



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0134363
(43) 공개일자 2024년09월09일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 38/02 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
 C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)
 C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)
 C22C 38/46 (2006.01) C22C 38/48 (2006.01)
 C22C 38/50 (2006.01) C22C 38/54 (2006.01)
 C22C 38/60 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 C22C 38/02 (2013.01)
 C22C 38/001 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2024-7026772
 (22) 출원일자(국제) 2023년02월10일
 심사청구일자 2024년08월08일
 (85) 번역문제출일자 2024년08월08일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/004544
 (87) 국제공개번호 WO 2023/157765
 국제공개일자 2023년08월24일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2022-021370 2022년02월15일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
 제이에프이 스틸 가부시카이가이사
 일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고</p> <p>(72) 발명자
 다케나카 마사노리
 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이
 이마무라 타케시
 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이
 다나카 타카야키
 일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이</p> <p>(74) 대리인
 이철</p> |
|--|--|

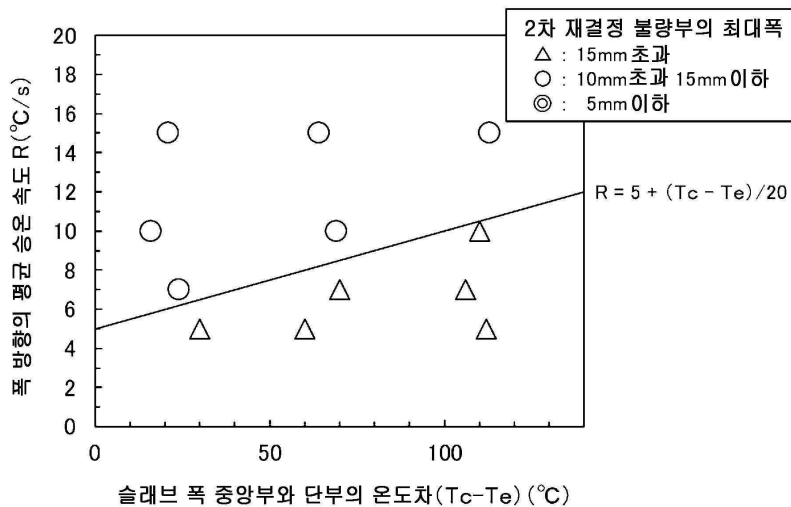
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **방향성 전자 강판의 제조 방법**

(57) 요약

인hibitor 형성 성분을 함유하는 강 슬래브를 가열하고, 열간 압연하고, 필요에 따라서 열연판 어닐링하고, 냉간 압연하고, 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링하고, 어닐링 분리제를 도포한 후, 마무리 어닐링을 실시하여 방향성 전자 강판을 제조할 때, 상기 강 슬래브의 가열 공정에서는, 강 슬래브를 900~1300℃의 온도로 가열한 후, 편측당 50~200mm의 폭 압하 가공하고, 수평 압연한 후, 재가열함과 함께, 상기 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 표면 온도를 Tc(℃), 폭 단부의 표면 온도를 Te(℃), 열간 압연 후의 강판에 최초의 어닐링을 실시할 때의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 관폭 방향의 평균 승온 속도를 R(℃/s)로 했을 때, 상기 R이 R≥5+(Tc-Te)/20을 충족하도록 제어함으로써, 열간 압연으로 발생하는 가장자리 깨짐을 효과적으로 방지하면서, 제품 판의 관폭 단부의 2차 재결정 불량률의 발생을 방지하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- C22C 38/04* (2013.01)
 - C22C 38/06* (2013.01)
 - C22C 38/42* (2013.01)
 - C22C 38/44* (2013.01)
 - C22C 38/46* (2013.01)
 - C22C 38/48* (2013.01)
 - C22C 38/50* (2013.01)
 - C22C 38/54* (2013.01)
 - C22C 38/60* (2013.01)
-

명세서

청구범위

청구항 1

방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서,

상기 제조 방법은, C: 0.02~0.10mass%, Si: 2.5~5.5mass%, Mn: 0.01~0.30mass%, sol.Al: 0.010~0.040mass%, N: 0.004~0.020mass%를 함유하고, 추가로, S 및 Se 중 적어도 1종: 합계로 0.001~0.040mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 가열한 후, 열간 압연하고, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 하고, 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링하고, 어닐링 분리제를 강판 표면에 도포한 후, 마무리 어닐링을 실시하는 공정을 포함하고,

상기 강 슬래브의 가열 공정에서는, 강 슬래브를 900~1300℃의 온도로 가열한 후, 편측당 50~200mm의 폭 압하 가공하고, 상기 폭 압하 가공에 의해 발생한 도그 본(dog-bone) 형상을 수평 압연에 의해 평탄화한 후, 재가열하여 1300~1450℃의 고(高)온도에서 0~120min간 보존유지(保持)함과 함께,

상기 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 표면 온도를 Tc(℃), 폭 단부의 표면 온도를 Te(℃), 열간 압연 후의 강판에 최초의 어닐링을 실시할 때의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도를 R(℃/s)로 했을 때, 상기 R이 하기 (1)식을 충족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

$$R \geq 5 + (Tc - Te) / 20 \quad \dots (1)$$

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 중앙부의 승온 속도를 Rc(℃/s), 판폭 단부의 승온 속도를 Re(℃/s)로 했을 때, 상기 Rc 및 Re가 하기 (2)식을 충족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

$$Re \geq Rc \quad \dots (2)$$

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 Tc 및 Te가 하기 (3)식을 충족하고, 또한, 상기 Rc 및 Re가 하기 (4)식을 충족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

$$10 \leq (Tc - Te) \leq 100 \quad \dots (3)$$

$$(Re - Rc) \geq (Tc - Te) / 50 \quad \dots (4)$$

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

하기의 어느 1의 공정을 갖는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

- 강 슬래브를 가열한 후, 1100℃~1400℃의 온도역에서 1패스 이상의 조압연을 한 후, 800~1300℃의 온도역에서 2패스 이상의 마무리 압연을 하여 열연판으로 하고, 그 후, 400~750℃의 권취 온도에서 코일에 권취하는 열간 압연 공정

- 900~1250℃의 온도역에서 5s 이상 보존유지한 후, 800℃에서 350℃까지 5~100℃/s로 냉각하는 열연판 어닐링 공정

- 냉간 압연을 1회 행하는 경우는, 그의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하고, 냉간 압연을 2회 이상 행하는 경우는, 각각의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하는 냉간 압연 공정
- 900~1250℃의 온도역에 5s 이상 보존유지한 후, 800℃에서 350℃까지 5~100℃/s로 냉각하는 중간 어닐링 공정
- H₂와 N₂를 포함하고, 또한 노점이 20~80℃ 이하의 습윤 분위기하에서, 750~950℃의 온도역에서 10s 이상 보존유지하는 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링 공정
- MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 강판 표면에 편면당 3g/m² 이상 도포하는 어닐링 분리제 도포 공정
- 적어도 1050~1300℃의 온도에 3hr 이상 보존유지하는 순화 처리를 포함하는, 800℃ 이상의 온도역의 일부의 분위기를 H₂ 함유 분위기로 하는 마무리 어닐링 공정

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ni: 0mass% 초과 1.00mass% 이하, Sb: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Sn: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cu: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cr: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, P: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Mo: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Nb: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, V: 0mass% 초과 0.010mass% 이하, B: 0mass% 초과 0.0025mass% 이하, Bi: 0mass% 초과 0.50mass% 이하 및 Zr: 0mass% 초과 0.10mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Co: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하를 함유하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ti: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 W: 0.001~0.050mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Zn: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Pb: 0mass% 초과 0.0100mass% 이하, As: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, Ag: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Au: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Ga: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ge: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ca: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Mg: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, REM: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 Hf: 0mass% 초과 0.020mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은, 결정립이 미리 지수로 판면에 {110}, 압연 방향으로 <001>에 고도로 집적한, 소위 방향성 전자 강판의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0002] 방향성 전자 강관은, 연자성 재료로서, 주로 변압기 등의 전기 기기의 철심으로서 이용되고 있다. 이 방향성 전자 강관은, 2차 재결정을 이용하여, 결정립을 {110}<001> 방위(이후, 「고스 방위」라고 함)에 고도로 집적시킴으로써, 저철손이고 고자속 밀도라는 우수한 자기 특성을 부여하고 있다. 또한, 방향성 전자 강관의 자기 특성을 평가하는 지표로서는, 자장의 강도가 800(A/m)에 있어서의 자속 밀도 $B_8(T)$ 과, 여자(excitation) 주파수가 50(Hz)의 교류 자장에서 1.7(T)까지 자화했을 때의 강관 1kg당의 철손 $W_{17/50}(W/kg)$ 이 일반적으로 이용되고 있다.
- [0003] 상기의 방향성 전자 강관의 제조 방법으로서, 인히비터라고 칭해지는 미세한 석출물을 최종 마무리 어닐링 중에 석출시켜 결정 입계에 이동도 차를 부여함으로써, 고스 방위립만을 우선적으로 성장시키는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 예를 들면, 특허문헌 1에는, 인히비터로서 AlN, MnS를 이용하는 방법이, 특허문헌 2에는, 인히비터로서 MnS, MnSe를 이용하는 방법이 개시되어 있고, 모두 공업적으로 실용화되어 있다. 이들 인히비터를 이용하는 방법은, 인히비터를 균일 미세하게 분산시키는 것이 이상적이고, 그 때문에, 열간 압연을 행하기 전에 소재인 강 슬래브를 1300℃ 이상의 고온으로 가열하는 것이 필요시되고 있다.
- [0004] 한편, 슬래브를 고(高)온도에서 장시간 가열하면, 슬래브의 결정 조직이 조대화하여 조직의 불균일화를 조장한다는 문제가 발생한다. 이 문제에 대해서는, 특허문헌 3에 개시되어 있는 바와 같이, 1300~1450℃ 정도의 고온으로 단시간에 가열하는 방법이 제안되고, 현재, 주류가 되어 있다. 상기의 슬래브 가열 방식으로서, 특허문헌 4나 특허문헌 5에 개시되어 있는 유도 가열이나 통전 가열이 있다. 이 기술을 적용함으로써, 결정 조직의 조대화를 억제하는 것이 가능해질 뿐만 아니라, 슬래브를 개별적으로 처리할 수 있기 때문에, 열간 압연 찬스의 자유도가 증가하는 것, 또한, 생산 효율의 면, 나아가서는 설비의 건설비나 유지·관리 비용의 면에서도 유리하다고 여겨지고 있다.
- [0005] 그런데, 방향성 전자 강관은, 상기한 바와 같은 자기 특성의 향상에 더하여, 제품을 염가로 공급하는 것도 강하게 요망되고 있고, 고품질인 제품을 수율 좋게 제조하는 것이 제조자 사이트에 있어서는 중요한 과제가 되어 있다. 수율 향상의 과제로서는, 예를 들면, 열간 압연 시에 발생하는 강관 단부의 가장자리 깨짐(edge crack)을 방지하는 것을 들 수 있다.
- [0006] 열간 압연 시에 발생하는 가장자리 깨짐을 방지하는 방법에 대해서는, 종래부터 많은 기술이 제안되어 있다. 예를 들면, 특허문헌 6에는, 일방향성 규소강 연주편(continuously cast slab)의 열간 압연 공정에 있어서, 마무리 압연 개시 온도와 마무리 압연 종료 온도와의 차, 즉 열간 마무리 압연 중의 온도 저하를 220℃ 이하로 하는 방법이 제안되어 있다. 그러나, 마무리 압연의 개시 온도와 종료 온도와의 차를 이러한 범위로 규제해도, 조압연 시나 마무리 압연의 전단에서 발생하는 가장자리 깨짐을 방지할 수는 없다.
- [0007] 또한, 특허문헌 7에는, 열간 조압연의 최종 압하율을 규제하는 방법이, 특허문헌 8에는, 슬래브의 주입 조직(cast structure)을 제어하는 방법이, 또한, 특허문헌 9에는, 슬래브 단면 형상을 특수 형상으로 하는 방법이 개시되어 있다. 그러나, 상기 특허문헌 7~9에서 제안된 기술은, 가장자리 깨짐 방지에 대하여 다소의 효과는 있지만, 가장자리 깨짐을 완전하게 방지하는 유효한 방법이라고는 할 수 없었다. 또한, 특허문헌 10~14에는, 열간 압연 시의 시트 바의 측면 형상을 정돈함으로써 가장자리 깨짐을 방지하는 방향성 규소 강관의 열간 압연 방법이 개시되어 있다. 그러나, 이들 방법도, 상기의 방법에 비해 가장자리 깨짐 방지 효과는 크기는 하지만, 완전하게 가장자리 깨짐을 방지할 수 있기까지는 이르고 있지 않다. 그래서, 특허문헌 15에는, 슬래브 가열 후에 폭 압하에 더하여 추가로 수평 압하를 행한 후, 고온 슬래브 가열을 행하는 방법이 제안되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 일본특허공보 소40-015644호
 (특허문헌 0002) 일본특허공보 소51-013469호
 (특허문헌 0003) 일본공개특허공보 소60-190520호
 (특허문헌 0004) 일본실용신안공보 소58-024397호
 (특허문헌 0005) 일본공개특허공보 소60-145318호
 (특허문헌 0006) 일본공개특허공보 소55-062124호

- (특허문헌 0007) 일본공개특허공보 소54-031024호
- (특허문헌 0008) 일본공개특허공보 평03-243244호
- (특허문헌 0009) 일본공개특허공보 소61-003837호
- (특허문헌 0010) 일본공개특허공보 소60-145204호
- (특허문헌 0011) 일본공개특허공보 소60-200916호
- (특허문헌 0012) 일본공개특허공보 소61-071104호
- (특허문헌 0013) 일본공개특허공보 소62-196328호
- (특허문헌 0014) 일본공개특허공보 평05-138207호
- (특허문헌 0015) 일본공개특허공보 평03-133501호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 그러나, 상기 특허문헌 15에 개시된, 고온 슬래브 가열 전에 슬래브에 폭 압하 가공을 행하는 기술은, 열연판의 가장자리 깨짐을 현저하게 억제하는 효과가 있기는 하지만, 새로운 문제가 발생했다. 즉, 폭 압하 가공에 의해 슬래브폭 단부의 온도가 저하하고, 그 후의 고온 슬래브 가열에 있어서 폭 단부의 가열이 불충분해져, 인히비터의 고용 및 열간 압연 시의 균일 미세 분산 석출이 불충분해진다. 그 결과, 제품판의 판폭 단부에 2차 재결정이 불완전한 부분이 발생한다는 문제이다. 상기의 2차 재결정이 불완전한 부분은, 잘라 버릴 필요가 있기 때문에, 큰 수율 저하를 초래하게 된다.

[0010] 본 발명은, 종래 기술이 갖는 상기의 문제점을 감안하여 이루어진 것으로서, 그의 목적은, AlN, MnS 및/또는 MnSe를 인히비터로서 이용하는 방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서, 열간 압연 시에 발생하는 가장자리 깨짐을 방지하면서, 제품판 판폭 단부의 2차 재결정 불량 발생도 효과적으로 방지하는 기술을 제안하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 발명자들은, 상기의 과제를 해결하는 방책에 대해서, 예의 검토를 거듭했다. 그 결과, 고온 슬래브 가열 전의 폭 압하 가공에 의한 슬래브폭 단부의 온도 저하량에 따라서, 열간 압연 후의 강판에 실시하는 최초의 어닐링에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도를 적절히 관리함으로써, 열간 압연 시에 발생하는 가장자리 깨짐 방지와, 제품판 판폭 단부의 2차 재결정 불량의 발생 방지를 동시에 달성할 수 있는 것을 발견하여, 본 발명을 개발하기에 이르렀다.

[0012] 상기 인식에 기초하는 본 발명은, 방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서, 상기 제조 방법은, C: 0.02~0.10mass%, Si: 2.5~5.5mass%, Mn: 0.01~0.30mass%, sol.Al: 0.010~0.040mass%, N: 0.004~0.020mass%를 함유하고, 추가로, S 및 Se 중 적어도 1종: 합계로 0.001~0.040mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 가열한 후, 열간 압연하고, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 하고, 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링하고, 어닐링 분리제를 강판 표면에 도포한 후, 마무리 어닐링을 실시하는 공정을 포함하고, 상기 강 슬래브의 가열 공정에서는, 강 슬래브를 900~1300℃의 온도로 가열한 후, 편측당 50~200mm의 폭 압하 가공하고, 상기 폭 압하 가공에 의해 발생한 도그 본(dog-bone) 형상을 수평 압연에 의해 평탄화한 후, 재가열하여 1300~1450℃의 고온도에서 0~120min간 보존유지(保持)함과 함께, 상기 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 표면 온도를 Tc(℃), 폭 단부의 표면 온도를 Te(℃), 열간 압연 후의 강판에 최초의 어닐링을 실시할 때의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도를 R(℃/s)로 했을 때, 상기 R이 하기 (1)식;

[0013] $R \geq 5 + (T_c - T_e) / 20 \dots (1)$

[0014] 을 충족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판의 제조 방법을 제안한다.

- [0015] 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 중앙부의 승온 속도를 Rc(℃/s), 판폭 단부의 승온 속도를 Re(℃/s)로 했을 때, 상기 Rc 및 Re가 하기 (2)식;
- [0016] $Re \geq Rc \dots (2)$
- [0017] 을 충족하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 Tc 및 Te가 하기 (3)식;
- [0019] $10 \leq (Tc - Te) \leq 100 \dots (3)$
- [0020] 을 충족하고, 또한, 상기 Rc 및 Re가 하기 (4)식;
- [0021] $(Re - Rc) \geq (Tc - Te) / 50 \dots (4)$
- [0022] 을 충족하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법은, 하기의 어느 1의 공정을 갖는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 기(記)
- [0025] · 강 슬래브를 가열한 후, 1100℃~1400℃의 온도역에서 1패스 이상의 조압연을 한 후, 800~1300℃의 온도역에서 2패스 이상의 마무리 압연을 하여 열연판으로 하고, 그 후, 400~750℃의 권취 온도에서 코일에 권취하는 열간 압연 공정
- [0026] · 900~1250℃의 온도역에서 5s 이상 보존유지한 후, 800℃에서 350℃까지 5~100℃/s로 냉각하는 열연판 어닐링 공정
- [0027] · 냉간 압연을 1회 행하는 경우는, 그의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하고, 냉간 압연을 2회 이상 행하는 경우는, 각각의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하는 냉간 압연 공정
- [0028] · 900~1250℃의 온도역에 5s 이상 보존유지한 후, 800℃에서 350℃까지 5~100℃/s로 냉각하는 중간 어닐링 공정
- [0029] · H₂와 N₂를 포함하고, 또한 노점이 20~80℃ 이하의 습윤 분위기하에서, 750~950℃의 온도역에서 10s 이상 보존유지하는 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링 공정
- [0030] · MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 강판 표면에 편면당 3g/m² 이상 도포하는 어닐링 분리제 도포 공정
- [0031] · 적어도 1050~1300℃의 온도에 3hr 이상 보존유지하는 순화 처리를 포함하는, 800℃ 이상의 온도역의 일부의 분위기를 H₂ 함유 분위기로 하는 마무리 어닐링 공정
- [0032] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ni: 0mass% 초과 1.00mass% 이하, Sb: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Sn: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cu: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cr: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, P: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Mo: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Nb: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, V: 0mass% 초과 0.010mass% 이하, B: 0mass% 초과 0.0025mass% 이하, Bi: 0mass% 초과 0.50mass% 이하 및 Zr: 0mass% 초과 0.10mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 한다.
- [0033] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Co: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하를 함유하는 것을 특징으로 한다.
- [0034] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Ti: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 W: 0.001~0.050mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 한다.
- [0035] 또한, 본 발명의 상기 방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 강 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, Zn: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Pb: 0mass% 초과 0.0100mass% 이하, As: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, Ag: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Au: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Ga: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ge: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ca: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Mg: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, REM: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 Hf: 0mass% 초과 0.020mass% 이하 중

으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0036] 본 발명에 의하면, 열간 압연 시에 발생하는 가장자리 깨짐과, 제품판의 판폭 단부의 2차 재결정 불량 발생을 효과적으로 방지할 수 있기 때문에, 고자속 밀도·저철손의 방향성 전자 강판을, 고수율이고, 염가로 제조하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 2차 재결정 불량부의 최대폭에 미치는 (Tc-Te)와 R의 영향을 나타내는 그래프이다.
 도 2는 2차 재결정 불량부의 최대폭에 미치는 (Tc-Te)와 (Re-Rc)의 영향을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] (발명을 실시하기 위한 형태)

[0039] 우선, 본 발명을 개발하기에 이른 실험에 대해서 설명한다.

[0040] <실험 1>

[0041] C: 0.05mass%, Si: 3.1mass%, Mn: 0.09~0.10mass%, sol.Al: 0.020~0.021mass%, N: 0.009mass%, S: 0.002~0.003mass% 및 Se: 0.009~0.010mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는, 두께가 260mm인 강 슬래브를 18개 제조했다. 이어서, 상기 슬래브를 가열로(furnace)로 장입하여 1000℃까지 가열한 후, 가열로부터 추출하여, 9개의 슬래브는 편측당 20mm, 나머지의 9개의 슬래브는 편측당 50mm의 폭 압하 가공한 후, 수평 압하(수평 압연)하여 슬래브의 도그 본 형상을 교정하여 평탄화했다. 또한, 상기 폭 압하 가공에 있어서는, 슬래브와 폭 압하 가공 설비와의 접촉 시간을 변경함으로써 슬래브의 폭 방향 단부의 온도 강하량을 변화시켰다. 또한, 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 표면 온도 Tc(℃), 폭 단부의 표면 온도 Te(℃) 및 상기 Tc와 Te의 온도차(Tc-Te)를 표 1에 나타냈다. 또한, 상기 슬래브폭 중앙부의 표면 온도란 슬래브 상면(장변)의 폭 중앙부의 표면 온도를, 폭 단부의 표면 온도란 슬래브 측면(단변)의 두께 중앙부의 온도를 가리킨다.

[0042] 그 후, 상기 강 슬래브를 재차 가열로로 장입하여 1350℃로 가열하고, 당해 온도에 5min간 보존유지한 후, 열간 조압연하여 두께 40mm의 시트 바(sheet bar)로 하고, 또한, 열간 마무리 압연하여 판두께 2.8mm의 열연판으로 하고, 수냉하여 600℃의 온도에서 코일에 권취했다. 이 때, 열간 마무리 압연기의 출측에 있어서, 열연판의 양 판폭 단부를 인 라인에서 연속적으로 사진 촬영하고, 얻어진 화상으로부터 판폭 단부에 발생한 가장자리 깨짐의 최대폭을 측정하고, 그 결과를 표 1에 나타냈다. 표 1로부터, 편측당 50mm의 폭 압하 가공을 행함으로써 가장자리 깨짐이 경감되는 것을 알 수 있었다.

[0043] 상기와 같이, 폭 압하 가공에 의해 가장자리 깨짐이 경감되는 이유는, 이하와 같이 생각하고 있다. 강 슬래브의 편측당 50mm의 폭 압하 가공을 행함으로써 슬래브폭 단부에 가공 변형이 도입된다. 또한, 상기 폭 압하 가공으로 슬래브폭 단부에 생긴 도그 본 형상을 교정하기 위한 수평 압하에 의해서도 가공 변형이 도입된다. 그 결과, 슬래브폭 단부에는 큰 가공 변형이 부가되어, 슬래브의 폭 단부의 결정 입경이 미세하게 되었기 때문이라고 생각된다.

[0044] [표 1]

No.	열간 폭 압하 가공-수평 압연 후			열연판의 가장자리 깨짐 최대 깊이 (mm)	열연판 어닐링				제품판의 2차 재결정 불량부의 최대폭 (mm)	비고
	폭 압하량 (mm)	폭 중압률 (%)	폭 연신률 (%)		전체 폭 평균 승온 속도 R (°C/s)	판폭 중앙부 승온 속도 Rc (°C/s)	판폭 단부 승온 속도 Re (°C/s)	Re-Rc (°C/s)		
A-1	20	990	963	27	5	5	4	-1	30	비교예
A-2	20	984	922	62	5	5	4	-1	>30	비교예
A-3	20	981	889	92	5	5	4	-1	10	비교예
A-4	20	981	959	22	7	7	6	-1	20	비교예
A-5	20	984	921	63	7	7	6	-1	10	비교예
A-6	20	979	878	101	7	7	6	-1	10	비교예
A-7	20	977	958	19	10	10	9	-1	10	비교예
A-8	20	983	930	53	10	11	10	-1	10	비교예
A-9	20	985	888	97	10	11	8	-3	25	비교예
A-10	20	978	954	24	15	16	13	-3	10	비교예
A-11	20	985	919	66	15	15	13	-2	10	비교예
A-12	20	982	880	102	15	15	12	-3	10	비교예
B-1	50	988	958	30	5	5	4	-1	>30	비교예
B-2	50	979	919	60	5	5	4	-1	30	비교예
B-3	50	981	869	112	5	5	4	-1	30	비교예
B-4	50	979	955	24	7	7	6	-1	15	발명예
B-5	50	985	915	70	7	7	6	-1	25	비교예
B-6	50	988	882	106	7	7	5	-2	25	비교예
B-7	50	980	964	16	10	11	10	-1	15	발명예
B-8	50	984	915	69	10	11	10	-1	15	발명예
B-9	50	985	875	110	10	10	8	-2	30	비교예
B-10	50	984	963	21	15	15	14	-1	10	발명예
B-11	50	987	923	64	15	16	13	-3	10	발명예
B-12	50	983	870	113	15	15	13	-2	15	발명예

[0045]

[0046]

이어서, 상기 열연판을 1150°C×120s의 균열 처리 후, 800°C에서 350°C까지 50°C/s로 수냉하는 열연판 어닐링을 실시했다. 이 때, 각각의 강판에 대해서, 열연판 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900°C간의 판폭 방향의 평균 승온 속도 R(°C/s), 판폭 중앙부의 승온 속도 Rc(°C/s) 및 판폭 단부의 승온 속도 Re(°C/s)를 표 1에 나타낸 바와 같이 여러 가지로 변화시켰다. 또한, 상기 판폭 방향의 승온 속도는, 전체 판폭의 평균 승온 속도이고, 또한, 판폭 단부의 승온 속도는, 양 판폭 단부로부터 30mm 내측으로 들어간 부분의 승온 속도 중 낮은 쪽의 승온 속도이다.

[0047]

이어서, 상기 열연판 어닐링 후의 강판을 산 세정하여 표면의 스케일을 제거한 후, 냉간 압연하여 최종 판두께 0.27mm의 냉연판으로 했다. 이어서, 상기 냉연판에 H₂와 N₂를 포함하는 노점 50°C의 습윤 분위기하에서 800°C×60s의 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링을 실시했다. 이어서, MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리체를 강판 표면에 편면당 5g/m²로 도포하고, 건조하여 코일에 권취했다. 그 후, 2차 재결정시킨 후, 1240°C의 온도에 5hr 보존유지하여 순화 처리하는 마무리 어닐링을 실시했다. 또한, 상기 마무리 어닐링에서는, 1050°C 이상의 온도역은, H₂를 주성분으로 하는 분위기로 했다. 이어서, 상기 마무리 어닐링 후의 강판 표면으로부터 미반응의 어닐링 분리체를 제거한 후, 인산염계의 장력 부여형의 절연 피막을 도포하고, 피막의 소부(燒付)와 강판의 형

상 교정을 겸한 평탄화 어닐링을 실시하여 제품판으로 했다.

[0048] 이렇게 하여 얻은 제품판 코일의 선단부(코일 최외 감기부) 및 미단부(코일 최내 감기부)의 양 판폭 단부를 SEM-EBSD법으로 결정 방위를 측정하고, 각 코일의 2차 재결정 불량부의 최대폭을 구하여, 그 결과를 표 1에 병기했다. 또한, 도 1에는, 편측당의 폭 압하량이 50mm인 코일에 있어서의 (Tc-Te) 및 R과 2차 재결정 불량부의 최대폭과의 관계를 나타냈다. 이들 결과로부터, 하기 (1)식;

[0049]
$$R \geq 5 + (Tc - Te) / 20 \dots (1)$$

[0050] 을 충족하도록 열간 압연 전의 폭 압하 가공, 폭 압하 가공 후의 슬래브 표면 온도 및 열간 압연 후의 최초의 어닐링인 열연판 어닐링의 승온 속도를 제어함으로써, 열간 압연 시의 가장자리 깨짐의 발생을 방지하면서, 제품판의 폭 방향 단부의 2차 재결정 불량을 억제할 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0051] 또한, 제품판의 판폭 단부에 발생한 2차 재결정 불량부의 깊이(판폭 단부로부터의 거리)는, 각 제품판 코일의 선단부(코일 최외 감기부) 및 미단부(코일 최내 감기부)의 양 판폭 단부로부터 각각 30mm 폭의 샘플을 채취하여, 피막을 제거한 후, 편면에 테이프를 붙이고, 화학 연마로 편면에서 판두께 중심층까지 두께 감소한 면을 다이아몬드 연마, 알루미늄 연마 및 콜로이드 실리카 연마 등으로 경면으로 마무리한 후, SEM-EBSD법으로 결정 방위를 측정함으로써 얻어진다. 구체적으로는, 본 발명에서는, EDAX사 제조의 EBSD 측정 시스템을 이용하여 채취한 샘플에 대해서, 1μm 스텝에서 압연 방향 2mm×판폭 방향 30mm의 영역을 측정하고, 측정 영역 전체의 95% 이상의 영역에서 신뢰성 지수(Confidence Index) > 0.1이 얻어지도록, 샘플의 표면 상태, SEM 조건 및 EBSD 조건을 조정하여 측정했다. 이어서, 얻어진 데이터를 EDAX사 제조의 OIM Analysis로 해석하여, {110}<001>로부터의 방위차각이 20° 이내, 또한, 재결정 입경이 1mm 이상인 것을 2차 재결정립으로 하고, 그 이외의 영역은 2차 재결정 불량부로 판정하고, 상기 2차 재결정 불량부의 발생 영역의 판폭 단부로부터의 거리를 2차 재결정 불량부 깊이로 했다. 그리고, 제품판의 선단부 및 미단부의 양 판폭 단부의 2차 재결정 불량부 깊이의 최대값을 그 코일의 2차 재결정 불량부의 최대폭으로 했다.

[0052] 상기한 바와 같이, 슬래브 가열 공정 도중의 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 (Tc-Te)에 따라서, 열간 압연 후의 강관에 실시하는 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도 R을 적정 범위로 제어하는, 즉, 슬래브폭 단부의 온도가 낮은 경우에는, 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 승온 속도를 높임으로써 제품판의 판폭 단부에 발생하기 쉬운 2차 재결정 불량을 억제할 수 있는 이유에 대해서, 발명자들은 다음과 같이 생각하고 있다.

[0053] 슬래브 가열 공정의 도중에 온도가 저하한 슬래브의 폭 단부는, 그 후, 슬래브를 고온으로 가열해도 폭 중앙부에 비해 온도가 낮은 채이다. 또한, 비록 소정의 균열 온도에 도달했다고 해도, 폭 중앙부에 비해 균열 시간이 짧아지기 때문에, 인히비터가 완전하게 고용한 상태로 되어 있지 않다. 그 결과, 열간 압연 공정에서 균일 미세하게 석출하는 석출물(인히비터)의 양이 적어져, Goss 방위립과 그 외의 방위립과의 입계의 이동도 차가 나기 어려워져, 고스 방위립이 2차 재결정되기 어려운 상태로 되어 있다고 생각된다. 그러나, 여기에서, 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 승온 속도를 높인 경우에는, 추가하여 석출하는 석출물이 미세화되기 때문에, 입계에 이동도 차를 부여할 수 있어, 2차 재결정 불량이 억제된다고 생각하고 있다.

[0054] <실험 2>

[0055] C: 0.08mass%, Si: 3.7mass%, Mn: 0.06mass%, sol.Al: 0.028mass%, N: 0.009mass% 및 S: 0.025mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는, 두께가 260mm인 강 슬래브를 9개 제조하고, 가열로로 장입하여 1250℃까지 가열한 후, 가열로부터 추출하여, 편측당 200mm의 폭 압하 가공한 후, 수평 압연하여 슬래브의 도그 본 형상을 평탄화했다. 이 때, 상기 폭 압하 가공 시의 슬래브와 폭 압하 가공 설비와의 접촉 시간을 바꿈으로써, 슬래브의 폭 방향 단부의 온도 강하량을 변화시켰다. 또한, 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 온도 Tc(℃), 폭 단부의 온도 Te(℃)를 측정하여, 그 결과를 표 2에 나타냈다. 그 후, 상기 슬래브를 재차 가열로로 장입하여 1300℃의 온도로 가열하고, 당해 온도에 120min간 보존유지한 후, 가열로부터 추출하고, 열간 조압연하여 두께 30mm의 시트 바로 하고, 또한, 열간 마무리 압연하여 판두께 3.0mm의 열연판으로 한 후, 수냉하여 700℃의 온도에서 코일에 권취했다. 이 때, 열간 마무리 압연기의 출측에 있어서, 열연판의 양 판폭 단부를 인 라인에서 연속적으로 사진 촬영하고, 얻어진 화상으로부터 판폭 단부에 발생한 가장자리 깨짐의 최대폭을 측정하여, 그 결과를 표 2에 병기했다. 표 2로부터, 어느 열연판에 있어서도, 가장자리 깨짐의 최대폭이 10mm 이하로 억제되어 있는 것을 알 수 있다.

[0056] 이어서, 상기 열연판을, 열연판 어닐링을 실시하는 일 없이, 산 세정하여 표면의 스케일을 제거한 후, 1회째의

냉간 압연을 하여 중간 판두께 0.7mm로 하고, 1000℃×60s의 균열 처리 후, 800℃에서 350℃까지 30℃/s로 수냉하는 중간 어닐링을 실시하고, 산 세정하여 표면의 스케일을 제거한 후, 2회째의 냉간 압연을 하여 최종 판두께 0.23mm의 냉연판으로 했다. 이 때, 상기 중간 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도 R(℃/s), 판폭 중앙부의 승온 속도 Rc(℃/s) 및 판폭 단부의 승온 속도 Re(℃/s)를 표 2에 나타낸 바와 같이 변화시켰다.

[0057] 이어서, 상기 냉연판에 H₂와 N₂를 포함하는 노점 60℃의 습윤 분위기하에서 900℃×120s의 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링을 실시한 후, MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 강판 표면에 편면당 3g/m²로 도포하고, 건조하여, 코일에 권취했다. 그 후, 2차 재결정시킨 후, 1150℃의 온도에 20hr 보존유지하여 순화 처리하는 마무리 어닐링을 실시했다. 또한, 상기 마무리 어닐링에서는, 900℃ 이상의 온도역의 분위기는, H₂를 주성분으로 하는 분위기로 했다. 이어서, 상기 마무리 어닐링 후의 강판 표면으로부터 미반응의 어닐링 분리제를 제거한 후, 인산염계의 장력 부여형의 절연 피막을 도포하고, 피막의 소부와 강판의 형상 교정을 겸한 평탄화 어닐링을 실시하여 제품판으로 했다.

[0058] 이렇게 하여 얻은 제품판 코일의 선단부 및 미단부의 양 판폭 단부를, 전술한 실험 1과 마찬가지로 하여 SEM-EBSD법으로 결정 방위를 측정하고, 각 코일의 2차 재결정 불량부의 최대폭을 구하여, 그 결과를 표 2에 병기했다. 또한, 도 2에는, (Re-Rc)와 (Tc-Te)와 2차 재결정 불량부의 최대폭과의 관계를 나타냈다. 이들 결과로부터, 하기 (2)~(4)식;

[0059] $Re \geq Rc \dots (2)$

[0060] $10 \leq (Tc - Te) \leq 100 \dots (3)$

[0061] $(Re - Rc) \geq (Tc - Te) / 50 \dots (4)$

[0062] 을 충족하도록 열간 압연 전의 폭 압하 가공에 있어서의 슬래브 표면 온도 및 열간 압연 후의 최초의 어닐링인 중간 어닐링에 있어서의 승온 속도를 제어함으로써, 제품판의 판폭 단부의 2차 재결정 불량을 현저하게 억제할 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0063] [표 2]

No.	열간 폭압하		가공-수평 압연 후		열연판의 가장자리 깨짐 최대 길이 (mm)	열연판 어닐링				제품판의 2차 재결정 불량률의 최대값 (mm)	비고
	슬래브 온도 Tc (°C)	중량 부 온도 Tc (°C)	슬래브 온도 Tc (°C)	중량 부 온도 Tc (°C)		전체 폭 평균 승온 속도 R (°C/s)	판폭 중앙부 승온 속도 Rc (°C/s)	판폭 단부 승온 속도 Re (°C/s)	Re-Rc (°C/s)		
1	1187	1163	1163	24	5	10	10	11	1	10	발명예
2	1192	1128	1128	64	5	10	10	11	1	10	발명예
3	1188	1099	1099	89	6	10	10	11	1	<5	발명예
4	1193	1169	1169	24	7	11	10	13	3	5	발명예
5	1179	1122	1122	57	7	11	10	13	3	5	발명예
6	1185	1094	1094	91	6	11	10	13	3	<5	발명예
7	1190	1181	1181	9	5	12	10	15	5	<5	발명예
8	1188	1134	1134	54	6	12	10	15	5	<5	발명예
9	1196	1088	1088	108	5	12	10	15	5	<5	발명예

[0064]

[0065]

여기에서, 슬래브 폭 단부의 온도가 낮은 경우에, 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 승온 속도를 높임으로써 제품판의 판폭 단부에 발생하는 2차 재결정 불량을 억제할 수 있는 이유에 대해서는, <실험 1>에 있어서 서술한 바와 같다. 또한, 상기 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서, 판폭 중앙부의 승온 속도보다도 판폭 단부의 승온 속도를 적극적으로 높여, 상기 (2)~(4)식을 충족하여 가열함으로써, 본 발명의 효과가 보다 현저해지는 이유에 대해서, 발명자들은 이하와 같이 생각하고 있다.

[0066]

우선, 열간 압연 공정에 있어서의 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 온도와 폭 옛지부의 온도의 차를 (3)식의 범위로 제어함으로써, 수평 압연 후에 있어서의 폭 방향에서의 인히비터의 석출 거동의 차이를 최소화할 수 있다. 그 후에, 열간 압연 후의 최초의 어닐링의 승온 과정에 있어서의 승온 속도를, (2)식 과 같이 판폭 단부의 승온 속도를 판폭 중앙부의 승온 속도보다도 높고, 또한, (4)식의 범위로 제어함으로써, 승온 과정에서 추가하여 석출하는 석출물을 미세화할 수 있다. 그 결과, 마무리 어닐링 공정에 있어서의 2차 재결정 불량을 억제하는 효과가 현저해진다.

[0067]

다음으로, 본 발명의 방향성 전자 강관의 제조에 이용하는 강 소재(슬래브)의 성분 조성의 한정 이유에 대해서 설명한다.

[0068]

C: 0.02~0.10mass%

- [0069] C는, 열간 압연 시 및 열연관 어닐링의 균열 시에 일어나는 오스테나이트-페라이트 변태를 이용하여 열연관 조직의 개선을 도모하기 위해 필요한 원소이다. 또한, C 함유량이 0.02mass%를 충족하지 않으면, C에 의한 입계 강화 효과가 상실되어, 슬래브에 균열이 생기는 등, 제조에 지장을 초래하는 결함을 일으킨다. 한편, C 함유량이 0.10mass%를 초과하면, 탈탄 처리의 부하가 증대할 뿐만 아니라, 탈탄 자체가 불완전해져, 제품관에 있어서 자기 시효를 일으키는 원인도 된다. 그 때문에, C의 함유량은 0.02~0.10mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.03~0.08mass%의 범위이다.
- [0070] Si: 2.5~5.5mass%
- [0071] Si는, 강의 비저항을 높여 철손의 일부를 구성하는 와전류손(eddy current loss)을 저감하는 데에 매우 유효한 원소이다. Si 함유량이 2.5mass% 미만에서는, 상기 저감 효과가 작아, 양호한 철손 특성을 얻을 수 없다. 한편, 강의 비저항은, Si 함유량이 11mass%까지는 단조롭게 증가하기는 하지만, 5.5mass%를 초과하면 가공성이 현저하게 저하하여, 압연하여 제조하는 것이 곤란해진다. 그 때문에, Si의 함유량은 2.5~5.5mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 3.0~4.0mass%의 범위이다.
- [0072] Mn: 0.01~0.30mass%
- [0073] Mn은, MnS 및 MnSe를 형성하여, 마무리 어닐링의 승온 과정에서 정상 입 성장(grain growth)을 억제하는 인히비터로서 기능하기 때문에, 방향성 전자 강판의 제조에 있어서는 중요한 원소이다. 그러나, Mn 함유량이 0.01mass%를 충족하지 않으면, 인히비터의 절대량이 부족하여, 정상 입 성장의 억제력이 불충분해진다. 한편, Mn 함유량이 0.30mass%를 초과하면, 슬래브 가열로 충분히 고용시키는 것이 어려워져, 자기 특성이 열화하게 된다. 그 때문에, Mn의 함유량은 0.01~0.30mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.05~0.20mass%의 범위이다.
- [0074] S 및 Se 중 적어도 1종: 합계로 0.001~0.040mass%
- [0075] S 및 Se는, Mn과 결합하여 인히비터가 되는 MnS나 MnSe를 형성한다. 그러나, S와 Se의 합계 함유량이 0.001mass%를 충족하지 않으면, 인히비터량이 부족하여, 자기 특성 향상 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 한편, 합계 함유량이 0.040mass%를 초과하면, 슬래브 가열로 충분히 고용시키는 것이 어려워져, 자기 특성이 크게 열화하게 된다. 또한, S는 0.040mass%를 초과하면, 열간 압연 시에 가장자리 깨짐을 일으키게 된다. 그래서, 자기 특성과 제조성을 양립하기 위해, S와 Se의 합계 함유량은 0.001~0.040mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.002~0.015mass%의 범위이다.
- [0076] sol.Al: 0.010~0.040mass%
- [0077] Al은, AlN을 형성하여 석출하고, 2차 재결정 어닐링에 있어서, 정상 입 성장을 억제하는 인히비터로서 기능하는 원소로서, 방향성 전자 강판에 있어서는 중요한 원소이다. 그러나, Al 함유량이, 산 가용성 Al(sol.Al)로 0.010mass%를 충족하지 않으면, 인히비터의 절대량이 부족하여, 정상 입 성장의 억제력이 부족하다. 한편, sol.Al로 0.040mass%를 초과하면, 슬래브 가열로 충분히 고용시킬 수 없게 되고, 강 중으로의 미세 분산을 달성되지 않아, 자기 특성이 크게 열화하게 된다. 그 때문에, Al의 함유량은 sol.Al로 0.010~0.040mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.015~0.030mass%의 범위이다.
- [0078] N: 0.004~0.020mass%
- [0079] N은, Al과 결합·석출하여 인히비터가 되는 AlN을 형성하지만, 함유량이 0.004mass% 미만에서는, 인히비터의 절대량이 부족하여, 정상 입 성장의 억제력이 부족하다. 한편, 0.020mass%를 초과하면, 열간 압연 시에 슬래브가 부풀어오름을 일으킬 우려가 있다. 그 때문에, N의 함유량은 0.004~0.020mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.006~0.010mass%의 범위이다.
- [0080] 본 발명에 이용하는 강 소재는, 상기 필수로 하는 성분 이외에, 이하의 성분을 함유할 수 있다.
- [0081] Ni: 0mass% 초과 1.00mass% 이하, Sb: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Sn: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cu: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Cr: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, P: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Mo: 0mass% 초과 0.50mass% 이하, Nb: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, V: 0mass% 초과 0.010mass% 이하, B: 0mass% 초과 0.0025mass% 이하, Bi: 0mass% 초과 0.50mass% 이하 및 Zr: 0mass% 초과 0.10mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종
- [0082] 상기의 성분은, 자기 특성의 향상에 유효한 성분이기 때문에 적절히 함유할 수 있다. 그러나, 각각의 원소의

첨가량이 상기 상한값을 초과하면, 2차 재결정립의 발달이 억제되어, 오히려 자기 특성이 열화하게 되기 때문에, 첨가하는 경우는 상기 범위로 하는 것이 바람직하다.

- [0083] Co: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하
- [0084] Co는, 1차 재결정 집합 조직이 개선되어, 제품판의 자기 특성을 향상하는 데에 유효한 원소이기 때문에 적절히 함유할 수 있다. 그러나, 상기 상한값을 초과하면 자기 특성 향상 효과가 포화하여, 원료 비용의 상승을 초래하게 되기 때문에, 첨가하는 경우는 상기 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0085] Ti: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 W: 0.001~0.050mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종
- [0086] Ti 및 W는, 미세한 탄화물이나 질화물을 형성하여, 어닐링 후의 결정 입경을 미세화하기 때문에, 취성을 개선하여 통관 트러블을 억제하는 효과가 있기 때문에 적절히 함유할 수 있다. 그러나, 상기 상한값을 초과하면 상기 효과가 포화하여, 반대로 원료 비용의 상승을 초래하기 때문에, 첨가하는 경우는 상기 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0087] Zn: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Pb: 0mass% 초과 0.0100mass% 이하, As: 0mass% 초과 0.020mass% 이하, Ag: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Au: 0mass% 초과 0.200mass% 이하, Ga: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ge: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Ca: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, Mg: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하, REM: 0mass% 초과 0.0200mass% 이하 및 Hf: 0mass% 초과 0.020mass% 이하 중으로부터 선택되는 적어도 1종
- [0088] 상기 원소는, 결정 입계에 농화하거나 화합물을 형성하여 존재함으로써 입계를 강화하고, 입계 파괴 기인의 결합을 억제하거나 하는 효과가 있기 때문에 적절히 함유할 수 있다. 그러나, 상기 상한값을 초과하면 상기 효과가 포화하여, 반대로 원료 비용의 상승을 초래하기 때문에, 첨가하는 경우는 상기 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0089] 또한, 본 발명에 이용하는 강 슬래브는, 상기 성분 이외의 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물이다. 여기에서, 상기 불가피적 불순물이란, 강을 용제할 때, 원료나 스크랩, 용제용의 레이드 등으로부터 불가피적으로 혼입해 오는 원소를 의미한다.
- [0090] 다음으로, 본 발명의 방향성 전자 강판의 제조 방법에 대해서 설명한다.
- [0091] 본 발명의 방향성 전자 강판의 제조에 이용하는 강 소재(슬래브)는, 상기한 성분 조성을 갖는 강을 통상 공지의 정련 프로세스로 용제한 후, 통상 공지의 조괴법 혹은 연속 주조법으로 제조해도 좋고, 100mm 이하의 두께의 박주편(薄鑄片)을 직접 주조법으로 제조해도 좋다.
- [0092] 상기의 슬래브나 박주편은, 통상의 방법으로 가열한 후, 열간 압연에 제공하지만, 열간 압연 전의 슬래브 가열 온도는 1300℃ 이상으로 하여 인히비터 형성 성분을 완전하게 고용시키는 것이 바람직하다. 슬래브 가열은, 1개의 가열로에서 1300℃ 이상까지 가열해도 좋고, 2개 이상의 가열로를 사용하여 가열해도 좋다. 가열 방식은, 연소 가스 가열 방식, 통전 가열 방식, 유도 가열 방식 등, 공지의 방식을 채용할 수 있다.
- [0093] 여기에서, 본 발명에 있어서 중요한 것은, 상기 슬래브의 가열 공정에 있어서, 슬래브를 900~1300℃의 온도 범위로 가열한 후, 편측당 50~200mm의 범위 내에서 폭 압하 가공을 행하고, 이어서, 이 폭 압하 가공에 의해 발생한 도그 본 형상을 수평 압연(수평 압하)에 의해 평탄화하는 것이다. 폭 압하 가공 및 수평 압연을 실시함으로써, 슬래브의 폭 단부의 결정 입경이 미세화하여, 계속되는 열간 압연에서의 가장자리 깨짐을 현저하게 억제할 수 있다. 상기 가장자리 깨짐 방지 효과를 얻기 위해서는, 편측당 50mm 이상의 폭 압하가 필요하다. 단, 과도한 폭 압하는, 생산성을 저해하게 되기 때문에, 상한은 200mm 정도로 한다. 바람직한 폭 압하량은 100~150mm의 범위이다.
- [0094] 또한, 폭 압하의 가공 방법은, 이 목적에 적합한 것이면 특별히 제한은 없고, 프레스, 종형 롤, 엣저(edger) 등, 공지의 가공 기술을 이용할 수 있다.
- [0095] 또한, 폭 압하 가공에 계속되는 수평 압연은, 폭 압하 가공으로 생긴 도그 본 형상을 교정하여 평탄화하는 목적으로 행하지만, 생산성을 저해하지 않는 범위에서 고압하해도 좋다.
- [0096] 이어서, 상기의 폭 압하 가공 및 수평 압연한 슬래브나 박주편은, 1300~1450℃의 고온도에서 0~120min간 가열한 후, 조압연과 마무리 압연으로 이루어지는 열간 압연에 제공한다. 조압연은, 1100~1400℃의 범위 내에 있어서 1패스 이상의 조건으로 행하는 것이 바람직하다. 상기 조압연에 계속되는 마무리 압연은, 열연판의 조직

을 적정화하기 위해, 800~1300℃의 범위 내에 있어서 2패스 이상의 조건으로 행하는 것이 바람직하다. 또한, 마무리 압연 후의 코일 권취 온도는, 석출하는 탄화물의 형태 제어와, 강판의 균열 등을 방지하는 관점에서, 400~750℃의 범위로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 500~700℃의 범위이다.

[0097] 이어서, 상기 열간 압연 후의 강판(열연판)은, 강판 조직을 균일화하여, 자기 특성의 불균일을 작게 하는 관점에서, 900~1250℃의 온도에서 5s 이상 균열 보존유지하는 열연판 어닐링을 실시하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 균열 조건은, 950~1150℃의 온도에서 10~180s간 보존유지하는 조건이다. 또한, 상기 균열 처리 후는, 제2상이나 석출물의 형태를 적정화하는 관점에서, 800℃에서 350℃까지의 온도역을 5~100℃/s의 냉각 속도로 냉각하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 15~80℃/s의 범위이다.

[0098] 이어서, 상기 열간 압연 후 또는 열연판 어닐링 후의 강판(열연판)은, 열간 압연 시에 생성한 강판 표면의 산화막을 제거하기 위해, 탈스케일(descaling)하는 것이 바람직하다. 탈스케일의 방법은, 가열한 산을 이용하여 산 세정하는 방법, 기계적으로 스케일을 제거하는 메커니컬 디스케일링 방법, 또한, 그들을 조합한 방법 등, 공지의 방법을 이용할 수 있다.

[0099] 이어서, 스케일을 제거한 열연판은, 1회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 한다. 상기 중간 어닐링의 균열 조건은, 900~1250℃의 온도에서 5s 이상 보존유지하는 조건으로 행하는 것이 바람직하다. 균열 온도가 900℃ 미만에서는, 재결정립이 지나치게 세세해지고, 1차 재결정 조직에 있어서의 Goss핵이 감소하여, 자기 특성이 열화할 우려가 있다. 한편, 1250℃를 초과하면, 인히비터의 급격한 성장이나 분해가 생기기 때문에, 역시, 자기 특성의 열화를 초래할 우려가 있다. 보다 바람직하게는 900~1150℃의 온도에서 10~180s간 보존유지하는 조건이다.

[0100] 상기 균열 처리 후의 냉각은, 제2상이나 석출물의 형태 제어의 관점에서, 800℃에서 350℃까지를 5~100℃/s의 속도로 냉각하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 15~80℃/s이다. 또한, 중간 어닐링을 행하는 경우는, 그 전에, 압연유를 제거하는 것이 바람직하다. 또한, 중간 어닐링 후는, 어닐링으로 생긴 강판 표면의 스케일을 제거하는 것이 바람직하다. 탈스케일의 방법은, 가열된 산을 이용하여 산 세정하는 방법, 기계적으로 스케일을 제거하는 메커니컬 디스케일링 방법, 또한, 그들을 조합한 방법 등, 공지의 방법을 이용할 수 있다.

[0101] 여기에서, 본 발명에 있어서 중요한 것은, 열간 압연 후의 강판에 최초로 실시하는 어닐링에 있어서, 승온 과정의 700~900℃간의 평균 승온 속도를 적정하게 제어하는 것이다. 구체적으로는, 전술한 슬래브의 폭 압하 가공 및 수평 압연에 의해 생긴 폭 중앙부와 폭 단부의 온도차(Tc-Te)(℃)와, 열간 압연 후의 최초의 어닐링에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도 R(℃/s)이 하기의 (1)식;

[0102] $R \geq 5 + (Tc - Te) / 20 \dots (1)$

[0103] 을 충족하도록 제어할 필요가 있다는 것이다.

[0104] 또한, 본 발명에 있어서, 또 하나의 중요한 것은, 열간 압연 후의 강판에 최초로 실시하는 어닐링에 있어서, 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향 중앙부의 승온 속도를 Rc(℃/s), 판폭 단부의 승온 속도를 Re(℃/s)로 했을 때, 상기 Rc 및 Re가 하기 (2)식;

[0105] $Re \geq Rc \dots (2)$

[0106] 을 충족하는 것이 바람직하다는 것이다.

[0107] 또한, 추가로 본 발명에 있어서 중요한 것은, 열간 압연 후의 강판에 최초로 실시하는 어닐링에 있어서, 전술한 Tc 및 Te가 하기 (3)식;

[0108] $10 \leq (Tc - Te) \leq 100 \dots (3)$

[0109] 을 충족하고, 또한, 상기한 Rc 및 Re가 하기 (4)식;

[0110] $(Re - Rc) \geq (Tc - Te) / 50 \dots (4)$

[0111] 을 충족하는 것이 바람직하다는 것이다.

[0112] 여기에서, 상기 열간 압연 후의 강판에 실시하는 최초의 어닐링이란, 열연판 어닐링을 실시하는 경우는 열연판 어닐링을, 열연판 어닐링을 실시하지 않고 냉간 압연 간에서 중간 어닐링을 실시하는 경우는 중간 어닐링을, 열연판 어닐링도 중간 어닐링도 행하지 않는 경우는, 냉간 압연 후의 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링을 말한다.

- [0113] 또한, 판폭 단부의 승온 속도 Re 를 판폭 중앙부의 승온 속도 Rc 보다도 빠르게 하는 방법은, 이 목적에 적합한 것이면 특별히 제한은 없지만, 예를 들면, 유도 가열이나 버너 등으로 판폭 단부를 국소적으로 가열하거나, 판폭 단부의 열 흡수를 높이도록 표면 상태를 연구하거나, 판폭 단부의 발열을 억제하도록 보열 대책을 행하거나 하는 등, 공지의 방법을 이용할 수 있다.
- [0114] 또한, 상기 냉간 압연에서는, 압연 하중의 저감과 압연 후의 강관 형상을 향상하기 위해, 압연유 등의 윤활제를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 조직 제어의 관점에서, 1회의 냉간 압연으로 최종 판두께로 하는 경우는, 당해 냉간 압연의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하는 것이 바람직하다. 한편, 냉간 압연을 2회 이상 행하는 경우는, 각각의 냉간 압연의 총 압하율을 50~92%의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0115] 최종 판두께로 냉간 압연한 강관(냉연관)은, 그 후, 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링을 실시하지만, 그 전에, 탈지나 산 세정을 행하여, 강관 표면을 청정화해 두는 것이 바람직하다. 1차 재결정 어닐링에 있어서의 탈탄 어닐링은, 750~950℃의 온도에 10s 이상 보존유지하는 조건으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 조건은 800~900℃×30~180s의 범위이다. 또한, 상기 탈탄 어닐링 시의 분위기는, H_2 와 N_2 로 이루어지는, 노점이 20~80℃의 습윤 분위기로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 노점은 40~70℃의 범위이다. 상기 탈탄 어닐링을 실시함으로써, 강 중의 C는 자기 시효가 일어나지 않는 0.0050mass% 이하로 저감된다.
- [0116] 상기한 1차 재결정 어닐링 후의 강관은, 그 후, MgO를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 강관 표면에 편면당 3g/m² 이상의 단위 면적당의 양으로 도포하는 것이 바람직하다. 단위 면적당의 양의 상한은 특별히 제한하지 않지만, 제조 비용의 관점에서, 10g/m² 정도로 하는 것이 바람직하다. 또한, MgO는, 슬러리상으로 하여 강관 표면에 도포해도 좋고, 정전 도장으로 건식 도포해도 좋다. 슬러리로 도포하는 경우는, 슬러리의 점도 상승을 억제하기 위해, 슬러리 용액을 15℃ 이하의 일정 온도에 보존유지하는 것이 바람직하다. 또한, 슬러리 농도를 일정하게 유지하기 위해, 슬러리 용액은, 조합(調合)용의 탱크와, 도포에 제공하는 탱크를 나누어 관리하는 것이 바람직하다. 또한, MgO가 주성분이란, 어닐링 분리제 전체에 대한 MgO의 함유량이 60mass% 이상인 것을 말한다.
- [0117] 어닐링 분리제를 도포한 강관은, 코일에 권취하고, 업엔드의 상태(up-ended state)로 하여, 마무리 어닐링을 실시하고, 2차 재결정시킴과 함께, 강관 표면에 포스테라이트 피막을 형성시킨다. 이 때, 코일의 외 감기가 감아 풀어지는 것을 방지하기 위해, 코일 외주에 밴드 등을 감는 것이 바람직하다.
- [0118] 상기 마무리 어닐링은, 2차 재결정을 완료시키기 위해서는, 800℃ 이상의 온도로 가열하는 것이 바람직하다. 또한, 강관 표면에 포스테라이트 피막을 형성시키는 경우는, 1050℃ 이상으로 가열하는 것이 바람직하다. 또한, 인히비터 형성 성분이나 불순물을 강 중으로부터 배제하여, 양호한 자기 특성을 얻기 위해서는, 1050~1300℃의 온도에서 3hr 이상 보존유지하는 순화 처리를 실시하는 것이 바람직하다. 상기 순화 처리를 실시함으로써, 인히비터 형성 성분은 불순물 레벨까지 저감할 수 있다. 이 때, 적어도 1050~1300℃의 온도에 3hr 이상 보존유지하는 순화 처리를 포함하는, 800℃ 이상의 온도역의 일부의 분위기는, H_2 를 포함하는 분위기로 하는 것이 바람직하다.
- [0119] 상기 마무리 어닐링을 실시한 강관은, 그 후, 미반응의 어닐링 분리제를 제거하기 위해, 물 세정이나 브리싱, 산 세정 등을 실시한 후, 마무리 어닐링 시의 강관의 감기 습성 등을 교정하거나, 철손을 저감하거나 하기 위해, 평탄화 어닐링을 실시하는 것이 바람직하다.
- [0120] 또한, 방향성 전자 강관은, 강관을 적층하여 사용하는 일이 많지만, 그 경우의 절연성을 확보하기 위해, 강관 표면에 절연 피막을 피성하는 것이 바람직하다. 상기 절연 피막은, 철손을 저감하는 효과가 있는 장력 부여형을 채용하는 것이 바람직하다. 상기 절연 피막의 강관 표면으로의 피성은, 평탄화 어닐링 전에 피막액을 도포하고, 평탄화 어닐링으로 소부하여 형성해도 좋고, 다른 라인에서 상기 처리를 행해도 좋다. 또한, 피막 밀착성을 높여 철손 저감 효과를 보다 높이기 위해, 마인더를 통하여 장력 부여형의 절연 피막을 형성하거나, 물리 증착법이나 화학 증착법을 이용하여 무기물을 강관 표층에 증착시켜 피막을 형성하는 방법을 채용하거나 해도 좋다.
- [0121] 또한, 보다 철손을 저감하는 관점에서, 냉간 압연 후의 어느 것의 공정에서, 강관 표면에 에칭 등으로 홈을 형성하거나, 절연 피막을 형성한 후, 강관 표면에 레이저나 플라즈마 등의 열 에너지 빔을 조사하여 열 변형 영역을 형성하거나, 돌기를 갖는 롤 등을 강관 표면으로 눌러대어 가공 변형 영역을 형성하거나 함으로써, 자구 세분화 처리를 실시해도 좋다.

- [0122] 실시예
- [0123] 표 3에 나타난 여러 가지의 성분을 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는, 두께 220mm의 강 슬래브를 제조하고, 가열로에 장입하여 1200℃까지 가열한 후, 가열로로부터 추출하여, 편측당 100mm의 폭 압하 가공한 후, 상기 폭 압하 가공에 의해 생긴 도그 본 형상을 교정하여 평탄화하는 수평 압연을 실시했다. 이 때, 슬래브와 폭 압하 가공 설비의 접촉 시간을 변경함으로써 슬래브의 폭 단부의 온도 강하량을 여러 가지로 변화시켰다. 상기 폭 압하 가공 및 수평 압연 후의 슬래브의 폭 중앙부의 온도 $T_c(^\circ\text{C})$, 폭 단부의 온도 $T_e(^\circ\text{C})$ 및 상기 T_c 와 T_e 와의 차($T_c - T_e$)를 표 4에 나타냈다. 그 후, 상기 강 슬래브를 재차 가열로로 장입하여 1400℃에서 20min간 가열한 후, 열간 조압연하여 두께 50mm의 시트 바로 하고, 또한, 열간 마무리 압연하여 판두께 2.8mm의 열연판으로 한 후, 수냉하여 500℃의 온도에서 코일에 권취했다. 이 때, 열간 마무리 압연기의 출측에 있어서, 열연판의 양 판폭 단부를 인 라인에서 연속적으로 사진 촬영하고, 그 화상으로부터, 판폭 단부에 발생한 가장자리 깨짐의 최대폭을 측정하여, 그 결과를 표 4에 나타냈다.
- [0124] 이어서, 상기 열연판을 1000℃×10s의 균열 처리 후, 800℃에서 350℃까지 20℃/s로 수냉하는 열연판 어닐링을 실시했다. 이 열연판 어닐링의 승온 과정에 있어서의 700~900℃간의 판폭 방향의 평균 승온 속도 $R(^\circ\text{C}/\text{s})$, 판폭 중앙부의 승온 속도 $R_c(^\circ\text{C}/\text{s})$ 및 판폭 단부의 승온 속도 $R_e(^\circ\text{C}/\text{s})$ 를 표 4에 나타냈다. 이어서, 상기 열연판 어닐링 후의 강판을 산 세정하여 표면의 스케일을 제거한 후, 1회째의 냉간 압연하여 중간 판두께 2.0mm로 하고, 1100℃×60s의 균열 처리한 후, 800℃에서 350℃까지 80℃/s로 수냉하는 중간 어닐링을 실시했다. 이어서, 상기 중간 판두께의 강판을 산 세정하여 표면의 스케일을 제거한 후, 2회째의 냉간 압연하여 최종 판두께 0.23mm의 냉연판으로 했다.
- [0125] 이어서, 상기 냉연판에 H_2 와 N_2 를 포함하는 노점 55℃의 습윤 분위기하에서 850℃×120s의 탈탄 어닐링을 겸한 1차 재결정 어닐링을 실시한 후, MgO 를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 강판 표면에 편면당 8g/m²로 도포, 건조하여, 코일에 권취했다. 그 후, 상기 코일에 권취한 강판에, 2차 재결정시킨 후, 1200℃의 온도에 10hr 보존 유지하여 순차 처리하는 마무리 어닐링을 실시했다. 또한, 상기 마무리 어닐링에서는, 950℃ 이상의 온도역의 분위기는 H_2 를 주성분으로 하는 분위기로 했다. 이어서, 상기 마무리 어닐링 후의 강판 표면으로부터 미반응의 어닐링 분리제를 제거한 후, 인산염계의 장력 부여형의 절연 피막을 도포하고, 피막의 소부와 강판의 형상 교정을 겸한 평탄화 어닐링을 실시하여 제품판으로 했다.
- [0126] 이렇게 하여 얻은 제품판 코일의 선단부 및 미단부의 양 판폭 단부를 SEM-EBSD법으로 결정 방위를 측정하고, 각 코일의 2차 재결정 불량부의 최대폭을 구했다. 또한, 제품판 코일의 최내 감기부 및 최외 감기부의 전체 폭으로부터 압연 방향을 측정 방향으로 하는 자기 특성 측정용의 시험편을 채취하고, 자화력 800A/m에 있어서의 자속 밀도 B_8 을 JIS C2550-1(2011)에 기재된 방법으로 측정하여, 자속 밀도가 가장 낮은 값을 코일 내 보증값으로 했다.
- [0127] 상기의 결과를 표 4에 병기했다. 이 결과로부터, 본 발명에 적합한 성분 조성을 갖는 강 슬래브를 이용하여, 본 발명에 적합한 조건으로 제조한 방향성 전자 강판은, 모두 가장자리 깨짐이 10mm 미만으로 억제되어 있다. 또한, 판폭 단부의 2차 재결정 불량부의 최대폭이 5mm 이하로 억제되어 있고, 판 단부의 자속 밀도 B_8 도 1.93T 이상의 양호한 자기 특성이 얻어지고 있는 것을 알 수 있다.

[0128]

[표 3-1]

No.	화 학 성 분 조 성 (m a s s %)										비 고
	C	Si	Mn	so.l.Al	N	S	Se	S+Se	그 외		
1	0.01	3.2	0.12	0.025	0.009	0.005	0.000	0.005	-	-	비교강
2	0.02	3.4	0.11	0.026	0.008	0.007	0.000	0.007	-	-	발명강
3	0.05	3.2	0.13	0.027	0.009	0.006	0.000	0.006	-	-	발명강
4	0.10	3.3	0.14	0.026	0.010	0.006	0.000	0.006	-	-	발명강
5	0.12	3.4	0.12	0.020	0.008	0.005	0.000	0.005	-	-	비교강
6	0.04	2.3	0.11	0.011	0.011	0.006	0.000	0.006	-	-	비교강
7	0.06	2.6	0.15	0.023	0.009	0.008	0.000	0.008	-	-	발명강
8	0.05	3.3	0.13	0.027	0.008	0.007	0.000	0.007	-	-	발명강
9	0.06	5.3	0.12	0.025	0.009	0.003	0.000	0.003	-	-	발명강
10	0.06	6.1	0.13	0.027	0.008	0.008	0.000	0.008	-	-	비교강
11	0.08	3.2	0.00	0.026	0.009	0.007	0.000	0.007	-	-	비교강
12	0.06	3.4	0.01	0.020	0.007	0.005	0.000	0.005	-	-	발명강
13	0.05	3.5	0.13	0.029	0.009	0.006	0.000	0.006	-	-	발명강
14	0.05	3.2	0.26	0.021	0.008	0.005	0.000	0.005	-	-	발명강
15	0.06	3.4	0.35	0.029	0.008	0.006	0.000	0.006	-	-	비교강
16	0.06	3.4	0.08	0.005	0.008	0.007	0.015	0.022	-	-	비교강
17	0.05	3.3	0.09	0.011	0.008	0.006	0.020	0.026	-	-	발명강
18	0.06	3.4	0.10	0.028	0.007	0.005	0.014	0.019	-	-	발명강
19	0.07	3.2	0.12	0.036	0.008	0.007	0.018	0.025	-	-	발명강
20	0.06	3.4	0.11	0.042	0.009	0.008	0.010	0.018	-	-	비교강
21	0.05	3.5	0.13	0.027	0.003	0.004	0.017	0.021	-	-	비교강
22	0.05	3.3	0.12	0.020	0.004	0.006	0.020	0.026	-	-	발명강
23	0.06	3.4	0.12	0.026	0.008	0.008	0.015	0.023	-	-	발명강
24	0.07	3.3	0.10	0.027	0.017	0.004	0.011	0.015	-	-	발명강
25	0.06	3.4	0.11	0.028	0.022	0.008	0.013	0.021	-	-	비교강
26	0.05	3.3	0.11	0.024	0.004	0.000	0.000	0.000	-	-	비교강
27	0.06	3.4	0.12	0.028	0.008	0.001	0.000	0.001	-	-	발명강

[0129]

[0130]

[표 3-2]

No.	화 학 성 분 조 성 (m a s s %)										비 고
	C	Si	Mn	sol.Al	N	S	Se	SrSe	그 외		
28	0.05	3.4	0.10	0.013	0.004	0.006	0.000	0.006	0.006	—	발명강
29	0.07	3.2	0.12	0.024	0.009	0.035	0.000	0.035	—	—	발명강
30	0.05	3.4	0.11	0.010	0.008	0.043	0.000	0.043	—	—	비교강
31	0.05	3.3	0.09	0.029	0.008	0.007	0.001	0.008	—	—	발명강
32	0.06	3.4	0.10	0.023	0.007	0.006	0.015	0.021	—	—	발명강
33	0.06	3.3	0.11	0.024	0.008	0.006	0.037	0.043	—	—	발명강
34	0.05	3.4	0.10	0.026	0.009	0.006	0.044	0.050	—	—	비교강
35	0.06	3.3	0.12	0.021	0.008	0.005	0.010	0.015	Sn:0.03, Cr:0.14, P:0.005, V:0.008, B:0.0008, Bi:0.008		발명강
36	0.05	3.4	0.10	0.013	0.007	0.006	0.008	0.014	Ni:0.05, Sn:0.15, Cu:0.15, Cr:0.05, P:0.01, Mo:0.02		발명강
37	0.06	3.3	0.10	0.028	0.009	0.004	0.016	0.020	Sb:0.02, Sn:0.23, P:0.15, Mo:0.08, V:0.005		발명강
38	0.07	3.3	0.09	0.024	0.009	0.003	0.017	0.020	Sb:0.06, Cu:0.10, Cr:0.04, P:0.01, Mo:0.01		발명강
39	0.05	3.3	0.08	0.027	0.009	0.004	0.011	0.015	Sb:0.03, Cu:0.08, P:0.01, Mo:0.02, Nb:0.004		발명강
40	0.05	3.4	0.08	0.028	0.008	0.005	0.000	0.005	Sn:0.12, Cu:0.10, P:0.02		발명강
41	0.06	3.4	0.13	0.024	0.009	0.002	0.013	0.015	Ni:0.20, Sn:0.02, P:0.05, Mo:0.05, Zr:0.08		발명강
42	0.06	3.4	0.12	0.028	0.007	0.004	0.008	0.012	Sb:0.15, Cu:0.25, Mo:0.05		발명강
43	0.05	3.3	0.10	0.027	0.009	0.006	0.011	0.017	Ni:0.05, Sn:0.25, Cr:0.27, P:0.15, Bi:0.29		발명강
44	0.06	3.3	0.07	0.026	0.009	0.008	0.007	0.015	Sn:0.40, Ni:0.78, Cr:0.02, P:0.04, Zr:0.0005		발명강
45	0.05	3.4	0.08	0.016	0.008	0.006	0.008	0.014	Sb:0.07, Cu:0.03, Cr:0.10, P:0.06, Mo:0.01		발명강
46	0.06	3.3	0.13	0.026	0.007	0.007	0.019	0.026	Sb:0.02, Cu:0.25, P:0.02, Nb:0.018		발명강
47	0.05	3.3	0.13	0.024	0.008	0.002	0.000	0.002	Sn:0.10, Cu:0.08, P:0.03, Co:0.008		발명강
48	0.05	3.4	0.09	0.027	0.006	0.006	0.015	0.021	Sb:0.04, Sn:0.12, P:0.08, V:0.004, Ti:0.003		발명강
49	0.06	3.3	0.10	0.028	0.008	0.004	0.004	0.008	Sn:0.04, Cr:0.11, P:0.006, V:0.008, Ti:0.002, W:0.02		발명강
50	0.05	3.4	0.07	0.025	0.009	0.007	0.002	0.009	Ni:0.18, Sn:0.06, Cr:0.07, P:0.05, Au:0.004, Ga:0.008, Hf:0.017, REM:0.016		발명강
51	0.04	3.2	0.07	0.020	0.006	0.006	0.000	0.006	Sn:0.04, Cu:0.17, P:0.01, Ti:0.004, Ca:0.003, As:0.016, Pb:0.003		발명강
52	0.06	3.4	0.07	0.011	0.005	0.005	0.008	0.013	Sb:0.07, Cu:0.18, Cr:0.14, P:0.02, Mo:0.01, W:0.043, Ag:0.011, Mg:0.004, Ge:0.009		발명강
53	0.05	3.2	0.11	0.026	0.007	0.008	0.007	0.015	Sb:0.03, P:0.06, Nb:0.003, Zr:0.013, REM:0.003, Pb:0.009		발명강

[0131]

[0132]

[표 4-1]

No.	열간 폭 압하 가공-수평 압연 후		열연판의 가장자리 깨짐 최대 깊이 (mm)		열연판 어닐링			제품판			비고
	슬래브 폭 중앙 온도 Tc (°C)	슬래브 폭 단부 온도 Te (°C)	Tc-Te (°C)	최대 깊이 (mm)	진체 폭 평균 온도 속도 R (°C/s)	판폭 중앙부 온도 속도 Rc (°C/s)	판폭 단부 온도 속도 Re (°C/s)	Re-Rc (°C/s)	2차 재결정 불량부의 최대폭 (mm)	자속 밀도 B8 (T)	
1	1188	1131	57	8	10	10	12	2	<5	1.73	비교예
2	1183	1127	56	8	10	9	12	3	5	1.90	발명예
3	1179	1129	50	6	12	11	13	2	5	1.91	발명예
4	1191	1123	68	8	12	12	14	2	5	1.91	발명예
5	1184	1130	54	18	10	10	11	1	5	1.66	비교예
6	1180	1120	60	6	11	10	11	1	5	1.82	비교예
7	1184	1124	60	5	14	13	14	1	5	1.91	발명예
8	1183	1119	64	5	14	13	15	2	<5	1.90	발명예
9	1177	1123	54	6	10	8	11	3	<5	1.90	발명예
10	1190	1125	65	5	11	9	12	3	5	1.77	비교예
11	1183	1121	62	7	13	12	13	1	5	1.53	비교예
12	1186	1118	68	5	12	12	12	0	5	1.90	발명예
13	1185	1123	62	6	10	10	12	2	<5	1.91	발명예
14	1185	1124	61	5	11	10	13	3	5	1.90	발명예
15	1187	1124	63	5	9	8	11	3	<5	1.55	비교예
16	1176	1122	54	5	10	9	13	4	<5	1.51	비교예
17	1179	1129	50	6	10	9	14	5	<5	1.90	발명예
18	1184	1120	64	6	10	8	12	4	<5	1.91	발명예
19	1183	1124	59	5	10	10	11	1	5	1.91	발명예
20	1184	1127	57	8	13	12	14	2	<5	1.52	비교예
21	1187	1118	69	5	10	10	12	2	<5	1.52	비교예
22	1179	1116	63	5	12	12	12	0	5	1.91	발명예
23	1182	1134	48	4	10	10	16	6	<5	1.91	발명예
24	1183	1128	55	6	10	8	13	5	<5	1.90	발명예
25	1173	1118	55	5	10	8	14	6	<5	1.55	비교예
26	1181	1126	55	7	11	10	12	2	<5	1.83	비교예
27	1186	1125	61	5	10	10	11	1	5	1.90	발명예

[0133]

[0134]

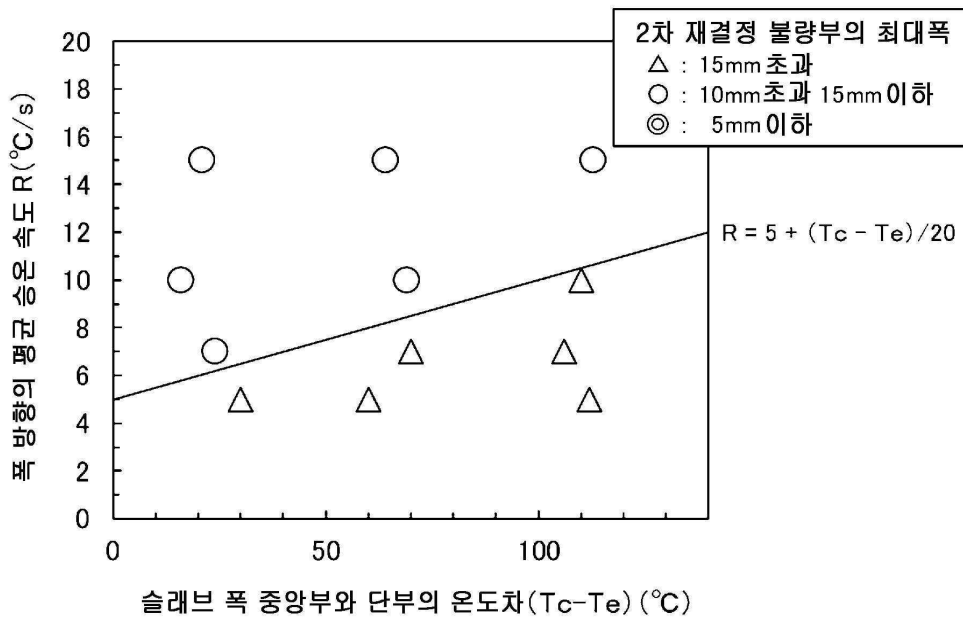
[표 4-2]

No.	열간 폭 압하 가공-수평 압연 후			열연판의 가장자리 깨짐 최대 깊이 (mm)	열연판 어닐링			재 품 판		비 고	
	슬래브 중앙 온도 Tc (°C)	슬래브 폭 단부 온도 Te (°C)	Tc-Te (°C)		전체 폭 평균 상승 속도 R (°C/s)	판폭 중앙부 상승 속도 Rc (°C/s)	판폭 단부 상승 속도 Re (°C/s)	Re-Rc (°C/s)	2차 재결정 불량부의 최대 폭 (mm)		자속 밀도 B8 (T)
28	1185	1127	58	6	10	9	15	6	<5	1.91	발명예
29	1190	1131	59	7	9	8	13	5	<5	1.90	발명예
30	1187	1121	66	5	11	11	12	1	5	1.59	비교예
31	1187	1128	59	6	13	12	15	3	<5	1.91	발명예
32	1181	1123	58	7	9	8	15	7	<5	1.92	발명예
33	1183	1120	63	5	10	9	13	4	<5	1.91	발명예
34	1185	1123	62	5	10	9	12	3	<5	1.49	비교예
35	1183	1130	53	6	11	11	18	7	<5	1.94	발명예
36	1182	1124	58	5	11	11	13	2	5	1.93	발명예
37	1187	1125	62	6	12	11	14	3	<5	1.93	발명예
38	1180	1127	53	5	9	8	10	2	<5	1.94	발명예
39	1179	1127	52	7	8	7	15	8	<5	1.93	발명예
40	1183	1120	63	5	10	8	12	4	<5	1.93	발명예
41	1182	1124	58	5	11	9	15	6	<5	1.93	발명예
42	1185	1126	59	7	13	11	16	5	<5	1.93	발명예
43	1187	1123	64	7	11	10	13	3	<5	1.93	발명예
44	1175	1118	57	7	11	10	13	3	<5	1.93	발명예
45	1179	1123	56	6	10	9	11	2	<5	1.94	발명예
46	1181	1127	54	5	10	10	13	3	<5	1.94	발명예
47	1186	1128	58	6	12	10	15	5	<5	1.95	발명예
48	1178	1127	51	5	13	10	14	4	<5	1.93	발명예
49	1180	1118	62	8	13	11	16	5	<5	1.93	발명예
50	1181	1124	57	6	12	10	13	3	5	1.94	발명예
51	1181	1120	61	5	12	11	15	4	<5	1.93	발명예
52	1185	1123	62	7	12	10	13	3	<5	1.93	발명예
53	1177	1125	52	5	11	9	12	3	<5	1.94	발명예

[0135]

도면

도면1



도면2

