향의 평균 직경이 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 직경에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 2.0 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 홈 내 편평 결정립이 존재하고,

상기 홈의 연장 방향에 수직한 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 홈의 내면의 길이에 차지하는, 상기 홈 내 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 규소 강판의 상기 홈의 표면 측에, 상기 홈의 상기 표면에 수직인 방향의 평균 직경이 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 직경에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 2.0 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 홈 내 편평 결정립이 존재하고,

상기 홈의 연장 방향에 수직한 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 홈의 내면의 길이에 차지하는, 상기 홈 내 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 홈 내 편평 결정립의 상기 평균 직경의 평균이, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 홈 내 편평 결정립의 상기 평균 직경의 평균이, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하인,

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 10

슬래브를, 가열하여 열간 압연하여 열연판으로 하는 열간 압연 공정과,

상기 열간 압연 공정 후의 상기 열연판을 어닐링하는 열연판 어닐링 공정과,

상기 열연판 어닐링 공정 후의 상기 열연판을 산세하는 산세 공정과,

상기 산세 공정 후의 상기 열연판을, 냉간 압연하여 냉연판으로 하는 냉간 압연 공정과,

상기 냉간 압연 공정 후의 상기 냉연판의 표면을 연삭하는 연삭 공정과,

상기 연삭 공정 후의 상기 냉연판을, pH 4.0 내지 10.0의 수성액에 접촉시키는 접촉 공정과,

상기 접촉 공정 후의 상기 냉연판에, 탈탄 어닐링을 행하는 탈탄 어닐링 공정과,

상기 탈탄 어닐링 공정 후의 상기 냉연판에 어닐링 분리제를 도포하고, 마무리 어닐링하고, 모재 강판이 되는 상기 냉연판의 표면에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층을 형성하는 마무리 어닐링 공정과,

상기 마무리 어닐링 공정 후의 상기 산화물층의 표면에, 절연 피막층을 형성하는 절연 피막 형성 공정

을 구비하고,

상기 연삭 공정에서는, 눕 경도가 1000 이상 또한 최대 입자경이 50㎛를 초과하고 500㎛ 이하인 지립, 혹은 상기 지립이 고정된 연마지, 롤 또는 브러시를 사용하여, 1.0 내지 5.0㎜의 압하량 또한 500mpm 이상의 연삭 속도로 연삭을 행하고, 상기 냉연판의 연삭량을, 적어도 한쪽의 표면에 있어서, 0.10 내지 10.0g/m^2로 하는

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 연삭 공정 전에, 상기 냉연판에, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 각도를 이루는 방향으로 연장되는, 깊이가 10 내지 30㎛인 홈을, 상기 압연 방향의 간격이 각각 1.0 내지 20㎜가 되도록 복수 형성하는, 홈 형성 공정을 더 구비하는

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 홈 형성 공정에 있어서, 상기 냉연판의 표면에 레이저를 조사하고, 강판 표면의 일부를 용융시킴과 함께, 용융물을 표면으로부터 제거함으로써, 상기 홈을 형성하는

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 방향성 전자 강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2022년 11월 22일에, 일본에 출원된 일본 특허 출원 제2022-186165호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배 경 기 술

[0003] 방향성 전자 강판은, 연자성 재료이며, 주로, 변압기의 철심 재료로서 사용된다. 방향성 전자 강판은, 예를 들어 Si를 2.00 내지 6.00% 함유하고 제품의 결정 방위를 {110}<001> 방위에 고도로 집적시킨 강판이다. 그 자기 특성으로서, B8값으로 대표되는 자속 밀도가 높은 것, 및, W17/50으로 대표되는 철손이 낮은 것이 요구된다. 특히, 최근에는 에너지 절약의 관점에서 변압기의 전력 손실의 저감에 대한 요구가 높아지고 있어, 방향성 전자 강판의 철손 저감의 요구는 높아지고 있다.

[0004] 이 요구에 부응하여, 방향성 전자 강판의 철손을 저감시키는 수단으로서, 강판 내에 존재하는 자구 폭을 작게 하는, 소위 자구 세분화 기술이 개발되었다. 이하, 이러한 기술, 즉 자구 세분화하는 기술을 「자구 제어 기술」이라고 칭하고, 자구 제어 기술에 의한 효과를 「자구 제어 효과」라고도 칭하는 경우가 있다.

[0005] 예를 들어, 마무리 어닐링 후의 방향성 전자 강판의 표면에 레이저 빔을 조사함으로써, 자구를 세분화(자구 폭을 작게)하여 와전류손을 저감하고, 결과적으로 철손을 저감시키는 방법이, 특허문헌 1에 개시되어 있다. 그러나, 해당 방법에 의한 철손의 저감은 레이저 조사에 의해 강판에 도입된 주로 열 변형에 기인하는 자구 세분화 현상을 이용하고 있어, 변압기용 철심을 성형한 후에 응력 제거 어닐링을 필요로 하는 권철심 용도로서 사용할 수 없다.

[0006] 중소형 변압기에 주로 사용되는 경우가 많은 권철심은, 기계적인 굽힘 가공에 의한 철심 제조 방법에 의해 제조되는 경우가 많다. 이 제조 방법에서는, 굽힘 가공에 의해 강판에 도입된 가공 변형에 의한 철손 증가를 해소하기 위해, 철심 형상을 기계 가공에 의해 제작 후, 응력 제거 어닐링(예를 들어 800℃에서 2 내지 4시간 정도)이 일반적으로 행해진다. 이러한 응력 제거 어닐링에 의해, 철심에 도입된 기계 가공에 의한 변형은 감소·소실되는데, 상기한 레이저 조사에 의해 자구 제어가 이루어진 강판은 자구 세분화를 위하여 도입한 열 변형이 소실되어 버린다. 이 때문에, 레이저 조사로 대표되는 열 변형의 도입에 의해 자구 세분화된 방향성 전자 강판은, 일반적으로 권철심에는 적용할 수 없다고 여겨지고 있다.

[0007] 상기와 같은 응력 제거 어닐링을 실시해도 자구 제어 효과가 상실되지 않는 자구 제어 기술로서는, 압연 방향과 교차하는 방향으로 주기적으로 선상의 홈을 형성하는 「홈 도입형 자구 제어 기술」이 널리 알려져 있다. 이러한 홈 도입형 자구 제어 기술로서는, 기계 가공에 의한 홈 형성 기술, 에칭에 의한 홈 형성 기술, 레이저 조사에 의한 홈 형성 기술 등이 알려져 있다. 예를 들어 특허문헌 2에는 레이저 조사에 의한 홈 형성 기술이 개시되어 있다. 그러나, 이들 홈 형성 방법만으로는, 근년 점점 높아지고 있는 철손 저감 요구에는 충분히 부응할 수 없다.

[0008] 또한, 그 밖의 방법으로 철손을 저감시키는 기술로서, 특허문헌 3에는, 탈탄 어닐링 전에 강판 표면에 예리하고 또한 미세한 요철을 형성하여 해당 표면을 활성화하고, 탈탄 어닐링 후의 시점에 실리카가 많은 산화층을 형성하는 기술이 개시되어 있다.

[0009] 또한, 특허문헌 4에는, 피막 특성과 자기 특성의 향상을 위해, 표면에 Mg, Si, Al을 주로 하는 산화물로 이루어지는 어닐링 피막을 갖고, 피막과 강판의 경계로부터 3㎛ 이내의 강판 부분, 혹은, 피막과 강판 결정립의 혼재 영역에 있어서의 강판 결정립의 결정 방위 분포에 있어서, Goss 방위로부터의 편차 각도가 10° 이내인 결정 방위 입자의 존재 비율을 50% 이하로 하는 기술이 개시되어 있다.

[0010] 그러나, 이들 방법으로도, 근년 점점 높아지고 있는 철손 저감 요구에는 충분히 부응할 수 없다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 소56-51522호 공보

(특허문헌 0002) 일본 특허 공개 제2005-59014호 공보

(특허문헌 0003) 일본 특허 공개 소62-151522호 공보

(특허문헌 0004) 일본 특허 공개 제2003-27194호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 상술한 바와 같이, 자속 밀도의 향상, 또한 그 향상값에 걸맞은 철손 저감 효과를 얻는 것은 검토되어 있지만, 근년 점점 높아지고 있는 요구에 대해서는 충분하다고는 말할 수 없었다. 특히, 철심 가공 시에 응력 제거 어닐링을 실시하여 제조되는 권철심에의 적용에 적합한 방향성 전자 강판(GO)에 있어서, 자속 밀도의 향상, 또한 그 향상값에 걸맞은 철손 저감 효과는 충분히 얻어지지 않고 있었다.

[0013] 그 때문에, 본 발명은, 우수한 자기 특성(높은 자속 밀도와 그 자속 밀도에 걸맞은 낮은 철손)을 갖는 방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 과제로 한다. 바람직하게는, 권철심 등의 응력 제거 어닐링이 실시되는 철심에의 적용을 상정하고, 비내열 자구 제어(상술한 강판 표면에의 레이저 조사에 의해 강판에 열 변형을 도입하여 자구 제어를 도모하는 것)에 의하지 않고 제조되는 방향성 전자 강판이며, 우수한 자기 특성(높은 자속 밀도와 그 자속 밀도에 걸맞은 낮은 철손)을 갖는 방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명자들은, 권철심에의 적용에 적합한 방향성 전자 강판의 자기 특성의 개선, 즉 자속 밀도의 향상 및 철손 저감에 대하여 검토를 행하였다. 그 결과, 방향성 전자 강판이 구비하는 규소 강판(모재 강판)의 표면 근방에 Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이 소정의 밀도로 존재하고, 또한, 규소 강판의 표면 측에 있어서, 편평하고 또한 결정 방위가 Goss 방위({110}<001> 방위)로부터의 어긋남 각이 10° 이상인 결정립을 형성시킴으로써, 에너지적으로 180° 자구 폭을 작은 상태로 제어할 수 있어, 결과적으로, 와전류손을 저감할 수 있고 또한 철손을 저감할 수 있는 것을 알았다.

[0015] 또한, 본 발명자들은, 제조 조건의 영향에 대하여 검토를 행하였다. 그 결과, 이하의 점에 대하여 지견을 얻었

다.

[0016] 즉, 방향성 전자 강판에 있어서 고도의 자기 특성을 발현시키는 Goss 방위는, 그 제조 공정의 마무리 어닐링 공정에 있어서, 인히비터라고 불리는 AlN이나 MnS 등을 결정립계에 석출물로서 존재시키고, 그 석출물의 피닝 효과를 활용한, 「2차 재결정」이라고 불리는 이상 입성장 현상에 의해 고도로 집적된다. 강판 내에 Goss 방위의 집적이 종료, 즉 강판 면 내가 거의 Goss 방위 입자로 다 덮인 후, 역할을 마친 인히비터는 마무리 어닐링 공정의 후반의 승온에 의해 분해, 산화되어 강판 내에서 제거된다. 즉, 강판 내에 Goss 방위가 충분히 집적되기 전에 인히비터의 분해·산화가 발생하는 것은 바람직하지 않다. 또한, 인히비터에 대하여 보다 고온까지 분해·산화를 억제함으로써, 보다 고도로 Goss 방위를 집적, 즉, 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정을 집적시키는 것이 가능하다. 그 때문에 인히비터의 역할을 하는 석출물의 내열성을 높이는 수법이 사용된다.

[0017] 본 발명자들은, 인히비터의 내열성을 높이는 수법으로서, 방향성 전자 강판의 제조에 있어서 통상 행해지는 탈탄 어닐링 공정에 있어서, 후의 마무리 어닐링 시에 인히비터의 분해·산화를 억제할 수 있는 산화물을 강판 표면에 존재하게 하는 것이 유효한 것을 발견하였다. 또한, 상기한 인히비터의 분해·산화를 억제할 수 있는 산화물을 마무리 어닐링 전의 탈탄 어닐링 공정을 이용하여 강판 표면에 존재하게 함으로써, 편평 또한 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인 결정립을 강판 표면의 산화물과 강판의 계면 부근에 생성시킬 수 있고, 이 편평 결정립이 자기 특성의 개선에 기여하는 것을 발견하였다.

[0018] 또한, 본 발명자들은, 자기 특성 개선을 위하여 보다 바람직한 편평 결정립을 생성시키기 위해서는, 탈탄 어닐링 공정에 있어서 산화물 입자를 모재 강판이 되는 냉연판의 표면 측에 보다 밀하게 두껍게 또한 균일하게 형성시키는 것이 유효한 것, 산화물 입자를 밀하게 두껍게 또한 균일하게 형성시키기 위해서는, 탈탄 어닐링 공정 전에, 탈탄 어닐링 시에 강판 표면의 균일한 산화를 저해하는 강판의 표면과의 반응물을 제거하기 위하여, 소정의 조건으로 냉연판을 연삭하는 것이 유효한 것을 발견하였다.

[0019] 또한, 상기의 강판은, 소정의 조건 하에서 홈 도입형 자구 제어 기술과 조합함으로써, 철손의 저감을 더 도모할 수 있는 것을 발견하였다.

[0020] 본 발명은 상기의 지견에 감안하여 이루어졌다. 본 발명의 요지는 이하와 같다.

[0021] [1] 본 발명의 일 양태에 관한 방향성 전자 강판은, 규소 강판과, 상기 규소 강판의 표면에 형성된, Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층과, 상기 산화물층의 표면에 형성된 절연 피막층을 갖고, 상기 규소 강판의, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이, 0.010 내지 0.200개/$㎛^2$의 밀도로 존재하고, 상기 규소 강판의 표면 측에, 상기 표면에 수직인 방향의 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 두께에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 1.5 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 편평 결정립이 존재하고, 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 규소 강판과 상기 산화물층의 상기 계면의 길이에 차지하는, 상기 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이다.

[0022] [2] [1]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 편평 결정립의 상기 평균 두께의 평균이 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하여도 된다.

[0023] [3] [1] 또는 [2]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 계면을 구성하는 상기 편평 결정립의 표면에 있어서, 상기 산화물층의 피복률이 50% 이상이어도 된다.

[0024] [4] [1] 또는 [2]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 규소 강판에, 깊이가 10 내지 30㎛이고, 압연 방향에 대하여 80 내지 100°의 방향으로 연장되는 홈이, 복수 존재하고, 인접하는 상기 홈의 상기 압연 방향의 간격이, 1.0 내지 20.0㎜여도 된다.

[0025] [5] [3]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 규소 강판에, 깊이가 10 내지 30㎛이고, 압연 방향에 대하여 80 내지 100°의 방향으로 연장되는 홈이, 복수 존재하고, 인접하는 상기 홈의 상기 압연 방향의 간격이, 1.0 내지 20.0㎜여도 된다.

[0026] [6] [4]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 규소 강판의 상기 홈의 표면 측에, 상기 홈의 상기 표면에 수직인 방향의 평균 직경이 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 직경에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 2.0 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 홈 내 편평 결정립이 존재하고 상기 홈의 연장 방향에 수직한 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 홈의 내면의 길이에 차지하는, 상기 홈 내 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이어도 된다.

[0027] [7] [5]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 규소 강판의 상기 홈의 표면 측에, 상기 홈의 상기 표면에 수직인 방향의 평균 직경이 0.5 내지 5.0㎛, 상기 평균 직경에 대한 상기 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 2.0 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 홈 내 편평 결정립이 존재하고 상기 홈의 연장 방향에 수직한 상기 판 두께 방향의 단면에 있어서, 상기 홈의 내면의 길이에 차지하는, 상기 홈 내 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이어도 된다.

[0028] [8] [6]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 홈 내 편평 결정립의 상기 평균 직경의 평균이, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하여도 된다.

[0029] [9] [7]에 기재된 방향성 전자 강판은, 상기 홈 내 편평 결정립의 상기 평균 직경의 평균이, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하여도 된다.

[0030] [10] 본 발명의 다른 양태에 관한 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 슬래브를, 가열하여 열간 압연하여 열연판으로 하는 열간 압연 공정과, 상기 열간 압연 공정 후의 상기 열연판을 어닐링하는 열연판 어닐링 공정과, 상기 열연판 어닐링 공정 후의 상기 열연판을 산세하는 산세 공정과, 상기 산세 공정 후의 상기 열연판을, 냉간 압연하여 냉연판으로 하는 냉간 압연 공정과, 상기 냉간 압연 공정 후의 상기 냉연판의 표면을 연삭하는 연삭 공정과, 상기 연삭 공정 후의 상기 냉연판을, pH 4.0 내지 10.0의 수성액에 접촉시키는 접촉 공정과, 상기 접촉 공정 후의 상기 냉연판에, 탈탄 어닐링을 행하는 탈탄 어닐링 공정과, 상기 탈탄 어닐링 공정 후의 상기 냉연판에 어닐링 분리제를 도포하고, 마무리 어닐링하고, 모재 강판이 되는 상기 냉연판의 표면에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층을 형성하는 마무리 어닐링 공정과, 상기 마무리 어닐링 공정 후의 상기 산화물층의 표면에, 절연 피막층을 형성하는 절연 피막 형성 공정을 구비하고, 상기 연삭 공정에서는, 눕 경도가 1000 이상 또한 최대 입자경이 50㎛를 초과하고 500㎛ 이하인 지립, 혹은 상기 지립이 고정된 연마지, 롤 또는 브러시를 사용하여, 1.0 내지 5.0㎜의 압하량 또한 500mpm 이상의 연삭 속도로 연삭을 행하고, 상기 냉연판의 연삭량을, 적어도 한쪽의 표면에 있어서, 0.10 내지 10.0g/m^2로 한다.

[0031] [11] [10]에 기재된 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 연삭 공정 전에, 상기 냉연판에, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 각도를 이루는 방향으로 연장되는, 깊이가 10 내지 30㎛인 홈을, 상기 압연 방향의 간격이 각각 1.0 내지 20㎜가 되도록 복수 형성하는, 홈 형성 공정을 더 구비해도 된다.

[0032] [12] [11]에 기재된 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 홈 형성 공정에 있어서, 상기 냉연판의 표면에 레이저를 조사하고, 강판 표면의 일부를 용융시킴과 함께, 용융물을 표면으로부터 제거함으로써, 상기 홈을 형성해도 된다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 상기 양태에 의하면, 우수한 자기 특성을 갖는 방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 단면의 모식도이다.

도 2는 홈이 형성된 경우의, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 단면의 모식도이다.

도 3은 결정립의 평균 두께, 애스펙트비를 측정하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 4는 편평 결정립에 있어서의, 산화물층의 피복률의 측정 방법을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판(본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판) 및 그 제조 방법에 대하여 설명한다.

[0036] <방향성 전자 강판>

[0037] 도 1에 나타내는 바와 같이, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판(1)은, 규소 강판(11)(이하 모재 강판, 또는 단순히 강판이라고 하는 경우가 있음)과, 상기 규소 강판(11)의 표면에 형성된, Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층(21)과, 상기 산화물층(21)의 표면에 형성된 절연 피막층(31)을 갖는다.

[0038] 산화물층(21) 및 절연 피막층(31)은, 강판의 편면에만 형성되어 있어도 되지만, 양면에 형성되어 있는 편이 절

연성 등의 관점에서 바람직하다.

[0039] 이하 각각에 대하여 설명한다.

[0040] [규소 강판]

[0041] (규소 강판과 산화물층의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이, 0.010 내지 0.200개/$㎛^2$의 밀도로 존재함)

[0042] 방향성 전자 강판에서는, 마무리 어닐링 시에 인히비터(AlN 등의 결정립계에 존재하는 석출물)의 분해, 산화를 억제하고 고온까지 존재시킴으로써, 2차 재결정 시 고도로 Goss 방위를 집적, 즉 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정을 집적시키는 것이 가능해져 자속 밀도를 향상시킬 수 있으므로, 철손 저감을 도모할 수 있다.

[0043] 인히비터가 되는 석출물의 사이즈는 원 상당 직경으로 수10nm 내지 약 100nm로 매우 작다. 또한 그 사이즈에는 분포가 있다. 사이즈에 분포가 있는 경우, 사이즈가 작은 인히비터는 저온에서 분해·산화가 완료되고, 인히비터로서 효과가 실활된다. 그 경우, 이상 Goss 방위에 보다 가까운 Goss 방위의 2차 재결정이 곤란해져, 자속 밀도를 향상시키는 것이 어렵다. 한편, 인히비터의 사이즈 분포를 일정하게(사이즈의 차가 적어지도록) 제어하면 상기 과제는 해소되지만 공업적으로는 극히 곤란하다.

[0044] 이에 비해, 인히비터의 사이즈 분포가 발생한 상태에서도 어떤 방법으로 분해·산화를 억제하여 인히비터를 고온까지 존재하게 할 수 있으면, 이상 Goss 방위에 보다 가까운 결정립의 2차 재결정을 발생시킬 수 있다. 또한, 인히비터의 분해·산화의 억제에는, 내열성이 높은 인히비터를 사용하는 방법이 있다. 한편 인히비터의 성분 등에 변경을 가하지 않고 달성하는 방법으로서 탈탄 어닐링 공정에서 강판 표면 위 혹은 강판의 표층부(강중)에 형성되는 Si의 산화물 입자(이하 Si계 프리 산화물이라고 하는 경우가 있음)가 기여하는 것이 알려져 있다. 그 기구는 추측이 되지만, 인히비터의 산화는 마무리 어닐링 분위기에 포함되는 미량의 산소가 강판 표면에서 AlN 등을 산화시킴으로써 발생하는데, 상기의 Si계 프리 산화물이 그 산화를 방지·경감하기 때문이라고 생각된다.

[0045] 그러나, 이 Si계 프리 산화물은 규소 강판의 표면의 각 부위에서의 형성 상태가 불균일해지기 쉽다. 형성 상태가 불균일하면, 강판 면 내의 장소에 따라 인히비터의 분해·산화의 억제 효과에 변동이 발생하여, 목적으로 하는 효과가 충분히 얻어지지 않는다.

[0046] 본 발명자들은, 표면의 각 부위에서 마무리 어닐링 후의 산화물층의 형성 상태가 불균일해지는 원인을 조사하였다. 그 결과, 탈탄 어닐링 전의 규소 강판(냉연판)의 표면에는 Fe계 산화물이나, 냉간 압연 시에 사용되는 압연유에 포함되는 유성제 또는 극압 첨가제 등과 강판의 표면 금속의 반응물이, 강판 표면에 불균일하게 존재하고 있어, 이들 Fe계 산화물이나 반응물이, 탈탄 어닐링 시에 Si계 프리 산화물이 표면으로부터 일정한 두께 영역에 밀하게 두껍게 또한 균일하게 형성되는 것을 저해하고 있는 것을 발견하였다.

[0047] 본 발명자들은, 냉간 압연 시 상기한 Fe계 산화막이나 반응물을 균일하게 하는 것은 곤란하기 때문에, 그것들 Si계 프리 산화물의 형성 저해 인자를 무해화하는 검토를 행하였다. 그 결과, 후술하는 바와 같이, 탈탄 어닐링 공정 전의 냉연판의 표면(적어도 한쪽의 면)을 지립, 혹은 지립이 고정된 연마지, 롤 또는 브러시를 사용하여, 일정하게 연삭하여 청정한 금속면을 노출시키고 그 직후에 수성액에 접촉시킴으로써, 강판의 표면으로부터 Si계 프리 산화물의 형성 저해 인자가 되는 Fe계 산화물이나 반응물을 제거할 수 있고, 탈탄 어닐링 공정 후에 Si계 프리 산화물을 강판의 표면으로부터 일정한 두께의 영역에, 소정의 개수 밀도로 형성할 수 있는 것을 발견하였다.

[0048] 이들 지견에 기초하여, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 강판(규소 강판)(11)과 산화물층(21)의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, Si계 프리 산화물이 마무리 어닐링 등의 공정에서 인히비터의 산화 또는 어닐링 분리제와의 고상 반응에 의해 변화한 산화물인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이며 또한 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인 산화물(101)(산화물 입자)이 0.010 내지 0.200개/$㎛^2$의 밀도로 존재한다. 이 산화물(101)은, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물(복합 산화물을 포함함)이면 되지만, 후술하는 제조 조건을 전제로 한 경우에는, 스피넬($MgAl_2O_4$), 알루미나(Al_2O_3), 멀라이트($2SiO_2 \cdot 3Al_2O_3$) 등의 Mg, Al 및 Si를 포함하는 산화물인 경우가 많다.

[0049] 산화물(101)의 개수 밀도가 너무 작으면, 산화물층(21)의 강판에의 밀착성이 나빠져, 후술하는 편평 결정립(102)의 형성이 불균일해진다. 한편, 산화물(101)의 개수 밀도가 너무 크면 강판(11)의 금속 부분이 차지하는

부분이 적어지기 때문에 자속 밀도가 저하된다. 또한, 편평 결정립(102)의 비율도 상대적으로 작아지므로 철손 저감의 효과가 얻어지기 어렵다.

[0050] 산화물(101)이 소정의 영역에 균일하게 형성됨으로써, 마무리 어닐링에 있어서 인히비터의 분해·산화의 억제 효과에 대하여, 장소마다의 변동이 저감되어, 방향성 전자 강판(1)에 있어서, 자속 밀도가 향상된다. 또한, 적절하게 편평 결정립(102)을 형성시킴으로써 180° 자구 폭이 작아져, 자속 밀도에 상응한 철손 저감 효과가 얻어진다.

[0051] 형성의 과정을 고려하면, 상기 산화물(101)은 후술하는 편평 결정립(102) 중에 존재하는 경우가 많다.

[0052] (규소 강판의 표면 측에, 표면에 수직인 방향의 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 평균 두께에 대한 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 1.5 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 편평 결정립이 존재함)

[0053] (판 두께 방향의 단면에 있어서, 규소 강판과 산화물층의 계면의 길이에 차지하는, 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상임)

[0054] 상술한 바와 같이, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 주로 탈탄 어닐링 공정 등을 이용해 규소 강판(모재 강판)의 표층부(표면으로부터 10㎛의 범위)에 Si계 프리 산화물을 균일하게 형성시킴으로써, 마무리 어닐링 시에 인히비터의 분해, 산화를 억제하여 고온까지 존재하게 한다. 이 경우, 고도로 Goss 방위를 집적, 즉 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정을 집적시키는 것이 가능해져 결과적으로 자속 밀도가 향상된다. 즉 철손 저감을 도모할 수 있다.

[0055] 한편, 보다 고온에서 2차 재결정을 발생시킨다는 것은, 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정립만 2차 재결정이 발생한다는 것이다. 이 경우, 2차 재결정하는 Goss 방위 입자의 수가 적어지기 때문에, 강판의 단위 면적당 Goss 방위 입자의 수가 적어진다. 즉, Goss 방위 입자 1개당 결정 입경이 보다 커진다.

[0056] 방향성 전자 강판에 요구되는 철손은, 그 내역으로서 히스테리시스손과 와전류손으로 나뉜다. 히스테리시스손은 자속 밀도의 향상에 의해 저감된다. 한편 와전류손은 판 두께의 감소, 강판의 비저항 상승에 의해 저감되는 고전적 와전류손과, Goss 방위 입자 내에 형성하는 자구 폭이 작아짐으로써 저감되는 이상 와전류손이 있다. 상기 고전적 와전류손 저감에 있어서의 판 두께의 감소 및 강판의 비저항 상승은, 생산성에 영향을 미치는 경우가 많으므로, 이상 와전류손의 저감 즉 자구 폭을 작게 하는 것은 중요하다. 자구 폭은 일반적으로 Goss 방위의 결정 입경과 상관 관계에 있다. 일반적으로는 결정 입경의 소경화에 의해 방향성 전자 강판 내에 생성하는 소위 180° 자구의 자구 폭도 함께 작아진다.

[0057] 즉, 상기의 산화물의 제어에 의해 자속 밀도가 향상되지만, 결정 입경의 조대화에 의해 이상 와전류손이 증대되고, 자속 밀도의 향상에 걸맞은 철손 저감 효과는 얻어지지 않는 것이 염려된다.

[0058] 그래서, 본 발명자들은, 자속 밀도 향상에 걸맞은 철손 저감 방법, 즉 이상 Goss 방위 결정립의 존재 빈도를 높인 뒤에, 부차적으로 발생하는 결정 입경의 조대화를 해결하기 위한, 자구 폭을 작게 하는 방법에 대하여 검토를 행하였다. 그 결과, 상기와 같이 보다 고온에서 2차 재결정을 발생시켜, 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정립만 2차 재결정을 발생시키고, 그 결정 입경이 큰 경우에 있어서도, 그 강판의 표면에, 편평하고 또한 Goss 방위로부터의 어긋남 각이 10° 이상인 결정립(편평 결정립)을 존재시킴으로써, 에너지적으로 180° 자구 폭을 작은 상태로 제어할 수 있어, 와전류손 증가를 억제할 수 있는 것을 알았다.

[0059] 구체적으로는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 모재 강판(11)의 표면 측에, 표면에 수직인 방향의 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 평균 두께에 대한 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 1.5 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남(어긋남 각)이 10° 이상인, 편평 결정립(102)이 존재하는(편평 결정립(102)이 규소 강판(11)의 최표층을 구성하는 입자로서 존재함) 경우에 와전류손이 저감되는 것을 알았다.

[0060] 평균 두께가 0.5㎛ 미만, 애스펙트비가 1.5 미만, 또는 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 미만인 결정립에서는, 자구 폭을 작게 하는 효과를 충분히 얻지 못하여, 철손이 충분히 저감될 수 없다.

[0061] 한편, 이 결정립은 Goss 방위로부터의 어긋남이 있으므로, 결정립의 평균 두께가 5.0㎛를 초과하면, 전체의 자기 특성의 열화, 즉, 자속 밀도가 저감되어 철손이 증가한다.

[0062] 각 편평 결정립의 평균 두께의 평균은, 자구 폭을 작게 하는 효과를 충분히 얻는 점에서, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하인 것이 바람직하다.

[0063] 또한, 상기의 자구 세분화 효과를 충분히 얻기 위해, 판 두께 방향의 단면에 있어서, 모재 강판과 산화물층의 계면의 길이에 차지하는, 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이다.

[0064] 계면을 구성하는 편평 결정립의 비율이 작으면, 자구 폭을 작게 하는 효과는 불충분하기 때문에 철손 저감에 충분한 효과를 얻지 못한다.

[0065] 방향성 전자 강판의 제조 방법에서는, 마무리 어닐링 시에, 강판의 판 두께 방향 내측에 있는 미소한 Goss 방위 입자가 주위의 Goss 방위 이외의 방위를 갖는 결정립을 잠식하면서 성장함으로써, 판 두께 방향의 내측으로부터 판 두께 표면에 걸쳐 압연 방향, 폭 방향에 대하여 Goss 방위 입자(규소 강판의 길이 방향이 <100> 방향이고 면 방향은 <110> 방향인 결정립)의 비율이 더 증가한다.

[0066] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 상술한 바와 같이 규소 강판의 표층부에 이산적으로(소정의 개수 밀도로) 산화물이 존재함으로써, 판 두께 내부에 존재하는 Goss 방위 입자의 입성장 시에, 강판 표층부에 미소한 편평상의 결정립이 Goss 방위 입자에 대해 잠식되지 않고 잔존함으로써, 결과적으로 편평상의 입자로서 확인되는, 「편평 결정립」이 형성된다고 생각된다.

[0067] 표면 측에 존재하는 결정립의 평균 두께, 애스펙트비, 결정 방위의 어긋남은, 이하의 방법으로 측정할 수 있다.

[0068] 강판으로부터, 압연 방향(RD 방향)에 평행한 면이 단면으로서 얻어지도록, 예를 들어 한 변이 20㎜ 정도인 정사각형의 시료를 잘라내고, 그 단면을 경면이 되도록 연마한다. 또한 연마에 의한 변형이 강판에 부여되어 있는 상태에서는, 결정 방위의 측정이 곤란해지므로, 연마의 최종 공정에서는 콜로이달 실리카 등의 연마재를 사용하여 변형이 들어가지 않도록 연마 시료를 제작한다. 당해 연마 시료를 사용하여 FE-SEM에 의해 단면 형상을 관찰하고, 그 후 EBSD 측정에 의해 결정 방위의 측정을 행한다. FE-SEM에 관해서는 「SU-70」(히타치 하이테크사제)이 예로서 사용되고, EBSD 측정에 관해서는 TSL 솔루션즈사제 「Digiview」가 예로서 사용된다. 구체적인 수법으로서는 이하를 예로서 들 수 있다. FE-SEM으로 단면에 대하여 500배의 배율로, 모재 강판, 산화물층, 절연 피막층이 포함되는 범위를 관찰하고, 전자 현미경상을 얻는다. 전자 현미경상에 있어서의 전자 밀도의 차로부터 후술하는 절연 피막층과 산화물층의 계면 및 산화물층과 강판의 계면을 특정한다. 상기의 계면의 특정 시에, FE-SEM에 원소 분석 장치(EDS)가 부속되어 있는 경우에는, P, B, O, Fe 등, 절연 피막층, 산화물층, 규소 강판에 포함되는 원소종의 차이로부터, 보다 정교하고 치밀하게 계면을 특정하는 것이 가능하다.

[0069] 계속하여 동일한 시야의 단면에 대하여 EBSD에 의해 강판의 결정 방위의 측정을 행한다. 구체적으로는 편평 결정립이 100개 이상 포함된다고 상정되는, 500배의 시야에 있어서, 단면 길이로서, 압연 방향으로 200㎛, 판 두께 방향으로 70㎛의 영역을 대상으로 하고, 측정점 피치로서 0.25㎛ 간격으로, 결정 방위의 측정을 행한다. 결정 방위 차가 15° 이상인 경계를 결정립계로 하여, 이 결정립계로 둘러싸이는 범위를 결정립으로 한다. 시야 중, 결정립의 수가 100개 미만인 경우, 추가의 시야에 대하여 측정을 행한다.

[0070] 이 결정립에 관하여, 도 3에 나타내는 바와 같이, a) 내지 d)에 나타내는 방법으로 결정립의 평균 두께를 구한다.

[0071] a) 강판의 판 두께 방향(법선 방향)으로 입자의 양단을 정하는 가상선(1)을 긋는다.

[0072] b) 양단의 거리 L에 대하여 결정립의 양단으로부터 각각 L의 2.5%인 곳에 판 두께 방향의 가상선(그 사이가 입자의 95% 폭을 나타내는 선)(2)을 긋는다.

[0073] c) 상기 b)에서 그은 가상선의 사이(결정립의 95% 폭 부분)에 대하여, 결정립과 산화물층의 계면 및 결정립의 하측(산화물층과는 반대측의 결정립계)의 포락선에 대하여 평균 선(3)을 긋는다.

[0074] d) 상기 c)에서 그은 2개의 평균 선의 거리를 두께 t(4)로서 구한다(양단과 중심, 양단과 중심의 중간점의 합계 5군데를 평균).

[0075] 또한, 상기 a)에서 그은 입자의 양단의 범위를 이 결정립의 폭으로 하여, 애스펙트비를 산출한다.

[0076] 상기 결정립 중, 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 애스펙트비가 1.5 이상인 결정립 전체에 대하여, Fe의 페라이트상의 결정 방위를 측정한다. 그리고 나서 측정한 결정 방위를 IPF맵이라고 불리는 결정 방위 맵으로 하여 압연 방향(RD 방향) 및 강판면 법선 방향(ND 방향)에 대한 결정 방위를 도시한 맵 도면를 얻는다. 각 결정립의 Goss 방위와의 방위차의 평균을 산출하고, Goss 방위로부터의 어긋남으로 한다. Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상이면, 편평 결정립이라고 한다.

[0077] 편평 결정립의 평균 두께의 평균(단순 평균)은, 상기에서 얻어진 각 편평 결정립의 평균 두께의 합을, 편평 결

정립의 숫자로 나눔으로써 얻어진다.

[0078] 편평 결정립은, 압연 방향(길이 방향) 및 폭 방향으로 편평한 점에서, 판 두께 방향의 단면이라면, 어느 방법으로 관찰해도 되지만, 상술한 강판을 압연 방향(RD 방향)에 평행한 면을 단면으로서 얻어 EBSD로 결정 방위 맵을 얻어 「편평 결정립」의 존재를 확인하는 방법이, 정밀도가 높으므로 바람직하다. 그 밖에도 단순히 「편평 결정립」의 존재를 확인하는 방법으로서 압연 방향(RD 방향)에 평행한 면을 연마하여 평활한 단면으로서 얻은 후, 통칭 나이탈법(질산에탄올법, JIS-G-0553(2019) 등에 기재) 등에 의해 결정립계를 현출하는 방법에 의해 확인하는 방법은 있지만, 본 방법으로는 결정 방위의 특정을 할 수 없고, 별도로 EBSD 등에 의해 결정 방위 측정의 필요가 있으므로, 본 실시 형태에서는 상기한 FE-SEM과 EBSD를 병용하는 방법을 채용한다.

[0079] 또한, 모재 강판과 산화물층의 계면의 길이에 차지하는, 편평 결정립의 입계의 길이의 비율은, 이하의 방법으로 구할 수 있다.

[0080] 예를 들어 500배의 배율로 관찰한 시야에 있어서, 압연 방향의 단면 길이로서 규소 강판과 산화물층의 계면에 대하여, 200㎛의 영역을 대상으로 하여, SEM 관찰 및 EBSD 측정을 행한다. 이를 5군데, 즉, 계면 길이로서 1000㎛ 분에 대하여 SEM 관찰 및 EBSD 측정을 행한다. 규소 강판과 산화물층의 계면의 길이(1000㎛) 중, 평균 두께가 0.5 내지 5.0㎛, 애스펙트비가 1.5 이상, Goss 방위와의 방위차가 10° 이상인 편평 결정립의 입계가 차지하는 비율(백분율)을 측정한다. 절연 피막층, 산화물층, 규소 강판의 계면이나, 편평 결정립의 동정 등은 상기와 동등한 요령으로 행할 수 있다.

[0081] 측정 시에는, 측정 범위 B 중, 규소 강판의 표면에 산화물층이 형성되어 있는 길이를 B'이라고 하고(측정 범위 전역에 산화물층이 형성되어 있다면 B=B') 이 중, 규소 강판의 최표층에 편평 결정립이 형성되고, 규소 강판과 산화물층의 계면이, 편평 결정립의 결정립계인 부분의 길이를 b1, b2...bi라고 하고(도면에서는 i=3), b1 내지 bi의 길이의 합계(Σbi)를 규소 강판의 표면에 산화물층이 형성되어 있는 길이인 B'로 제산(Σbi/B')함으로써, 모재 강판과 산화물층의 계면의 길이에 차지하는, 편평 결정립의 입계의 길이 비율을 측정한다.

[0082] (홈)

[0083] 압연 방향과 교차하는 방향으로 주기적으로 선상의 홈을 형성함으로써, 자구 제어를 행할 수 있다. 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 이 효과를 얻기 위하여 도 2에 나타내는 바와 같이, 모재 강판(11)의 표면에 홈 G가 형성되어 있는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 규소 강판(모재 강판)(11)에, 깊이(판 두께 방향)가 10 내지 30㎛이며, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 방향으로 연장되는 홈 G가, 복수 존재하고, 인접하는 홈 G의 압연 방향의 간격이, 1.0 내지 20.0㎜인 것이 바람직하다. 인접하는 홈 G의 압연 방향의 간격은, 보다 바람직하게는 2.0 내지 10.0㎜이다.

[0084] 홈의 사이즈나 간격이 상기의 범위가 아니면, 충분한 효과를 얻지 못한다. 홈의 간격이란, 홈의 폭의 중심으로부터 인접한 홈의 폭의 중심까지의 거리이다.

[0085] 홈의 형상은, 한정되지 않고, 예를 들어 단면이, 대략 직사각형상 또는 대략 삼각형이다. 또한, 단면이, 원의 일부를 구성하는 활형 등이어도 된다. 홈의 폭은 홈의 깊이의 0.5배 내지 3.0배 정도인 것이 바람직하다. 홈의 폭이 홈의 깊이의 0.5배보다 작은 경우에는 충분한 자구 제어 효과가 얻어지지 않고, 또한 홈 자체도 형성하기 어렵다. 한편, 홈의 폭이 홈의 깊이의 3.0배보다 큰 경우에는, 강판 표면의 홈의 점유율이 커지고, 그 결과 자속 밀도가 저하되어 버리는 한편, 자구 제어 효과가 포화되기 때문에 철손 저감 효과는 얻어지지 않고, 도리어 철손의 증가를 초래하는 경우도 있다.

[0086] 상술한 편평 결정립에 의한 이상 와전류손 저감 효과는, 홈 형성에 의한 자구 제어재에 대해서도 효과가 있다.

[0087] 즉, 홈의 내면(저면, 측면)을 모재 강판의 표면으로 한 경우에, 도 2에 나타내는 바와 같이, 모재 강판의 홈의 표면 측에, 표면에 수직인 방향의 평균 직경이 0.5 내지 5.0㎛, 평균 직경에 대한 표면에 평행한 방향의 입자 폭의 비인 애스펙트비가 2.0 이상, 또한, 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남이 10° 이상인, 편평 결정립(홈 내 편평 결정립) G102가 존재하고(홈 내 편평 결정립 G102가 규소 강판의 홈의 최표층을 구성하는 입자로서 존재하고), 연장 방향에 수직인 판 두께 방향의 단면에 있어서, 홈 G의 내면의 길이에 차지하는, 홈 내 편평 결정립 G102의 입계의 길이가, 70% 이상이면, 홈 형성에 의한 자구 세분화 효과 외에, 홈 내 편평 결정립 G102에 의한 와전류손 저감 효과가 더 얻어지므로, 보다 바람직하다.

[0088] 홈 내 편평 결정립 G102의 평균 직경의 평균은, 2.0㎛ 초과 5.0㎛ 이하인 것이 보다 바람직하다.

[0089] 홈 내 편평 결정립의 유무, 그리고 그 평균 직경, 애스펙트비 및 결정 방위의 Goss 방위로부터의 어긋남에 대해

서는, 상술한 모재 강판의 표면의 편평 결정립과 마찬가지의 요령으로 구할 수 있다.

[0090] 단, 강판의 표면에 마련되어 있는 홈이 직선이 아닌 예를 들어 곡선인 경우에는, 관찰 대상부에 있어서의 곡선의 접선에 대하여 수직이 되는 단면을 현출한다. 이 경우에는 당해 단면의 압연 방향(RD 방향)에 대한 어긋남 각을 측정하여 구하고, 편평 결정립의 결정 방위 측정 시에 있어서 보정한다.

[0091] 또한, 홈의 내면의 길이에 차지하는, 홈 내 편평 결정립의 입계의 길이는, 홈의 연장 방향에 수직인 판 두께 방향의 단면 EBSD 측정을, 규소 강판의 표면 측의 편평 결정립의 측정과 마찬가지인 요령으로 행하여 구할 수 있다.

[0092] (화학 조성)

[0093] 규소 강판의 화학 조성은 한정되지는 않고, 공지된 방향성 전자 강판의 모재 강판과 동등하면 된다. 예를 들어, 이하에 기재된 범위의 조성을 들 수 있다.

[0094] 규소 강판의 화학 조성은, 질량%로, Si: 2.00 내지 6.00%를 함유한다. 이는, 결정 방위를 {110}<001> 방위에 집적시킨 Goss 집합 조직으로 제어하여, 양호한 자기 특성을 확보하기 위함이다.

[0095] 그 외의 원소에 대해서는, 특별히 한정되는 것은 아니고, Fe를 치환하여, 공지된 원소를 공지된 범위에서 함유하는 것이 허용된다. 또한, 잔부는 Fe 및 불순물이다.

[0096] Si 이외의 대표적인 원소의 대표적인 함유 범위(질량%)는 이하와 같다.

[0097] C: 0 내지 0.0050%,

[0098] Mn: 0 내지 1.0%,

[0099] S: 0 내지 0.0150%,

[0100] Se: 0 내지 0.0150%,

[0101] Al: 0 내지 0.0650%,

[0102] N: 0 내지 0.0050%,

[0103] Cu: 0 내지 0.40%,

[0104] Bi: 0 내지 0.010%,

[0105] B: 0 내지 0.080%,

[0106] P: 0 내지 0.50%,

[0107] Ti: 0 내지 0.0150%,

[0108] Sn: 0 내지 0.10%,

[0109] Sb: 0 내지 0.10%,

[0110] Cr: 0 내지 0.30%,

[0111] Ni: 0 내지 1.0%,

[0112] Nb: 0 내지 0.030%,

[0113] V: 0 내지 0.030%,

[0114] Mo: 0 내지 0.030%,

[0115] Ta: 0 내지 0.030%,

[0116] W: 0 내지 0.030%,

[0117] 이들 선택 원소는, 그 목적에 따라 함유시키면 되므로 하한값을 제한할 필요가 없고, 실질적으로 함유하고 있지 않아도 된다. 또한, 이들 선택 원소가 불순물로서 함유되어도, 본 발명의 효과는 손상되지 않는다. 불순물은 의도치 않게 함유되는 원소를 가리키고, 모재 강판을 공업적으로 제조할 때, 원료로서의 광석, 스크랩, 또는 제조 환경 등으로부터 혼입되는 원소를 의미한다.

[0118] 규소 강판의 화학 조성은, 이하의 방법으로 구한다.

[0119] 규소 강판을 염산 등으로 산 분해하여 얻어진 용액으로 한다. 그리고 나서 미리 농도가 기지인 각 원소 용액을 ICP(유도 결합 플라스마) 분석에 의해 검량선을 구한다. 그리고 나서 얻어진 용액의 분석을 행하고, 함유하는 원소에 대하여 정량하여, 구할 수 있다.

[0120] 규소 강판의 표면에 산화물층 및/또는 절연 피막층이 형성되어 있는 경우(방향성 전자 강판이 규소 강판, 산화물층 및 절연 피막층을 포함하는 경우), 산화물층 및 절연 피막층을 제거하고 나서 측정할 수 있다.

[0121] 구체적으로는, 절연 피막층이 형성되어 있는 경우, 절연 피막층을 갖는 방향성 전자 강판을, NaOH: 30 내지 50질량% 및 H_2O: 50 내지 70질량%를 함유하는 80 내지 90℃의 수산화나트륨 수용액에, 7 내지 10분간 침지함으로써, 절연 피막층을 제거한다. 절연 피막층이 제거된 방향성 전자 강판은 수세하고, 수세 후, 온풍의 블로어로 1분간 안되게, 건조시킨다.

[0122] 산화물층이 형성되어 있는 경우, 산화물층을 갖는 방향성 전자 강판을, 10질량%의 HCl을 함유하고, 80 내지 90℃인 염산 수용액에, 1 내지 10분간 침지함으로써, 산화물층을 제거한다. 침지 후의 모재 강판은 수세하고, 수세 후, 온풍의 블로어로 1분간 안되게, 건조시킨다.

[0123] 이상의 공정에 의해, 산화물층 및/또는 절연 피막층이 형성되어 있는 방향성 전자 강판으로부터, 모재 강판인 규소 강판을 취출할 수 있다.

[0124] (판 두께)

[0125] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 규소 강판의 판 두께는 한정되지 않지만, 0.15 내지 0.35㎜인 것이 바람직하다. 0.35㎜를 초과하면 판 두께가 크기 때문에, 상술한 고전적 와전류손이 커지고, 철손이 커진다. 한편, 판 두께가 0.15㎜보다도 작으면 압연 효율이 저하되어 생산성면, 비용면에서 불리하다.

[0126] [산화물층]

[0127] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 모재 강판의 표면에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층이 형성되어 있다.

[0128] 이 산화물층은, 마무리 어닐링 시에, 어닐링 분리제에 포함되는 Mg 및/또는 Al과 강판 표면에 형성된 Si계 프리 산화물이 고상 반응하여 형성된다. 예를 들어, MgO를 포함하는 어닐링 분리제를 사용한 경우, 산화물층으로서, 주로 포르스테라이트(Mg_2SiO_4) 피막의 층이 형성된다. 또한 강 중에 인히비터로서 함유되는 AlN은 마무리 어닐링의 후반에 규소 강판의 표면에 있어서, 어닐링 분위기 중의 산소에 의해 산화된다. 이에 따라, 규소 강판의 표면에는, 스피넬($MgAl_2O_4$), 알루미나(Al_2O_3), 또는 멀라이트($2SiO_2 \cdot 3Al_2O_3$)가 생성된다. 단, MgO가 주성분인 어닐링 분리제를 사용하는 경우에는, 거의 스피넬($MgAl_2O_4$)로서 생성된다.

[0129] 이 산화물층이, 편평 결정립의 표면을 덮음으로써, 그 상층에 실시되는 절연 피막층과의 밀착성을 향상시킨다는 효과가 얻어진다. 충분한 효과를 얻는 경우, 편평 결정립에 있어서의, 산화물층의 피복률이 50% 이상인 것이 바람직하다.

[0130] 피복률은, 이하의 방법으로 구할 수 있다.

[0131] 즉, 상술한 요령으로, EBSD에 의해 편평 결정립의 존재를 특정한다. 그리고 나서 각 편평 결정립의 FE-SEM상 혹은 FE-SEM상을 바탕으로 EDS 등으로 원소 분석을 행한 원소 분석상에 착안한다. 편평 결정립에 있어서 절연 피막층과 편평 결정립 사이 혹은 편평 결정립의 표면 측으로부터 강판 내부의 방향의 투영부에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물층이 존재하는 길이를 계측한다. 산화물층 또는 절연 피막층과 편평 결정립의 계면 길이로서 1000㎛ 분에 대하여 산화물층이 존재하는 길이율을 백분율로서 구한다.

[0132] 예를 들어, 도 4와 같은 상태라면, (A1+A2+A3)/(a1+a2+a3)×100으로 피복률(%)을 구할 수 있다.

[0133] [절연 피막층]

[0134] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판에서는, 산화물층의 표면에(상층으로서), 절연 피막층이 형성되어 있다. 이 절연 피막층은, 방향성 전자 강판을 변압기로서 사용할 때 필요 불가결하다. 방향성 전자 강판은 변압기로서 사용할 때 적층하여 사용되지만, 그 적층된 강판(규소 강판) 간이 단락되면 변압기 철심에 와전류가 발생하여 철심 철손 증가의 요인이 된다. 그 때문에, 강판 표면에 절연 피막의 층을 형성하여, 전기 절연성을 부여함

으로써 변압기의 철심 철손을 저감한다. 또한 방향성 전자 강판의 절연 피막에 있어서 강판에 장력을 부여함으로써, 자구 폭을 작게 할 수 있어 이상 와전류손의 저감, 나아가서는 철손 저감을 도모할 수 있다.

[0135] 또한 방향성 전자 강판의 절연 피막에 관해서는, 상기와 같은 전기 절연성의 외에도, 내식성, 내열성, 미끄럼성과 같은 철심 제작 시에 필요한 여러가지의 특성이 구비되는 것이 요구된다. 그러한 요구를 근거로 하여 절연 피막에는, 예를 들어, 인산염과 콜로이달 실리카를 주성분으로 하는 피막종이 사용된다. 또한 강판에 보다 큰 장력을 부여하는 것을 목적으로 하여, 붕산알루미늄을 주성분으로 하는 것이나 붕산알루미늄과 실리카로 이루어지는 피막이 사용되는 경우도 있다. 어느 피막도, 그것들에 포함되는 성분을 용해 혹은 분산시킨 코팅액을 산화물층의 표면에 도포하고, 베이킹함으로써 형성되는 공지된 피막이면 된다.

[0136] <제조 방법>

[0137] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판은, 제조 방법에 상관없이 상기의 특징을 갖고 있으면, 그 효과는 얻어지지만, 이하의 공정을 포함하는 제조 방법이면 안정적으로 제조할 수 있으므로 바람직하다.

[0138] (I) 슬래브를, 가열하여 열간 압연하여 열연판으로 하는 열간 압연 공정과,

[0139] (II) 상기 열간 압연 공정 후의 상기 열연판을 어닐링하는 열연판 어닐링 공정과,

[0140] (III) 상기 열연판 어닐링 공정 후의 상기 열연판을 산세하는 산세 공정과,

[0141] (IV) 상기 산세 공정 후의 상기 열연판을 냉간 압연하여 냉연판으로 하는 냉간 압연 공정과,

[0142] (V) 상기 냉간 압연 공정 후의 상기 냉연판의 표면을 연삭하는 연삭 공정과,

[0143] (VI) 상기 연삭 공정 후의 상기 냉연판을 pH 4.0 내지 10.0의 수성액에 접촉시키는 접촉 공정과,

[0144] (VII) 상기 접촉 공정 후의 상기 냉연판에, 탈탄 어닐링을 행하는 탈탄 어닐링 공정과,

[0145] (VIII) 상기 탈탄 어닐링 공정 후의 상기 냉연판에 어닐링 분리제를 도포하고, 마무리 어닐링하고, 모재 강판이 되는 상기 냉연판의 표면에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층을 형성하는 마무리 어닐링 공정과,

[0146] (IX) 상기 마무리 어닐링 공정 후의 상기 산화물층의 표면에, 절연 피막층을 형성하는 절연 피막 형성 공정.

[0147] 또한, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 이하의 공정 중 어느 하나 이상을 더 갖고 있어도 된다.

[0148] (X) 상기 연삭 공정 전에, 또한, 상기 냉연판에, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 각도를 이루는 방향으로 연장되는, 깊이가 10 내지 30㎛인 홈을, 상기 압연 방향의 간격이 각각 1.0 내지 20.0mm가 되도록 복수 형성하는, 홈 형성 공정,

[0149] (XI) 상기 냉연판의 질소량을 증가시키는 질화 처리 공정.

[0150] 이들 중, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 제조 방법에서는, 연삭 공정, 접촉 공정, 홈 형성 공정에 특징이 있다. 한편, 열간 압연 공정, 열연판 어닐링 공정, 냉간 압연 공정, 탈탄 어닐링 공정, 질화 처리 공정, 마무리 어닐링 공정, 절연 피막 형성 공정에 대해서는, 공지된 조건으로 행할 수 있다.

[0151] 이하, 바람직한 조건에 대하여 설명한다. 설명하지 않는 조건에 대해서도, 공지된 조건으로 행할 수 있다.

[0152] [열간 압연 공정]

[0153] 열간 압연 공정에서는, 소정의 화학 조성(본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 규소 강판의 화학 조성에 따른 화학 조성)을 갖는 슬래브를, 가열하여 열간 압연하여 열연판으로 한다.

[0154] 슬래브 가열 온도는, 예를 들어 1000 내지 1400℃이다.

[0155] 열간 압연에 제공하는 슬래브의 화학 조성은, 방향성 전자 강판으로서 얻고자 하는 화학 조성에 따라, 각 공정에서의 화학 조성의 변화를 고려하여 결정하면 된다.

[0156] 상술한 바람직한 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 규소 강판의 화학 조성을 얻는 경우, 열간 압연 단계에서는, 질량%로, C: 0.040 내지 0.100%, Si: 2.00 내지 6.00%를 함유하고, 그 외에, 인히비터로서, AlN, MnS, MnSe, BN이 되도록, Al, Mn, Se, S, B, N 등을 소정의 범위에서 함유하고, 필요에 따라 Cu, Sn, Cr, Ni, Mo,

Nb, Bi, Sb, P, Ti, V, Ta, W 등의 원소가 더 함유되는 화학 조성이 예시된다.

[0157] 슬래브를 얻는 방법은 한정되지 않는다. 예를 들어 소정의 화학 조성을 갖는 용강을 용제하고, 그 용강을 사용하여 제조하면 된다. 연속 주조법에 의해 슬래브를 제조해도 되고, 용강을 사용하여 잉곳을 제조하고, 잉곳을 분괴 압연하여 슬래브를 제조해도 된다. 또한, 다른 방법에 의해 슬래브를 제조해도 된다.

[0158] 슬래브의 두께는, 특별히 한정되지는 않지만, 예를 들어, 150 내지 350㎜이다. 슬래브의 두께는 바람직하게는, 220 내지 280㎜이다. 슬래브로서, 두께가 10 내지 70㎜인, 소위 박 슬래브를 사용해도 된다.

[0159] 열간 압연에 의해 소위 열연판(열연 강판)을 얻는다. 열연판의 판 두께(마무리 판 두께)는 특별히 한정되지 않는다. 단 열연판에 열연판 어닐링을 실시하고, 산세 후, 냉간 압연이 이루어지지만, 소위 냉간 압연율은 방향성 전자 강판의 자기 특성에 영향을 미치는 것이 알려져 있고, 최종 판 두께에 대하여 필요한 냉간 압연율을 가미한 형태로 열연판의 판 두께가 선택된다. 예를 들어 최종 판 두께가 0.20 내지 0.30㎜인 경우, 열연판의 최종 판 두께는 2.0 내지 4.0㎜의 범위가 바람직하다.

[0160] [열연판 어닐링 공정]

[0161] 열연판 어닐링 공정에서는, 열간 압연 공정 후의 상기 열연판을 어닐링한다. 이러한 어닐링 처리를 실시함으로써, 강판 조직에 재결정이 발생하고, 양호한 자기 특성을 실현하는 것이 가능해진다.

[0162] 본 실시 형태의 열연판 어닐링 공정에서는, 공지된 방법에 따라, 열간 압연 공정을 거쳐 제조된 열연판을 어닐링하면 된다. 어닐링 시에 열연판을 가열하는 수단에 대해서는, 특별히 한정되는 것은 아니며, 공지된 가열 방식을 채용하는 것이 가능하다. 예를 들어, 소위 연속 어닐링이어도 되고, 열연판을 코일상의 것으로 하여 배치 어닐링으로 해도 된다. 또한, 어닐링 조건에 대해서도, 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들어, 열연판에 대하여 900 내지 1200℃의 온도 영역에서 10초 내지 5분간의 어닐링을 행할 수 있다. 또한 분위기는 특별히 제한되는 것은 아니지만, 강판의 산화는 억제한 편이 바람직하고 질소나 아르곤, 수소 등의 비산화 분위기에서 행하는 것이 바람직하다.

[0163] [산세 공정]

[0164] 산세 공정에서는, 열간 압연 및 열연판 어닐링으로 강판 표면에 생성된 스케일(산화물)을 제거한다. 본 실시 형태의 산세 공정에서는, 공지된 방법이 사용된다. 산세액으로서는 염산이나 황산, 질산 등 공지된 산이 사용된다. 또한 산세액에는 필요에 따라 공지된 산세 억제제나 산세 촉진제 등을 첨가해도 된다. 또한 강판을 산세액에 접촉시키기 전에, 스케일과 강판의 계면에 산세액을 침투시켜, 산세 효율을 향상시킬 목적으로, 산세 전에 강판에의 쇼트 블라스트 등의 물리적인 처리를 행하는 것도 가능하다.

[0165] [냉간 압연 공정]

[0166] 냉간 압연 공정에서는, 산세 후의 강판을 냉간 압연하여 냉연판으로 한다. 냉간 압연은, 1회의 (중간 어닐링을 끼우지 않는 일련의) 냉간 압연이어도 되고, 냉연 공정의 최종 패스 전에, 냉연을 중단하고 적어도 1회 또는 2회 이상의 중간 어닐링을 실시하여, 중간 어닐링을 끼는 복수 회의 냉간 압연을 실시해도 된다.

[0167] 냉간 압연의 조건은, 공지된 방법에 따르면 된다. 방향성 전자 강판에 있어서의 냉간 압연율은 그 자기 특성에 크게 영향을 미친다. 특히 최종 압하율의 영향이 크고, 최종 압하율을 80 내지 95%로 할 수 있다. 최종 압하율이란, 냉간 압연의 누적 압하율이며, 중간 어닐링을 행하는 경우에는, 최종 중간 어닐링 후의 냉간 압연의 누적 압하율이다.

[0168] 중간 어닐링을 행하는 경우, 예를 들어, 800 내지 1200℃의 온도로 5 내지 180초간 유지한다. 어닐링 분위기는 특별히 한정되지는 않지만, 강판의 산화를 방지하기 위하여, 질소나 아르곤, 수소 등의 비산화 분위기에서 행하는 것이 바람직하다. 또한 어닐링 방법으로서 소위 연속 어닐링이어도 코일 형상에서의 배치 어닐링이어도 어느 것이어도 되고, 다른 수법이어도 된다. 중간 어닐링의 횟수는 제조 비용을 고려하면 3회 이내가 바람직하다.

[0169] [홈 형성 공정]

[0170] 홈 형성 공정에서는, 연삭 공정 전의 냉연판에, 압연 방향에 대하여 80 내지 100° 의 각도를 이루는 방향으로 연장되는, 깊이가 10 내지 30㎛인 홈을 형성한다. 이 홈은, 압연 방향의 간격이 각각 1.0 내지 20.0㎜가 되도록 복수 형성한다. 압연 방향의 간격은, 보다 바람직하게는 2.0 내지 10.0㎜이다.

[0171] 냉연판(모재 강판)의 표면에 상기의 홈을 형성함으로써, Goss 방위를 재결정시켰을 때 홈의 효과에 의해 자구가 세분화되어, 자기 특성이 향상된다. 구체적으로는, 이상 와전류손이 저감되어 철손이 저감된다. 홈의 방향, 간격, 형상 등이 상기 범위 밖이면, 충분한 효과를 얻지 못한다.

[0172] 홈 형성의 방법으로서는, 특별히 한정되지는 않고, 이하에 나타내는 바와 같은 공지된 방법을 사용할 수 있다. 예를 들어, 물리적인 접촉에 의한 수법(날 등 강판 표면을 흠집을 입히는 방법, 또한 날을 구비한 금형에 의한 롤 전사나 프레스를 행하는 방법 등), 물리적인 접촉에 의하지 않는 수법(레이저나 전자 빔, 플라스마 등에 의해 강판 표면의 일부를 국부적으로 용융시켜 용융물을 계외로 제거하는 방법 등), 또한, 화학적 수법(강판 표면에 수지 등으로 마스크하고, 조형하는 홈 형상에 맞춰 일부의 마스크를 제거하고, 마스크 제거부에 산 등을 접촉시켜 그 에칭에 의해 강판을 일부 용손시켜 홈을 형성하는 방법) 등을 들 수 있다.

[0173] 이 중, 상기한 물리적인 접촉에 의하지 않는 방법이 이하에 나타내는 점에서, 물리적인 접촉에 의한 수법 및 화학적 수법에 대하여 우위에 있다.

[0174] 물리적인 접촉에 의한 수법은 강판에 날이나 금형을 접촉시키기 때문에, 강판에 변형이 부여되어 자기 특성 열화의 원인이 된다. 또한 홈은 강판에 압연 방향에 대하여 1.0 내지 20.0㎜의 피치로 도입하기 때문에, 수천m에 달하는 강판 코일에 홈을 부여하기 위해서는 날이나 금형의 마모가 현저해진다. 그 때문에 빈번한 교환이 필요해지는 점에서 생산성이 떨어진다는 결점이 있다.

[0175] 또한 화학적인 수법에 관해서는 상기와 같이 강판 표면을 수지 마스크하고 일부의 마스크를 제거 후 에칭이라는 다공정을 거칠 필요가 있는 점이 주로 생산성의 면에서 과제가 있다. 또한 에칭에는 염산 등의 pH 1 정도의 강산성액을 사용하는 경우가 많아, 강산성액에 용해된 Fe의 제거나, 강산성액의 폐액 처리 등의 비용도 크다.

[0176] 물리적인 접촉에 의하지 않는 수법에 대해서는, 한 수법으로서 냉연판의 표면에 레이저를 조사하고, 강판 표면의 일부를 용융시킴과 함께, 용융물을 표면으로부터 제거함으로써, 홈을 형성하는, 방법이 있다. 본 수법은 레이저와 같은 직진성이 높은 고에너지원을 사용함으로써, 강판 표면의 조사 위치의 고도의 제어가 가능하여 결정된 개소에 정확하게 홈을 형성할 수 있는 점이 큰 이점이다. 또한 조사 시에 강판으로부터 발생하는 용융물은 레이저 조사부에 흡인 덕트를 설치함으로써, 계외로 제거할 수 있고, 또한 이는 레이저 조사 제어에 대하여 영향을 주지 않는다. 또한 용융물은 가급적이면 강판 표면에 부착시키지 않고 제거하는 것이 바람직한데, 만에 하나 강판 표면에 용융물이 부착되었다고 해도 연삭 공정에서 탈탄 어닐링 공정 전에 강판 표면으로부터 제거가 가능하여, 강판 표면을 청정하게 유지할 수 있다.

[0177] 레이저를 조사할 때에는, 예를 들어 파이버 레이저, YAG 레이저, 반도체 레이저 또한 CO2 레이저 등 일반적으로 공업용으로 사용되는 고출력 레이저를 사용할 수 있다. 또한 출력 형식은 펄스 레이저여도 연속파 레이저여도 된다. 소정의 형상의 홈을 형성하기 위해서는 레이저 출력으로서 200 내지 3000W, 레이저광의, 압연 방향에 있어서의 집광 스폿 직경(레이저 출력의 86%를 포함하는 직경)을 10 내지 1000㎛로, 판 폭 방향에 있어서의 집광 스폿 직경을 10 내지 1000㎛로, 레이저 주사 속도를 5 내지 100m/s의 범위로 하는 것이 바람직하다. 또한 용융물을 표면으로부터 제거하는 방법으로서는, 어시스트 가스의 분사 등을 들 수 있고, 예를 들어 공기나 CO_2나 아르곤 등을 레이저 조사와 동시에 조사부에 분사하고, 한편 그 근방에 흡인부를 마련함으로써 강판 표면에 용융물의 재부착을 저감할 수 있다.

[0178] 홈 형성 공정은 필수는 아니며, 생략 가능하다.

[0179] [연삭 공정]

[0180] 연삭 공정에서는, 냉간 압연 공정 후의 냉연판(홈 형성 공정을 행한 경우에는 홈 형성 공정 후의 냉연판)의 표면을 연삭한다. 그 때, 눕 경도가 1000 이상 또한 최대 입자경이 50㎛를 초과하고 500㎛ 이하인 지립, 혹은 상기 지립이 고정된 연마지, 롤 또는 브러시를 사용하여, 연삭을 행한다. 코일상의 냉연판에 대하여 연삭을 행하는 경우, 통판 라인을 사용하여 연속적으로 연삭하는 것이 생산성 면 및 품질 면에서 바람직하다. 그 경우 주로 지립이 브러시 내에 고정된 것을 사용하는 것이 일반적이다. 물론 코일이 아닌 판상의 냉연판도 사용하는 것이 가능하며, 그 경우에는 연마지 등에 의해 연삭하는 것도 가능하다.

[0181] 상술한 바와 같이, 마무리 어닐링 시에 인히비터(AlN 등의 결정립계에 존재하는 석출물)를 가능한 한 고온까지 존재시킴으로써, 보다 이상 Goss 방위에 가까운 결정 방위를 갖는 결정립만을 입성장시키는 것이 되고, 자속 밀도가 향상된다.

[0182] 그러나, 인히비터의 사이즈는 수10nm 내지 약 100nm로 매우 작지만, 그 사이즈에는 분포가 있다. 사이즈에 분

포가 있는 경우, 사이즈가 작은 인히비터는 저온에서 분해가 시작된다. 그 경우, Goss 방위(이상 Goss 방위)에 가까운 결정립만의 2차 재결정이 곤란해져, 자속 밀도를 향상시키는 것이 어렵다. 한편, 인히비터의 사이즈를 바람직한 사이즈로 일정하게(사이즈의 차가 적어지도록) 제어하는 것은 공업적으로는 극히 곤란하다.

[0183] 이에 비해, 인히비터의 분해·산화를 억제함으로써, 인히비터를 고온까지 존재시킬 수 있으면, 보다 Goss 방위에 가까운 결정립만의 2차 재결정을 발생시킬 수 있다. 또한, 인히비터의 분해·산화의 억제에는, 탈탄 어닐링 공정에 모재 강판(이 되는 냉연판)에 형성되는, 상술한 Si계 프리 산화물이 기여하는 것이 알려져 있다.

[0184] 그러나, 이 Si계 프리 산화물은 탈탄 어닐링 공정의 전 공정의 영향을 받기 쉬워, 강판 표면의 각 부위에서 형성 상태가 불균일해지기 쉽다. 그 형성 상태가 불균일하면, 강판 면 내의 장소에 따라 인히비터의 분해·산화의 억제 효과에 변동이 발생하여, 목적으로 하는 효과를 얻지 못한다.

[0185] 그 때문에, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 제조 방법에서는, 마무리 어닐링 후의 산화물층의 형성 상태를 강판의 표면의 일정한 두께 영역으로 또한 가능한 한 균일하게 하기 위해, 그것들의 산화물층의 균일한 형성을 저해하고 있는 냉간 압연 등의 실시에 따라 강판 표면에 불균일하게 형성된 Fe계 산화물이나, 유성제 혹은 극압 첨가제 등의 강판 표면과의 반응물을, 강판 표면을 연삭하는 것과 함께 탈탄 어닐링 전에 강판 표면으로부터 제거한다.

[0186] 구체적으로는 눕 경도가 1000 이상 또한 최대 입자경이 50㎛를 초과하고, 500㎛ 이하인 지립, 혹은 상기 지립이 고정된 연마지, 롤 또는 브러시를 사용하여, 강판의 적어도 한쪽 면을 연삭함으로써 강판 표면으로부터 Fe계 산화막이나 반응물을 제거한다.

[0187] 눕 경도가 1000 미만이면, 강판에 대하여 지립의 경도가 부족하기 때문에 연삭을 행하기 어려워진다. 또는 연삭 효율이 저하된다. 또한, 지립의 최대 입자경이 50㎛ 이하이면, 강판 표면의 조도에 대하여 지립의 입자경이 상대적으로 작아지기 때문에 연삭을 행하기 어려워진다. 또는 연삭 효율이 저하된다. 한편, 최대 입자경이 500㎛를 초과하면, 강판 표면의 조도에 대하여 지립의 입자경이 상대적으로 너무 커지기 때문에 연삭 시에 표면 흠집이 눈에 띄기 쉬워 제품의 외관 품위가 저하된다. 눕 경도의 상한은 한정되지는 않지만, 딱딱한 지립은 부서지기 쉬워, 지립을 포함하는 연마지나 롤, 브러시 등의 연속 사용에서 연삭 불량 등의 지장이 발생하기 쉽기 때문에, 8000 이하가 바람직하고, 5000 이하가 보다 바람직하다. 지립으로서는 주로 알루미나(눕 경도 약 2000), 혹은 탄화규소(눕 경도 약 2500), 질화붕소(눕 경도 약 5000), 다이아몬드(눕 경도 약 7000) 등이 사용된다.

[0188] 구체적으로, 냉연판을 연삭할 때의 공정에 대하여 지립을 넣은 브러시 롤을 사용한 경우를 예로 들어 설명한다. 브러시 롤은 금속제 롤에 표면에 수지 라이닝을 행하고, 아크릴 수지 등으로 제작한 섬유에 상기 지립을 매립한 것을, 롤 표면의 수지층 표면에 모상으로 식부한 것이다. 연속 통판 라인에서의 적용을 예로 들어 설명하면, 브러시 롤에 의해 강판을 연삭할 때의 강판의 통판 속도는 약 20 내지 200mpm(meter per minute)의 범위이며 강판을 이동시키면서, 강판과 브러시 롤이 접촉하는 위치에서는 강판 통판 방향과 대향하는 방향으로 회전하는 브러시 롤을 강판에 접촉시켜 강판을 연삭한다. 브러시 롤로 강판을 연삭할 때에는 강판을 브러시 롤과 아이들 롤로 끼워 넣고, 또한 통판 라인(패스 라인)에 대하여 브러시 롤을 아이들 롤 측에 압하 압입하여 연삭을 행한다. 이때의 압하량은 1.0 내지 5.0㎜으로 한다. 압하량이 작으면 연삭량이 작아진다. 한편, 연삭량을 증가시키기 위하여 압하량을 크게 하면 브러시 롤과 강판의 통판 방향이 대향하기 때문에, 강판과 브러시 롤 간의 마찰력에 의해 강판이 원활하게 통판하지 않고 인칭이 발생하는 소위 「채터」가 발생하기 쉬워진다. 「채터」는 강판 표면의 연삭이 불균일해지기 때문에 극히 바람직하지 않아 피해야 할 사상이다. 브러시 롤 직경은 통상 200 내지 500㎜ 정도의 것이 사용된다. 너무 작으면 브러시나 지립의 마모가 빠르고, 너무 크면 금속제 롤이 너무 커져 설비가 대규모가 되기 때문이다. 브러시는 상기와 같이 강판의 통판 방향과 대향 방향으로 회전시켜 연삭을 행한다. 강판의 통판 속도는 상기와 같이 20 내지 200mpm의 범위인데, 그 경우 연삭 속도(브러시 롤이라면 회전 속도에 상당)는, 500mpm 이상으로 한다. 연삭 속도(브러시 롤이라면 회전 속도)가 작으면, 연삭량이 불충분해지고, Si계 프리 산화물이 충분히 형성되지 않음으로써, 편평 결정립의 형성이 불충분해진다.

[0189] 한편, 브러시 롤의 경우, 회전 속도가 2000mpm보다 커지면 브러시 롤과 강판의 마찰력이 너무 커져, 상기한 「채터」가 발생할 뿐만 아니라 브러시 롤을 구동하는 모터에 대하여 과부하가 발생한다. 그 때문에, 브러시 롤의 회전 속도는 2000mpm 이하가 바람직하다.

[0190] 또한, 냉연판의 표면에 불균일하게 형성된 Fe계 산화막이나 반응물의 충분한 제거를 행하기 위해, 연삭량은, 적어도 한쪽의 표면에 있어서, 0.10g/m^2 이상이다. 한편, 연삭량이 10.0g/m^2 초과이면, Fe계 산화막이나 반응물은

강판 표면으로부터 충분히 제거되는 한편, 지립의 사용 수명이 짧아지는 것이나 연삭에 수반하여 슬러지 발생이 현저해져, 그 처리에 수고가 많이 드는 것은 압입 등에 의한 강판 표면의 결함 원인이 된다. 그 때문에, 연삭량은 10.0g/m^2 이하이다.

[0191] 연삭량은 연삭 전후의 강판의 중량 차로부터 확인할 수 있다. 연삭량은 편면당 연삭량이다. 연삭을 양면 행한 경우에는 양면당 연삭량으로서 구해지고, 편의적으로 그 수치를 절반으로 하여 전후의 Fe계 산화막이나 반응물을 강판 전체면으로부터 제거하는 관점에서, 연삭량의 적합한 범위는 0.30g/m^2 이상 3.0g/m^2 이하이다.

[0192] 후술하는 바와 같이 냉연판에 대하여 연삭 공정 전에 홈 형성을 행한 경우에 있어서, 적합한 홈의 깊이는 10 내지 30㎛이며, 홈 내부의 강판 표면도 연삭되므로, 연삭에 의한 효과는, 냉연판 표면에 형성된 홈 내부 표면에도 유효하다. 그 때문에, 탈탄 어닐링, 마무리 어닐링을 거친 모재 강판의 홈 내부의 표면 측에도 편평 결정립(홈 내 편평 결정립)이 형성된다.

[0193] [접촉 공정]

[0194] 접촉 공정에서는, 연삭 공정 후, 탈탄 어닐링 공정 전에, 냉연판의 표면을, pH 4.0 내지 10.0의 수성액에 접촉시킨다. 이에 의해, 연삭 시에 강판 표면에 부착한 지립이나 연삭 시에 발생한 강 슬러지를 제거한다. 수성액으로서는, 이온 교환수여도 되고, 그것들에 Ca나 Mg 등의 미네랄을 포함한 것이어도 되고, 상대 이온으로서 탄산이나 규산을 포함하는 것이어도 된다. 또한 황산이나 질산, 인산, 탄산, 카르복실산, 포스폰산 등으로부터 선택되는 산을 0.01wt% 정도 첨가하고, 알칼리 금속이나 알칼리 토류 금속 등으로 pH 조정한 것을 사용해도 된다. 특히 카르복실산이나 포스폰산은 지립이나 슬러지를 강판으로부터 제거하는 효과가 높다. 이온 교환수의 경우, 용손 방지의 관점에서, 그 전기 전도도는, 0.1 내지 10μS/cm인 것이 바람직하다.

[0195] pH가 4.0 미만이면, 산성 수성액에 의한 강판 표면의 에칭에 의해 강판의 용손이 발생한다. pH가 10.0 초과이면, 알칼리성 수성액 작용에 의해, 연삭 후의 금속면의 산화를 촉진하기 때문에, 연삭 공정에서 강판 표면에 불균일하게 형성된 Fe계 산화물을 제거했음에도 불구하고, 그 효과를 감하게 된다. 이 경우, 마무리 어닐링 후의 산화물층 및 산화물 입자의 균일한 형성이라는 당초 목적으로 한 효과가 충분히 얻어지지 않는다.

[0196] 상기의 목적을 위해서는, 접촉 시간은 0.1 내지 60초가 바람직하고, 1 내지 60초가 보다 바람직하고, 5 내지 60초가 더욱 바람직하다. 수성액의 유량은, 1 내지 100L/min이 바람직하다.

[0197] 또한, 접촉 공정을 행함으로써, 지립이나 슬러지를 강판 표면으로부터 제거할 수 있고, 마무리 어닐링 후의 산화물층 및 산화물 입자의 균일 형성의 저해 인자를 회피할 수 있다.

[0198] 연삭 공정 중에도 냉연판의 표면을 수성액에 접촉시켜도 되지만, 연삭 공정 후에 접촉 공정을 행하지 않으면, 상기의 효과는 얻어지지 않는다.

[0199] [탈탄 어닐링 공정]

[0200] 탈탄 어닐링 공정에서는, 연삭 공정 후의 냉연판에, 탈탄 어닐링을 행한다. 이 탈탄 어닐링에서는, 강판으로부터 자기 특성에 악영향을 미치는 C가 제거(탈탄)됨과 함께, 냉연판이 1차 재결정한다.

[0201] 탈탄 어닐링 조건은 한정되지는 않지만, 탈탄을 위한 질소 수소 혼합 분위기로 하고 가습에 의해 산소 포텐셜을 높인 분위기에서 어닐링이 이루어진다. 또한 함께 1차 재결정 조직을 형성시킬 필요가 있기 때문에, 재결정에 필요한 어닐링 온도와 당해 어닐링 온도에서 탈탄 가능한 산소 포텐셜의 관점에서 가습 온도(노점)가 결정된다.

[0202] 어닐링 온도는 700 내지 900℃ 정도이며, 일반적으로 연속 어닐링 공정으로 어닐링이 이루어지기 때문에, 60초 정도의 균열이 이루어진다. 상기와 같이 탈탄을 위해 산소 포텐셜이 높은 가습 분위기에서 어닐링하므로, 소위 강 중에 포함되는 Si가 강판 표면에 층상의 산화물로서 또한 강판 내부에 산화물 입자로서 형성되는 것이 알려져 있다(이하, 상기와 마찬가지로 Si계 프리 산화물이라고 칭함).

[0203] [질화 처리 공정]

[0204] 질화 처리 공정에서는, 강판의 질소량을 증가시켜 질화물을 증가시킴으로써, 마무리 어닐링 공정에서 보다 Goss 방위에 가까운 결정립의 2차 재결정을 촉진시킨다. 질화 처리 공정에서는, 질화 처리 후의 강판 질소량을 0.015 내지 0.050질량%로 하는 것이 바람직하다. 질화 처리의 방법은 한정되지 않고, 공지된 방법이면 된다.

[0205] 질화 처리 공정은 필수는 아니며, 생략해도 된다. 질화 처리를 행하는 경우, 탈탄 어닐링 공정과 마무리 어닐

링 공정 사이에 행하는 것이 바람직하다.

[0206] [마무리 어닐링 공정]

[0207] 마무리 어닐링 공정에서는, 탈탄 어닐링 공정 후(질화 처리를 행한 경우에는 질화 처리 공정 후)의 냉연판에 어닐링 분리제를 도포하고, 마무리 어닐링하고, 모재 강판(규소 강판)이 되는 냉연판의 표면에 Mg, Al, 및 Si 중 1종 이상의 산화물로 이루어지는 산화물층을 형성한다.

[0208] 마무리 어닐링은, 어닐링 시간이 길기 때문에 통상, 강판을 코일상으로 권취하여 배치 어닐링으로 행한다. 강판 온도가 1200℃ 정도까지 높아지기 때문에, 코일상의 강판이 시징되지 않도록, 어닐링 분리제가 도포된다. 어닐링 분리제는, 일반적으로 주로 MgO가 사용된다. 이러한 어닐링 분리제를 도포하고 나서 마무리 어닐링을 행함으로써, 어닐링 분리제에 포함되는 Mg와, 탈탄 어닐링 공정에서, 강판 표면에 형성된 Si계 프리 산화물이 고상 반응하고, 냉연판의 표면에 Mg 및 Si의 1종 이상이 산화물로 이루어지는 산화물층이 형성된다. 예를 들어, MgO를 포함하는 어닐링 분리제를 사용한 경우, 산화물층으로서, 주로 포르스테라이트(Mg_2SiO_4) 피막의 층이 형성된다. 또한 강 중에 인히비터로서 함유되는 AlN은 마무리 어닐링의 후반에 강판 표면에 있어서, 어닐링 분위기 중의 산소에 의해 산화되지만, 그 때 스피넬($MgAl_2O_4$) 혹은 알루미나(Al_2O_3), 혹은 멀라이트($2SiO_2 \cdot 3Al_2O_3$)로서 형성된다. 실질적으로 MgO로만 이루어지는 어닐링 분리제를 사용하는 경우에는, 거의 스피넬($MgAl_2O_4$)로서 생성된다.

[0209] 또한, 마무리 어닐링 공정에서는, 강판의 가열에 의해 탈탄 어닐링 공정에서 얻어진 1차 재결정립을 2차 재결정시켜, Goss 방위를 갖는 결정립을 얻음과 함께, 1200℃에 가까운 어닐링 온도에서 소정 시간 유지함으로써, 인히비터로서의 역할을 마친 질화물(예: AlN)이나 황화물(예: MnS) 등의 강 중 석출물을 자기 특성에 악영향을 미치지 않도록 제거(순화)한다.

[0210] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자 강판의 제조 방법에서는, 마무리 어닐링에 제공하는 냉연판에 있어서, 인히비터의 사이즈가 통상보다도 크고 또한 균일하게 제어되어 있다. 그 때문에, Goss 방위에 가까운 결정립(Goss 방위에 가까운 방위를 갖는 결정립)만의 2차 재결정이 발생한다.

[0211] 마무리 어닐링의 조건은 한정되지는 않지만, 예를 들어 실온으로부터 10 내지 100℃/h의 범위에서 승온하고, 일반적으로 Goss 방위에 2차 재결정이 발생한다고 여겨지고 있는 900 내지 1000℃의 온도 범위에 있어서는 5 내지 20℃/h로 승온하고, Goss 방위에 우선 성장(2차 재결정)을 촉진하고, 그 후 상기와 같이 1200℃ 부근(예를 들어 1150 내지 1250℃)에서 역할을 마친 인히비터의 순화를 행한다. 그 후는 수소나 질소 등의 비산화 분위기에서 서랭하고 코일을 노로부터 취출한다.

[0212] [절연 피막 형성 공정]

[0213] 절연 피막 형성 공정에서는, 마무리 어닐링 공정 후의 상기 산화물층의 표면에, 절연 피막층을 형성한다.

[0214] 예를 들어, 절연 피막층은, 마무리 어닐링 후의 냉연판(모재 강판+산화물층)에, 인산 또는 인산염, 콜로이드상 실리카, 및, 무수 크롬산 또는 크롬산염을 포함하는 코팅 용액을 도포하고, 300 내지 950℃에서 10초 이상 베이킹하고 건조함으로써, 형성할 수 있다. 베이킹 시의 분위기는 특별히 제한되는 것은 아니지만, 강판의 산화는 억제한 편이 바람직하고 질소나 아르곤, 수소 등의 비산화 분위기에서 행하는 것이 바람직하다. 피막종으로서는 상기한 인산염이 아닌 붕산과 알루미나 졸을 주성분으로 하는 코팅액 혹은, 붕산과 알루미노규산염(카올린 광물 등) 등을 주성분으로 하는 코팅액을 사용하고, 붕산알루미늄을 주성분으로 하는 절연 피막을 형성하는 것도 가능하다. 붕산알루미늄 적용에 의해 큰 장력을 강판에 부여할 수 있으므로, 철손을 저감할 수 있다.

[0215] 이 공정에서는 상기한 마무리 어닐링에 있어서의 배치 어닐링으로 코일 형상이 된 강판을, 연속 어닐링으로 평탄화하는 역할도 해내고 있다. 즉 절연 피막의 베이킹과 코일 형상의 강판을 800℃ 정도에서 일정한 장력을 부여하면서 연속 어닐링을 행하고, 평탄한 강판을 얻는다. 그 때문에 평탄화 어닐링 공정이라고도 불리는 경우가 있다.

[0216] 이들 공정을 거쳐, 규소 강판(모재 강판), 산화물층, 및 절연 피막층을 구비하는 방향성 전자 강판을 얻을 수 있다.

[0217] 실시예

[0218] (실시예 1)

[0219] Si: 3.25질량%, Mn: 0.13질량%, S: 0.006질량%, C: 0.050질량%, 산 가용성 Al: 0.025질량%, N: 0.007질량%를 포함하는 용강을, 연속 주조하여 두께 300㎜의 슬래브를 얻었다.

[0220] 슬래브를, 질소 분위기로 조정한 전기로 내에서 1150℃로 60분간 가열 후, 조열연하여 판 두께 40㎜의 강판을 얻고 나서, 마무리 압연을 더 행하여 판 두께가 2.3㎜인 열연판을 얻었다.

[0221] 그 후, 질소 분위기로 조정한 연속 어닐링 노에서 1100℃로 60초 가열 후 냉각하는 열연판 어닐링을 행하였다.

[0222] 얻어진 강판(열연판)을 10% 염산으로 산세하여, 강판의 스케일을 제거하였다.

[0223] 그 후, 냉간 압연을 행하여 판 두께가 0.22㎜인 냉연판을 얻었다.

[0224] 얻어진 냉연판을, 표 1에 기재한 각종 지립을 넣은 브러시를 사용하여, pH=2.5 내지 12.0의 이온 교환수를 흐르게 하면서 표면을 연삭하였다. 또한, 연삭 종료 후, pH=2.5 내지 12.0의 이온 교환수를 표면에 접촉시켰다. 단, 표 1에 나타내는 바와 같이, 비교로서 일부의 강판에 대해서는, 연삭을 행하지 않는, 연삭 후 이온 교환수에 접촉시키지 않는 강판으로 하였다. 접촉 시에는, 접촉 시간은 5초, 수성액의 유량은 10L/min으로 하였다.

[0225] 연삭 및 수성액과의 접촉을 행한 강판(모두 행하지 않은 경우에는 냉간 압연 후의 냉연판, 또는 수성액과의 접촉을 행하지 않은 경우에는 연삭 공정 후의 냉연판)에 대하여, 1000㎜×1000㎜의 시료를 채취하고, 눈으로 보아 관찰하여 외관을 평가하였다.

[0226] 판단 기준은 이하대로 하였다.

[0227] 5: 매우 미려

[0228] 4: 미려

[0229] 3: 일부 줄무늬 흠집 있음

[0230] 2: 부착물 요철 있음

[0231] 1: 전체면 줄무늬 흠집 있음

[0232] 외관의 평가가 1이었던 경우에는, 일반적인 외관의 요구를 충족할 수 없다고 하여, 그 후의 평가를 행하지 않았다.

[0233] 또한, 연삭 및 수성액과의 접촉을 행한 강판(모두 행하지 않은 경우에는 냉간 압연 후의 냉연판, 또는 수성액과의 접촉을 행하지 않은 경우에는 연삭 공정 후의 냉연판)에 대하여 탈탄 어닐링을 행하였다. 어닐링 분위기는 질소 50%+수소 50% 분위기로 하고, 산소 포텐셜(P_{H2O}/P_{H2})을 0.33으로 하였다. 산소 포텐셜은, 분위기를 노 내에 도입하기 전에 가습하여 수분량을 조정하였다. 이 분위기에서, 850℃로 60초간 균열함으로써 탈탄 어닐링을 행하였다.

[0234] 그 후, 질소-수소-암모니아 분위기에서 750℃로 30초간 균열하여 질화 처리를 행하였다. 그 때, 질화 처리 후의 질소 함유량이 0.020질량%가 되도록 암모니아 농도를 조정하였다.

[0235] 그 후, MgO를 주체로 하는 어닐링 분리제의 물 슬러리를 조정하고, 강판에, 편면당 건조 후 부착량이 6g/m^2가 되도록 강판의 양면에 어닐링 분리제를 도포하고, 건조시켰다. 그 때 어닐링 분리제의 조성으로서는 MgO:100질량부에 대하여 TiO_2: 5중량부로 하고, $FeCl_2$를 Cl로서 0.020질량%로 하였다.

[0236] 그 후, 마무리 어닐링으로서, 배치 어닐링 노에 시료를 넣어 질소 50%+수소 50% 분위기에서 평균 가열 속도 20℃/h로 승온하고, 1200℃까지 승온 후, 분위기를 수소 100%로 전환하여 20h 균열하고, 그 후 실온까지 강온하였다.

[0237] 마무리 어닐링 완료 후, 노로부터 강판을 취출하고, 어닐링 분리제를 수세 제거하였다. 이때, 강판(규소 강판)의 표면에는, 포르스테라이트로 이루어지는 유리 피막과, 유리 피막과 강판 사이에 형성된 입상의 스피넬($MgAl_2O_4$), 알루미나(Al_2O_3) 및/또는 멀라이트로 이루어지는 산화물층이 형성되어 있었다.

[0238] 이 강판(모재 강판인 규소 강판의 표면에 산화물층인 유리 피막이 형성된 강판)에, 인산알루미늄, 콜로이달 실리카, 무수 크롬산으로 이루어지는 절연 피막 성분을 함유하는 약액을 도포하고, 질소 분위기에서 800℃까지 가열하여 30초간 유지함으로써, 베이킹을 행하고, 절연 피막층을 형성하였다. 절연 피막층의 부착량은 편면당

$4.8g/m^2$였다.

[0239] 또한, 얻어진 규소 강판(규소 강판, 유리 피막(산화물층), 및 절연 피막층을 가짐)에 있어서, 산화물층과의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위의 산화물 및 편평 결정립의 평가를 상술한 방법으로 행하였다. 결과를 표 2에 나타낸다.

[0240] 본 실시예에서는, 표에 나타내는 대로, 산화물층과의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에 있어서의 원 상당 직경이 0.1 내지 3.0㎛인 Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물은, 스피넬($MgAl_2O_4$), 알루미나(Al_2O_3) 및 멀라이트($2SiO_2 \cdot 3Al_2O_3$)이며, 즉, Mg, Al 및 Si를 포함하는 산화물이었다.

[0241] 얻어진 방향성 전자 강판(규소 강판, 유리 피막(산화물층), 및 절연 피막층을 가짐)으로부터, 판 폭 방향이 30㎜×압연 방향이 280㎜인 시료를 36매 전단에 의해 채취하고, 이들 시료에, 질소 분위기에 있어서 800℃로 2h 유지하는 응력 제거 어닐링을 행하였다.

[0242] 그 후 JIS-C-2550-1: 2011에 기재된 엡스타인법에 규정되어 있는 자기 특성 측정법으로, 자화력 800A/m 여자 시의 자속 밀도(이하 B8)와 여자 주파수 50Hz, 자속 밀도 1.7T로 여자했을 때의 철손(이하 W17/50)을 측정하였다.

[0243] B8이 1.90T 이상 또한 W17/50이 0.85W/kg 이하이면 우수한 자기 특성을 갖는다고 판단하였다. 결과를 표 2에 나타낸다.

[0244] 또한, 얻어진 방향성 전자 강판으로부터, 압연 방향으로 300㎜×폭 방향으로 300㎜의 시료를 채취하고, 이 시료를 직경이 20㎜(φ20㎜)인 SUS304제의 환봉에 감고, 되감은 후, 감았던 내측의 오목부의 절연 피막을 관찰함으로써 절연 피막의 밀착성을 평가하였다.

[0245] 판단 기준은 이하대로 하였다.

[0246] G(GOOD): 피막 박리없음

[0247] P(POOR): 일부 피막 박리

[0248] B(BAD): 전체면 피막 박리

[0249] 결과를 표 2에 나타낸다.

표 1

번호	브러시 롤				통판 속도	연삭			접촉			연삭+ 접촉 후	
	롤 직경	지립							수성액				
		종류	늅 경도	최대 입경 μm		연삭면	회전 속도	압입	용매	첨가물	pH	편면 연삭량 g/m^2	표면 외관
	mm				mpm		mpm	mm					
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	1.5	접촉 없음	접촉 없음	접촉 없음	0.40	2
3	300	알루미나	2000	40	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	0.08	4
4	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	0.40	4
5	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	1.0	4
6	300	알루미나	2000	150	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	1.4	4
7	300	알루미나	2000	200	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	2.2	4
8	300	알루미나	2000	500	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	3.1	4
9	300	알루미나	2000	800	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	9.8	3
10	300	알루미나	2000	1000	30	양면	2000	1.5	순수	-	6.0	13.0	1
11	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	2.0	순수	-	6.0	0.50	4
12	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	2.5	순수	-	6.0	0.70	4
13	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	3.0	순수	-	6.0	1.0	4
14	300	탄화규소	2500	60	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	0.50	4
15	300	질화붕소	5000	60	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	0.70	4
16	300	다이아몬드	7000	60	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0	0.80	4
17	300	알루미나	2000	60	30	양면	300	1.5	순수	-	6.0	0.20	4
18	300	알루미나	2000	60	30	양면	30	1.5	순수	-	6.0	0.05	4
19	300	알루미나	2000	60	30	양면	5000	1.5	순수	-	6.0	2.3	4
20	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	옥살산	2.5	11.0	1
21	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	옥살산 Na	4.0	1.0	5
22	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	포스폰산 Na	5.0	1.0	5
23	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	탄산 Ca	8.0	1.0	5
24	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	수산화 Ca	10.0	1.0	4
25	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	수산화 Mg	12.0	1.0	4
26	300	알루미나	2000	60	30	양면	1000	0.5	순수	-	6.0	0.4	4
27	300	알루미나	2000	60	30	양면	300	2.5	순수	-	6.0	0.3	4

[0250]

표 2

번호	편평 결정립		모재 강판의, 산화물층과의 계면으로부터 10㎛의 범위의 산화물		산화물층	자기 특성		철연 피막 밀착성	
	길이 비율 %	평균 두께의 평균 ㎛	종류	밀도 개/(㎛)^2	피복률 %	자속 밀도 B8 T	철손 W17/50 W/kg		
1	15	0.5	Mg,Si,Al	0.002	30	1.87	0.89	B	비교예
2	60	0.5	Mg,Si,Al	0.008	45	1.89	0.86	P	비교예
3	50	0.5	Mg,Si,Al	0.005	40	1.89	0.87	P	비교예
4	70	0.8	Mg,Si,Al	0.010	55	1.91	0.85	G	실시예
5	80	2.1	Mg,Si,Al	0.050	85	1.92	0.84	G	실시예
6	80	2.5	Mg,Si,Al	0.080	90	1.92	0.83	G	실시예
7	80	3.6	Mg,Si,Al	0.100	95	1.93	0.82	G	실시예
8	80	4.5	Mg,Si,Al	0.150	95	1.91	0.85	G	실시예
9	80	5.0	Mg,Si,Al	0.210	50	1.88	0.88	G	비교예
10	외관이 나쁘기 때문에 미평가								비교예
11	75	0.7	Mg,Si,Al	0.020	80	1.91	0.85	G	실시예
12	75	1.0	Mg,Si,Al	0.040	85	1.91	0.84	G	실시예
13	80	1.5	Mg,Si,Al	0.050	90	1.92	0.83	G	실시예
14	70	0.7	Mg,Si,Al	0.020	85	1.92	0.85	G	실시예
15	75	2.0	Mg,Si,Al	0.030	85	1.92	0.84	G	실시예
16	80	3.0	Mg,Si,Al	0.050	90	1.92	0.83	G	실시예
17	60	0.5	Mg,Si,Al	0.006	40	1.89	0.86	P	비교예
18	50	0.5	Mg,Si,Al	0.003	40	1.89	0.87	P	비교예
19	80	3.5	Mg,Si,Al	0.100	90	1.93	0.82	G	실시예
20	외관이 나쁘기 때문에 미평가								비교예
21	80	2.0	Mg,Si,Al	0.050	85	1.92	0.84	G	실시예
22	80	2.0	Mg,Si,Al	0.050	85	1.92	0.84	G	실시예
23	80	2.0	Mg,Si,Al	0.050	90	1.92	0.84	G	실시예
24	80	2.0	Mg,Si,Al	0.050	85	1.92	0.84	G	실시예
25	30	0.5	Mg,Si,Al	0.005	45	1.88	0.86	P	비교예
26	70	0.5	Mg,Si,Al	0.006	55	1.89	0.86	P	비교예
27	60	0.5	Mg,Si,Al	0.010	60	1.89	0.86	G	비교예

[0251]

[0252] 표 1, 표 2에 나타내는 결과로부터, 본 발명의 조건으로 강판의 표면 연삭 및 수성액과의 접촉을 행한 예에서는, 규소 강판과 상기 산화물층의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위에, 원 상당 직경으로 0.1 내지 3.0㎛인, Mg, Al, Si 중 1종 이상의 산화물이, 0.010 내지 0.200개/㎛^{2}의 밀도로 존재하고, 판 두께 방향의 단면에 있어서, 규소 강판과 산화물층의 상기 계면의 길이에 차지하는, 편평 결정립의 입계의 길이가, 70% 이상이었다. 또한, 그 결과, 이들 예에서는, 자기 특성이 우수하였다.

[0253] 한편, 소정의 수성액과의 접촉을 행하지 않은, 또는 연삭 조건이 바람직하지 않은 예에서는, 통상 요구되는 외관을 충족하지 않거나, 혹은, 표층부의 산화물이 충분히 형성되지 않거나 또는 편평 결정립이 충분히 형성되지 않았다. 또한, 그 결과, 자기 특성이 떨어졌다(외관 불량의 일부에 대해서는 평가하지 않음).

[0254] (실시예 2)

[0255] 실시예 1에서 사용한 것과 마찬가지의 용강·슬래브를 사용하고, 실시예 1과 마찬가지의 방법으로 열간 압연, 열연판 어닐링, 산세, 냉간 압연을 행하여 판 두께 0.22㎜의 냉연판을 얻었다.

[0256] 얻어진 냉연판의 편면에, 시판되고 있는 파이버 레이저를 사용하고, 표에 나타내는 레이저 출력, 집광 스폿 직경(판 폭 방향 TD 및 압연 방향 RD), 주사 속도의 조건으로 레이저 조사를 실시하였다. 레이저 조사 시에 강판으로부터 발생하는 용융물이 강판에 재부착되지 않도록 어시스트 가스로서 아르곤을 레이저 조사와 동시에 분사하고, 어시스트 가스 분출구와 대향 위치에 흡인 덕트를 설치하고, 레이저 조사에서 발생하는 용융물에 기인하는 더스트를 회수하였다. 본 레이저 조사에 의해, 그 표면에 표에 나타내는 폭, 깊이의 단면 투영 형상이 대략 삼각형의 직선상 홈을 형성하였다. 이 홈은, 표에 나타내는 방향으로 연장되고, 각 홈이 압연 방향에 평행하고 또한 압연 방향으로 표에 나타내는 간격으로 주기적으로 형성하였다.

[0257] 다음으로 홈이 형성된 냉연판의 표면을, pH=4.0 내지 6.0의 이온 교환수를 흐르게 하면서 강판의 표면을 연삭하여, 표 2에 나타내는 조건으로 연삭하였다. 또한, 연삭 종료 후 pH=4.0 내지 6.0의 이온 교환수에 접촉시켰다. 접촉 시에는, 접촉 시간은 5초, 수성액의 유량은, 10L/min으로 하였다.

[0258] 그 후, 실시예 1과 마찬가지의 조건으로 탈탄 어닐링, 질화 처리, MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리제 도포, 마무리 어닐링을 행하였다.

[0259] 마무리 어닐링 후, 어닐링 분리제를 수세 제거한 결과, 강판의 표면에 유리 피막(산화물층)이 형성되어 있었다.

[0260] 이 유리 피막을 갖는 규소 강판에, 인산알루미늄, 콜로이달 실리카, 무수 크롬산으로 이루어지는 절연 피막 성분을 함유하는 약액을, 도포하고, 질소 분위기에서 800℃로 가열하여 30초간 유지함으로써, 절연 피막을 베이킹하였다. 이때 절연 피막층의 부착량은 편면당 5.0g/m^2였다.

[0261] 얻어진 규소 강판(규소 강판, 유리 피막(산화물층) 및 절연 피막층을 가짐)에 있어서, 산화물층과의 계면으로부터 판 두께 방향으로 10㎛의 범위의 산화물 및 편평 결정립의 평가를 실시예 1과 마찬가지의 요령으로 행하였다. 또한, 본 실시예에서는, 홈 내 편평 결정립에 대해서도 평가를 행하였다.

[0262] 얻어진 방향성 전자 강판(규소 강판, 유리 피막(산화물층), 및 절연 피막층을 가짐)으로부터, 판 폭 방향이 30㎜×압연 방향이 280㎜인 시료를 36매 전단에 의해 채취하고, 이들 시료에, 질소 분위기에서 800℃ 2h의 응력 제거 어닐링을 행하였다.

[0263] 그 후 JIS-C-2550-1: 2011에 기재된 엡스타인법으로 규정되어 있는 자기 특성 측정법으로, 자화력 800A/m 여자 시의 자속 밀도(이하 B8)와 여자 주파수 50Hz, 자속 밀도 1.7T로 여자했을 때의 철손(이하 W17/50)을 측정하였다.

[0264] 또한, 얻어진 방향성 전자 강판으로부터, 압연 방향 300㎜×폭 방향 300㎜의 시료를 채취하고, 이 시료를 직경이 20㎜(φ20㎜)인 SUS304제의 환봉에 감고, 되감은 후, 감았던 내측의 오목부의 절연 피막을 관찰함으로써 절연 피막의 밀착성을 평가하였다.

[0265] 판단 기준은 이하대로 하였다.

[0266] G(GOOD): 피막 박리 없음

[0267] P(POOR): 일부 피막 박리

[0268] B(BAD): 전체면 피막 박리

표 3

번호	레이저 조사 조건							홈 형성			
	종류	파워	집광 스폿 (RD)	집광 스폿 (TD)	주사 속도	어시스트 가스		홈 깊이	홈 폭	압연 방향 피치	연장 방향 압연 방향에 대한 각도
						종류	유량				
		W	μm	μm	m/s		L/분	μm	μm	mm	°
102	파이버	200	10.0	10.0	40	Ar	5	8	15	6.0	82
103	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	82
104	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	6.0	82
105	파이버	800	30.0	30.0	30	Ar	5	20	40	6.0	82
106	파이버	1250	37.5	37.5	30	Ar	5	25	50	6.0	82
107	파이버	1800	45.0	45.0	30	Ar	5	30	60	6.0	82
108	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	75
109	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	80
110	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	85
111	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	90
112	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	95
113	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	100
114	파이버	200	15.0	15.0	30	Ar	5	10	20	6.0	105
115	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	0.5	82
116	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	1.0	82
117	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	10.0	82
118	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	20.0	82
119	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	25.0	82
120	파이버	450	22.5	22.5	30	Ar	5	15	30	6.0	82
121	파이버	800	30.0	30.0	30	Ar	7	20	40	6.0	82
122	파이버	800	30.0	30.0	30	Ar	10	20	40	6.0	82

[0269]

표 4

번호	브러시 롤				통판 속도	연삭 방법				접촉				연삭+ 접촉 후	
	롤 직경	지립				연삭면	회전 속도	압입		수성액				편면 연삭량	표면 외관
		종류	늡 경도	최대 입경					용매	첨가물	pH				
	mm			μm	mpm		mm							g/m^2	
102	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
103	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
104	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
105	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
106	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
107	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
108	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
109	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
110	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
111	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
112	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
113	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
114	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
115	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
116	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
117	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
118	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
119	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
120	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	옥살산 Na	4.0			1.1	5
121	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4
122	300	알루미나	2000	125	30	양면	1000	1.5	순수	-	6.0			1.0	4

[0270]

표 5

번호	편평 결정립		홈 내 편평 결정립		모재 강판의, 표면으로부터 10㎛의 범위의 산화물		산화물층	자기 특성			절연 피막 밀착성	
	길이 비율 %	평균 두께의 평균 ㎛	길이 비율 %	평균 직경의 평균 ㎛	종류	밀도 개/(㎛)^2	피복률 %	자속 밀도 B8 T	철손 W17/50 W/kg			
102	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.90	0.80	G	발명예	
103	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.89	0.76	G	발명예	
104	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.75	G	발명예	
105	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.74	G	발명예	
106	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	90	1.88	0.73	G	발명예	
107	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.87	0.75	G	발명예	
108	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.91	0.78	G	발명예	
109	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.90	0.76	G	발명예	
110	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.88	0.75	G	발명예	
111	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.87	0.74	G	발명예	
112	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.88	0.75	G	발명예	
113	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.90	0.76	G	발명예	
114	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	95	1.91	0.78	G	발명예	
115	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.86	0.80	G	발명예	
116	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.87	0.73	G	발명예	
117	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.74	G	발명예	
118	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.90	0.75	G	발명예	
119	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.91	0.80	G	발명예	
120	80	1.5	80	1.5	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.74	G	발명예	
121	80	1.5	90	2.1	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.73	G	발명예	
122	80	1.5	90	3.0	Mg,Si,Al	0.060	85	1.88	0.72	G	발명예	

[0271]

[0272] 표 3 내지 표 5로부터 알 수 있는 바와 같이, 어느 경우에도 충분한 피막의 밀착성이 얻어지고, 또한 0.85W/kg 이하의 저철손이 되어 있지만, 바람직한 조건에서 홈을 형성한 예에서는, 철손이 더 낮아져, 0.76W/kg 이하가 되었다.

산업상 이용가능성

[0273] 본 발명에 따르면, 우수한 자기 특성을 갖는 방향성 전자 강판 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다. 그 때문에, 산업상 이용 가능성이 높다.

부호의 설명

[0274] 1: 방향성 전자 강판

11: 규소 강판

21: 산화물층

31: 절연 피막층

101: 산화물(산화물 입자)

102: 편평 결정립

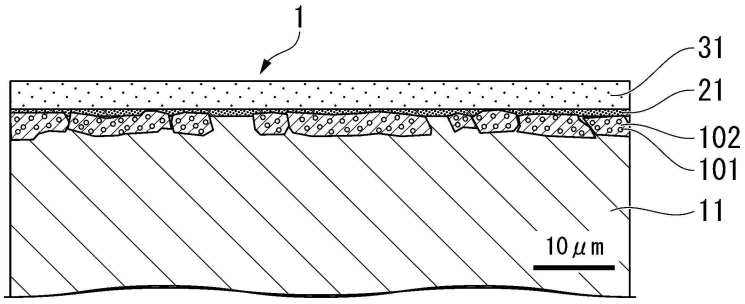
G: 홈

t: 두께

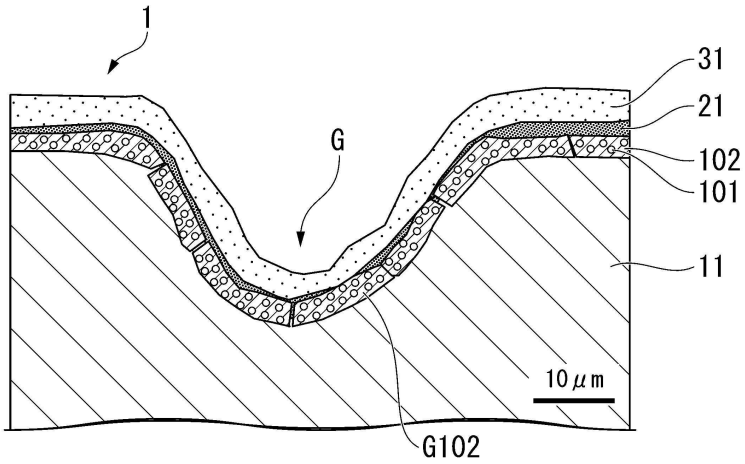
G102: 홈 내 편평 결정립

도면

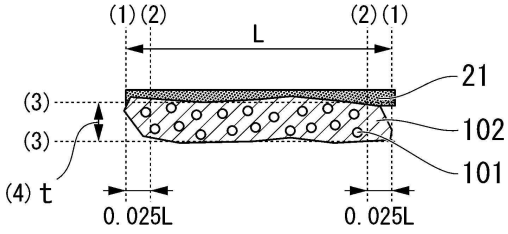
도면1



도면2



도면3



도면4

