

**(19) 대한민국특허청(KR)**
(12) 공개특허공보(A)**(11) 공개번호** 10-2024-0099335
(43) 공개일자 2024년06월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) *B21B 1/22* (2006.01)
B21B 3/02 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
B21B 1/22 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7017170
(22) 출원일자(국제) 2022년12월12일
심사청구일자 2024년05월23일
(85) 번역문제출일자 2024년05월23일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/045664
(87) 국제공개번호 WO 2023/112891
국제공개일자 2023년06월22일
- (30) 우선권주장
JP-P-2021-203933 2021년12월16일 일본(JP)
- (71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시카이가이사
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고
- (72) 발명자
다나카 다카야키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 지테크자이
산부 나이
- 오쿠보 도모유키**
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 지테크자이
산부 나이
- (74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법**(57) 요약**

본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판은, 질량% 로, C : 0.010 % 이하, Si : 1.0 % 이상, 5.0 % 이하, Mn : 0.05 % 이상, 5.0 % 이하, P : 0.1 % 이하, S : 0.01 % 이하, Al : 3.0 % 이하, N : 0.005 % 이하를 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피 불순물이고, 평균 결정 입경이 60 μm 이상 200 μm 이하이고, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족한다.

(52) CPC특허분류

B21B 3/02 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
C21D 8/1233 (2013.01)
C21D 8/1261 (2013.01)
C21D 8/1272 (2013.01)
C21D 9/46 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/18 (2013.01)
C22C 38/60 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

질량% 로,

C : 0.010 % 이하,

Si : 1.0 % 이상, 5.0 % 이하,

Mn : 0.05 % 이상, 5.0 % 이하,

P : 0.1 % 이하,

S : 0.01 % 이하,

Al : 3.0 % 이하,

N : 0.005 % 이하를 포함하고,

잔부 Fe 및 불가피 불순물이고,

평균 결정 입경이 60 μm 이상 200 μm 이하이고,

압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_C 와 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_D 가 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 을 만족하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

질량% 로, 추가로 Co 를 0.0005 % 이상, 0.0050 % 이하 포함하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

질량% 로, 추가로 Zn 을 0.0005 % 이상, 0.0050 % 이하 포함하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

질량% 로, 추가로 하기 A ~ D 군 중 적어도 1 군의 성분과, Cu : 0 % 이상 0.5 % 이하, Ni : 0 % 이상 0.5 % 이하, W : 0 % 이상 0.05 % 이하, Ti : 0 % 이상 0.005 %, Nb : 0 % 이상 0.005 % 이하, V : 0 % 이상 0.010 % 이하, Ta : 0 % 이상 0.002 % 이하, B : 0 % 이상 0.002 % 이하, Ga : 0 % 이상 0.005 % 이하, Pb : 0 % 이상 0.002 % 이하, As : 0 % 이상 0.05 % 이하 및 Ge : 0 % 이상 0.05 % 이하에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 무방향성 전기 강판.

· A 군 ; Mo : 0.01 % 이상 0.20 % 이하

· B 군 ; Cr : 0.1 % 이상 5.0 % 이하

· C 군 ; Ca : 0.001 % 이상 0.10 % 이하, Mg : 0.001 % 이상 0.10 % 이하 및 REM : 0.001 % 이상 0.10

% 이하 중 어느 1 종 또는 2 종 이상

· D 균 ; Sn : 0.001 % 이상 0.20 % 이하 및 Sb : 0.001 % 이상 0.20 % 이하 중 어느 1 종 또는 2 종

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 기재된 무방향성 전기 강판의 제조 방법으로서, 상기 무방향성 전기 강판의 조성을 갖는 강 소재에 열간 압연을 실시함으로써 열연판을 얻는 열간 압연 공정과, 필요에 따라 상기 열연판에 열연판 어닐링을 실시하는 열연판 어닐링 공정과, 상기 열연판 및 상기 열연판 어닐링이 실시된 상기 열연판에 산세를 실시하는 산세 공정과, 상기 산세가 실시된 상기 열연판에 냉간 압연을 실시함으로써 냉연판을 얻는 냉간 압연 공정과, 상기 냉연판을, 200 °C 에서부터 400 °C 이상 600 °C 이하의 유지 온도 T₁ 까지의 평균 승온 속도 V₁ 이 50 °C/s 이상, 유지 온도 T₁ 에서의 유지 시간 t 가 1 초 이상 10 초 이하, 유지 온도 T₁ 에서부터 750 °C 의 평균 승온 속도 V₂ 가 15 °C/s 이상인 조건에서, 875°C 이상 1050 °C 이하의 어닐링 온도 T₂ 까지 가열하고, 냉각함으로써 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정을 포함하는, 무방향성 전기 강판의 제조 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 냉간 압연 공정을 최종 패스의 워크 롤 직경이 150 mmφ 이상, 최종 패스의 압하율이 15 % 이상, 최종 패스의 변형 속도가 100 s⁻¹ 이상 1300 s⁻¹ 이하인 조건에서 실시하는, 무방향성 전기 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 지구 온난화 등의 환경 문제에 대한 배려에서 CO₂ 배출량의 삭감 및 에너지 절약화가 요구되고 있으며, 자동차 분야에서는, 엔진과 모터를 병용한 하이브리드 전기 자동차 (HEV), 전동 모터만으로 구동하는 전기 자동차 (EV) 및 연료 전지 전기 자동차 (FCEV) 등의 개발이 진행되고 있다. 상기 HEV, EV 및 FCEV 등에 사용되는 모터는, 모터 효율의 고효율화를 위해서 고속 회전에 유리한 고주파역에서 구동되는 것이 일반적이다. 상기 모터의 철심 재료에는 무방향성 전기 강판이 많이 사용되고 있으며, 모터 효율의 고효율화를 달성하기 위해서 상기 강판에는 고주파역에서의 저철손화가 강하게 요구되고 있다.

[0003] 종래, 무방향성 전기 강판은, 주로 Si 나 Al 등의 합금 원소를 첨가하여 고유 저항을 높이거나, 판두께를 얇게 하거나 하여 와전류 손실을 저감시킴으로써 저철손화를 도모해 왔다. 그러나, 합금 원소의 다량의 첨가는, 저철손화를 달성할 수 있어도, 포화 자속 밀도의 저하를 초래한다. 포화 자속 밀도의 저하는, 모터의 동손 (銅損) 증가를 초래하기 때문에, 모터 효율의 저하로 이어진다. 또, 판두께의 감소는, 열연 강판의 판두께를 얇게 하거나, 냉연 압하율을 높이거나 할 필요가 있기 때문에, 생산성의 저하를 초래한다. 그래서, 포화 자속 밀도의 저하나 생산성의 저하를 초래하는 일이 없는 고자속 밀도-고주파 저철손의 무방향성 전기 강판을 개발할 수 있으면, 모터의 고효율화에 크게 기여할 것으로 생각된다.

[0004] 고주파역에서 저철손인 무방향성 전기 강판을 얻는 기술로서, 예를 들어 특허문헌 1 에는, Cr 을 첨가함으로써 강의 고유 저항을 높이고, 고주파역에서의 저철손화를 도모하는 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 평11-343544호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, Cr 은 포화 자속 밀도를 저하시키는 원소이다. 그래서, 특허문헌 1 에 개시되어 있는 기술에서는, 고자속 밀도와 고주파 저철손을 양립시킬 수 없어, 최근 무방향성 전기 강판에 대한 요구에는 충분히 부응할 수 없다.

[0007] 본 발명은, 상기 과제를 해결하기 위해 이루어진 것으로, 그 목적은, 포화 자속 밀도의 저하나 생산성의 저하를 초래하는 일이 없는, 고자속 밀도-고주파 저철손의 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법을 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명자들은, 상기 과제의 해결에 관해서 예의 검토한 바, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하도록 강판 조식을 제어함으로써, 자속 밀도가 높고, 또한 고주파역에서 저철손인 무방향성 전기 강판이 얻어지는 것을 발견하는 데에 이르렀다. 또한, 어닐링 공정에 있어서의 가열 시의 급열 정지 온도나 중간 유지 시간 등을 적절한 범위로 함으로써, 특정한 방위를 향한 결정의 면적률을 제어할 수 있는 것도 알아내었다.

[0009] 본 발명은 이러한 지건에 의거하여 이루어진 것으로, 이하의 구성을 갖는다.

[0010] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판은, 질량% 로, C : 0.010 % 이하, Si : 1.0 % 이상, 5.0 % 이하, Mn : 0.05 % 이상, 5.0 % 이하, P : 0.1 % 이하, S : 0.01 % 이하, Al : 3.0 % 이하, N : 0.005 % 이하를 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피 불순물이고, 평균 결정 입경이 60 μm 이상 200 μm 이하이고, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족한다.

[0011] 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_C 와 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_D 가 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 을 만족하면 된다.

[0012] 질량% 로, 추가로 Co 를 0.0005 % 이상, 0.0050 % 이하 포함하면 된다.

[0013] 질량% 로, 추가로 Zn 을 0.0005 % 이상, 0.0050 % 이하 포함하면 된다.

[0014] 질량% 로, 추가로 하기 A ~ D 군 중 적어도 1 군의 성분과, Cu : 0 % 이상 0.5 % 이하, Ni : 0 % 이상 0.5 % 이하, W : 0 % 이상 0.05 % 이하, Ti : 0 % 이상 0.005 % 이하, Nb : 0 % 이상 0.005 % 이하, V : 0 % 이상 0.010 % 이하, Ta : 0 % 이상 0.002 % 이하, B : 0 % 이상 0.002 % 이하, Ga : 0 % 이상 0.005 % 이하, Pb : 0 % 이상 0.002 % 이하, As : 0 % 이상 0.05 % 이하 및 Ge : 0 % 이상 0.05 % 이하에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하면 된다.

[0015] · A 군 ; Mo : 0.01 % 이상 0.20 % 이하

[0016] · B 군 ; Cr : 0.1 % 이상 5.0 % 이하

[0017] · C 군 ; Ca : 0.001 % 이상 0.10 % 이하, Mg : 0.001 % 이상 0.10 % 이하 및 REM : 0.001 % 이상 0.10 % 이하 중 어느 1 종 또는 2 종 이상

[0018] · D 군 ; Sn : 0.001 % 이상 0.20 % 이하 및 Sb : 0.001 % 이상 0.20 % 이하 중 어느 1 종 또는 2 종

[0019] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조 방법은, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조 방법으로서, 상기 무방향성 전기 강판의 조성을 갖는 강 소재에 열간 압연을 실시함으로써 열연판을 얻는 열간 압연 공정과, 필요에 따라 상기 열연판에 열연판 어닐링을 실시하는 열연판 어닐링 공정과, 상기 열연판 및 상기 열연판 어닐링이 실시된 상기 열연판에 산세를 실시하는 산세 공정과, 상기 산세가 실시된 상기 열연판에 냉간 압연을 실시함으로써 냉연판을 얻는 냉간 압연 공정과, 상기 냉연판을, 200 °C 에서부터 400 °C 이상 600 °C 이하의 유지 온도 T_1 까지의 평균 승온 속도 V_1 이 50 °C/s 이상, 유지 온도 T_1 에서의 유지 시간 t 가 1 초 이상 10 초 이하, 유지 온도 T_1 에서부터 750 °C 의 평균 승온 속도 V_2 가 15 °C/s 이상인 조건에서, 875 °C 이상

1050 ℃ 이하의 어닐링 온도 T_2 까지 가열하고, 냉각함으로써 냉연 어닐링판을 얻는 어닐링 공정을 포함한다.

[0020] 상기 냉간 압연 공정을 최종 패스의 워크 롤 직경이 150 mmφ 이상, 최종 패스의 압하율이 15 % 이상, 최종 패스의 변형 속도가 100 s^{-1} 이상 1300 s^{-1} 이하인 조건에서 실시하면 된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 포화 자속 밀도의 저하나 생산성의 저하를 초래하는 일이 없는, 고자속 밀도-고주파 저철손의 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다. 따라서, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법을 사용함으로써, 모터의 고효율화를 달성할 수 있다. 타발 시의 변형으로 인한 철손의 상승을 저감시키는 것을 목적으로 하여, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판에 변형 제거 어닐링을 실시해도, 상기 효과는 전혀 영향을 받지 않는다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 본 발명의 상세함을 그 한정 이유와 함께 설명한다.

[0023] <강판의 성분 조성>

[0024] 먼저, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판 (이하, 「강판」이라고 약기함) 및 모터 코어가 갖는 적합한 성분 조성에 대해서 설명한다. 성분 조성에 있어서의 원소 함유량의 단위는 모두 「질량%」이지만, 이하, 특별히 언급되지 않는 한 간단히 「%」로 나타낸다.

[0025] C : 0.010 % 이하

[0026] C 는, 모터 사용 중에 탄화물을 형성하여 자기 시효를 일으키고, 모터의 철손 특성을 열화시키는 유해 원소이다. 자기 시효를 회피하기 위해서는 강판 중에 포함되는 C 는 0.010 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.004 % 이하이다. C 첨가량의 하한은 특별히 규정되지 않지만, 과도하게 C 를 저감시킨 강판은 매우 고가이므로, 0.0001 % 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0027] Si : 1.0 % 이상 5.0 % 이하

[0028] Si 는, 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감시키는 효과가 있으며, 또한 고용 (固溶) 강화에 의해 강의 강도를 높이는 효과가 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Si 첨가량을 1.0 % 이상으로 하면 된다. 한편, Si 첨가량이 5.0 % 를 초과하면, 포화 자속 밀도의 저하에 따라 자속 밀도가 현저하게 저하되기 때문에, 상한을 5.0 % 이하로 한다. 따라서, Si 첨가량은 1.0 % 이상 5.0 % 이하의 범위로 한다. 바람직하게는 1.5 % 이상 4.5 % 미만의 범위, 보다 바람직하게는 2.0 % 이상 4.0 % 미만의 범위이다.

[0029] Mn : 0.05 % 이상 5.0 % 이하

[0030] Mn 은, Si 와 마찬가지로 강의 고유 저항과 강도를 높이는 데에 유용한 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Mn 을 0.05 % 이상 함유할 필요가 있다. 한편, 5.0 % 를 초과하는 첨가는, MnC 의 석출을 촉진시켜 모터의 자기 특성을 열화시키는 경우가 있기 때문에, 상한은 5.0 % 로 한다. 따라서, Mn 첨가량은 0.05 % 이상 5.0 % 이하로 한다. 바람직하게는 0.1 % 이상 3.0 % 이하의 범위이다.

[0031] P : 0.1 % 이하

[0032] P 는, 강의 강도 (경도) 조정에 사용되는 유용한 원소이다. 그러나, P 첨가량이 0.1 % 를 초과하면, 인성이 저하되고, 가공 시에 균열을 발생시키기 쉽기 때문에, 상한은 0.1 % 로 한다. 하한은 특별히 규정되지 않지만, 과도하게 P 를 저감시킨 강판은 매우 고가이므로, 0.001 % 로 한다. P 첨가량은 바람직하게는 0.003 % 이상 0.08 % 이하의 범위이다.

[0033] S : 0.01 % 이하

[0034] S 는, 미세 석출물을 형성하여 모터의 철손 특성에 악영향을 미치는 원소이다. 특히, S 첨가량이 0.01 % 를 초과하면, 그 악영향이 현저해지기 때문에, 상한은 0.01 % 로 한다. 하한은 특별히 규정되지 않지만, 과도하게 S 를 저감시킨 강판은 매우 고가이므로, 0.0001 % 로 한다. S 첨가량은 바람직하게는 0.0003 % 이상 0.0080 % 이하의 범위이다.

[0035] Al : 3.0 % 이하

- [0036] Al 은, Si 와 마찬가지로 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감시키는 효과가 있는 유용한 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는 0.005 % 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.010 % 이상, 더욱 바람직하게는 0.015 % 이상이다. 한편, 3.0 % 를 초과하는 첨가는 강판 표면의 질화를 조장하여, 자기 특성을 열화시키는 경우가 있기 때문에, 상한을 3.0 % 로 한다. 보다 바람직하게는 2.0 % 이하이다.
- [0037] N : 0.0050 % 이하
- [0038] N 은, 미세 석출물을 형성하여 철손 특성에 악영향을 미치는 원소이다. 특히, 첨가량이 0.0050 % 를 초과하면, 그 악영향이 현저해지기 때문에, 상한은 0.0050 % 로 한다. 하한은 특별히 규정되지 않지만, 과도하게 N 을 저감시킨 강판은 매우 고가이므로, 0.0005 % 로 한다. N 첨가량은 바람직하게는 0.0008 % 이상 0.0030 % 이하의 범위이다.
- [0039] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판에서는, 상기 성분 이외의 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물이다. 또한, 요구 특성에 따라, 상기 성분 조성에 추가하여, Co, Zn, Mo, Cr, Ca, Mg, REM, Sn, Sb, Cu, Ni, W, Ti, Nb, V, Ta, B, Ga, Pb, As 및 Ge 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 하기의 범위에서 함유할 수 있다.
- [0040] Co : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하
- [0041] Co 에는, 어닐링 공정에 있어서의 가열 시의 급열 정지 온도나 중간 유지 시간 등을 적절한 범위로 했을 때에, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 를 증가시키고, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 를 저하시키는 효과가 있다. 즉, Co 의 미량 첨가에 의해 $S_A - S_B \geq 0$ 을 안정적으로 실현할 수 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Co 첨가량을 0.0005 % 이상으로 하면 된다. 한편, Co 는 0.0050 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.0050 % 로 한다. 따라서, Co 는 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0042] Zn : 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하
- [0043] Zn 에는, 어닐링 공정에 있어서의 가열 시의 급열 정지 온도나 중간 유지 시간 등을 적절한 범위로 했을 때에, 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_C 를 증가시키고, 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_D 를 저하시키는 효과가 있다. 즉, Zn 의 미량 첨가에 의해 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 을 안정적으로 실현할 수 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Zn 첨가량을 0.0005 % 이상으로 하면 된다. 한편, Zn 은 0.0050 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.0050 % 로 한다. 따라서, Zn 은 0.0005 % 이상 0.0050 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0044] Mo : 0.01 % 이상 0.20 % 이하
- [0045] Mo 에는, 강중에서 미세한 탄화물을 형성하고, 강판의 강도를 높이는 효과가 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Mo 첨가량을 0.01 % 이상으로 하면 된다. 한편, Mo 첨가량이 0.20 % 를 초과하면 과도하게 탄화물이 형성되어 철손이 열화되기 때문에, 상한을 0.20 % 로 한다. 따라서, Mo 는 0.01 % 이상, 0.20 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0046] Cr : 0.1 % 이상 5.0 % 이하
- [0047] Cr 은, 강의 고유 저항을 높이고, 철손을 저감시키는 효과가 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Cr 첨가량을 0.1 % 이상으로 하면 된다. 한편, Cr 첨가량이 0.1 % 를 초과하면, 포화 자속 밀도의 저하에 따라 자속 밀도가 현저하게 저하되기 때문에, 상한을 5.0 % 로 한다. 따라서, Cr 은 0.1 % 이상 5.0 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0048] Ca : 0.001 % 이상 0.10 % 이하
- [0049] Ca 는, 황화물로서 S 를 고정하고, 철손의 저감에 기여하는 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Ca 첨가량은 0.001 % 이상으로 하면 된다. 한편, Ca 첨가량이 0.10 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.10 % 로 한다. 따라서, Ca 는 0.001 % 이상 0.10 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.

- [0050] Mg : 0.001 % 이상 0.10 % 이하
- [0051] Mg 는, 황화물로서 S 를 고정하고, 철손의 저감에 기여하는 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Mg 첨가량은 0.001 % 이상으로 하면 된다. 한편, Mg 첨가량이 0.10 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.10 % 로 한다. 따라서, Mg 는 0.001 % 이상 0.10 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0052] REM : 0.001 % 이상 0.10 % 이하
- [0053] REM 은, 황화물로서 S 를 고정하고, 철손의 저감에 기여하는 원소군이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, REM 첨가량은 0.001 % 이상으로 하면 된다. 한편, REM 첨가량이 0.10 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.10 % 로 한다. 따라서, REM 은 0.001 % 이상 0.10 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0054] Sn : 0.001 % 이상 0.20 % 이하
- [0055] Sn 은, 집합 조직 개선에 의해 자속 밀도 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Sn 첨가량은 0.001 % 이상으로 하면 된다. 한편, Sn 첨가량이 0.20 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.20 % 로 한다. 따라서, Sn 은 0.001 % 이상 0.20 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0056] Sb : 0.001 % 이상 0.20 % 이하
- [0057] Sb 는, 집합 조직 개선에 의해 자속 밀도 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, Sb 첨가량은 0.001 % 이상으로 하면 된다. 한편, Sb 첨가량이 0.20 % 를 초과하면 효과가 포화되고, 불필요하게 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한을 0.20 % 로 한다. 따라서, Sb 는 0.001 % 이상 0.20 % 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0058] Cu : 0 % 이상 0.5 % 이하, Ni : 0 % 이상 0.5 % 이하
- [0059] Cu, Ni 는, 강의 인성을 향상시키는 원소이며, 적절히 첨가할 수 있다. 그러나, 0.5 % 를 초과해서 첨가하더라도 상기 효과가 포화되기 때문에, 첨가량의 상한은 각각 0.5 % 로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 첨가량은 각각 0.01 % 이상 0.1 % 이하의 범위이다.
- [0060] W : 0 % 이상 0.05 % 이하
- [0061] W 는, 미세 탄화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통해서 타발 피로 강도를 향상시키기 위해 적절히 첨가할 수 있다. 한편으로, 첨가량이 상기 범위를 초과하면 과도하게 탄화물이 형성되어 철손이 열화된다. 따라서, W 의 첨가량은 0 % 이상 0.05 % 이하의 범위로 한다. 바람직한 첨가량의 상한은 0.02 % 이다.
- [0062] Ti : 0 % 이상 0.005 % 이하, Nb : 0 % 이상 0.005 % 이하, V : 0 % 이상 0.010 % 이하, Ta : 0 % 이상 0.002 % 이하
- [0063] Ti, Nb, V, Ta 는, 미세한 탄질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통해서 타발 피로 강도를 향상시키기 위해 적절히 첨가할 수 있다. 한편으로, 첨가량이 상기 범위를 초과하면 과도하게 탄질화물이 형성되어 철손이 열화된다. 따라서, Ti, Nb, V, Ta 의 첨가량은 각각, Ti : 0 % 이상 0.005 % 이하, Nb : 0 % 이상 0.005 % 이하, V : 0 % 이상 0.010 % 이하, Ta : 0 % 이상 0.002 % 이하의 범위로 한다. 바람직한 첨가량의 상한은 Ti : 0.002 %, Nb : 0.002 %, V : 0.005 %, Ta : 0.001 % 이다.
- [0064] B : 0 % 이상 0.002 % 이하, Ga : 0 % 이상 0.005 % 이하
- [0065] B, Ga 는, 미세한 질화물을 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통해서 타발 피로 강도를 향상시키기 위해 적절히 첨가할 수 있다. 한편으로, 첨가량이 상기 범위를 초과하면 과도하게 질화물이 형성되어 철손이 열화된다. 따라서, B, Ga 의 첨가량은 각각, B : 0 % 이상 0.002 % 이하, Ga : 0 % 이상 0.005 % 이하의 범위로 한다. 바람직한 첨가량의 상한은 B : 0.001 %, Ga : 0.002 % 이다.
- [0066] Pb : 0 % 이상 0.002 % 이하
- [0067] Pb 는, 미세한 Pb 입자를 형성하고, 석출 강화에 의해 강관 강도를 높이는 것을 통해서 타발 피로 강도를 향상

시키기 위해 적절히 첨가할 수 있다. 한편으로, 첨가량이 상기 범위를 초과하면 과도하게 Pb 입자가 형성되어 철손이 열화된다. 따라서, Pb의 첨가량은 0% 이상 0.002% 이하의 범위로 한다. 바람직한 첨가량의 상한은 0.001%이다.

[0068] As : 0% 이상 0.05% 이하, Ge : 0% 이상 0.05% 이하

[0069] As, Ge는, 집합 조직 개선에 의해 자속 밀도 향상 및 철손 저감에 효과적인 원소이며, 적절히 첨가할 수 있다. 그러나, 0.05%를 초과해서 첨가하더라도, 상기 효과가 포화된다. 그래서, 첨가량의 상한은 각각 0.05%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 첨가량은 각각 0.002% 이상 0.01% 이하의 범위이다.

[0070] <강판의 마이크로 조직>

[0071] 다음으로, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 마이크로 조직에 대해서 설명한다.

[0072] 《평균 결정 입경 d가 60 μm 이상, 200 μm 이하》

[0073] 본 발명자들의 검토에 따르면, 평균 결정 입경 d가 거칠고 크면 철손이 저하된다. 즉, 평균 결정 입경 d를 60 μm 이상으로 함으로써 목표하는 철손 특성을 달성할 수 있다. 한편, 평균 결정 입경 d가 과도하게 거칠고 크면 와전류 손실의 증가로 인해 반대로 철손이 상승한다. 즉, 평균 결정 입경 d를 200 μm 이하로 함으로써 목표하는 철손 특성을 달성할 수 있다.

[0074] 《압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B가 S_A-S_B ≥ 0을 만족한다》

[0075] 본 발명자들의 검토에 따르면, 소정의 성분 조성을 갖는 강에 대해서, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 및 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B가 S_A-S_B ≥ 0을 만족하는 강판 조직으로 함으로써, 강판의 자속 밀도가 향상됨과 함께 철손이 저감되는 것이 판명되었다. 결정 방위의 허용 오차는 15°로 하였다. 즉, S_A-S_B ≥ 0이면, 자속 밀도 및 철손이 HEV, EV 및 FCEV에 적용되는 모터에서 필요해지는 값을 만족하기 때문에, S_A-S_B ≥ 0으로 하였다. 바람직하게는 S_A-S_B ≥ 2%, 보다 바람직하게는 S_A-S_B ≥ 5%이다.

[0076] 《압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_C와 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_D가 5×S_C-S_D ≥ 0을 만족한다》

[0077] 본 발명자들의 검토에 따르면, 상기 강판 조직에 추가하여, 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_C 및 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_D가 5×S_C-S_D ≥ 0을 만족하는 강판 조직으로 함으로써, 자기 특성의 이방성이 저감되는 것이 판명되었다. 이방성의 저감은 모터 효율의 향상에 기여하기 때문에, HEV, EV 및 FCEV에 적용되는 모터용 재료로서 보다 바람직하다. 그래서, 5×S_C > S_D를 만족하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 5×S_C > S_D ≥ 1%이다.

[0078] 다음으로, 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조 방법에 대해서 설명한다.

[0079] 개략적으로는 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조 방법은, 상기 성분 조성을 갖는 강 소재에, 열간 압연, 필요에 따라 열연판 어닐링, 산세, 냉간 압연, 어닐링을 순차적으로 실시함으로써, 상기 서술한 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판을 얻는 방법이다. 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조 방법에 있어서는, 본 발명에서 규정되는 성분, 냉간 압연, 어닐링 조건이 본 발명의 범위 내이면, 그것 이외에는 통상적으로 공지된 수법이어도 상관없다.

[0080] <강 소재>

[0081] 강 소재는, 상기 조성을 갖는 강 소재이면, 특별히 한정되지 않는다. 강 소재의 용제 방법은, 특별히 한정되지 않으며, 전로(轉爐) 또는 전기로 등을 사용한 공지된 용제 방법을 채용할 수 있다. 생산성 등의 문제로 인해, 용제 후에, 연속 주조법에 의해 슬래브(강 소재)로 하는 것이 바람직하지만, 조괴-분괴 압연법 또는 박(薄) 슬래브 연속 주조법 등의 공지된 주조 방법에 의해 슬래브로 해도 된다.

- [0082] <열간 압연 공정>
- [0083] 열간 압연 공정은, 상기 조성을 갖는 강 소재에 열간 압연을 실시함으로써 열연관을 얻는 공정이다. 열간 압연 공정은, 상기 조성을 갖는 강 소재를 가열하고, 열간 압연을 실시하여 소정 치수의 열연관이 얻어지는 공정이면 특별히 한정되지 않으며, 상용의 열간 압연 공정을 적용할 수 있다.
- [0084] 상용의 열간 압연 공정으로는, 예를 들어, 강 소재를, 1000 °C 이상 1200 °C 이하의 온도로 가열하고, 가열된 강 소재에 800 °C 이상 950 °C 이하의 마무리 압연 출측 온도에서 열간 압연을 실시하고, 열간 압연이 종료된 후, 적절한 압연 후 냉각 (예를 들어, 450 °C 이상 950 °C 이하의 온도역을, 20 °C/s 이상 100 °C/s 이하의 평균 냉각 속도로 냉각한다) 을 실시하고, 400 °C 이상 700 °C 이하의 권취 온도에서 권취하고, 소정 치수 형상의 열연관으로 하는 열간 압연 공정을 예시할 수 있다.
- [0085] <열연관 어닐링 공정>
- [0086] 열연관 어닐링 공정은, 상기 열연관을 가열하며 고온 유지함으로써, 열연관을 노멀라이징하는 공정이다. 열연관 어닐링 공정은, 특별히 한정되지 않으며, 상용의 열연관 어닐링 공정을 적용할 수 있다. 이 공정은 필수가 아니며 생략할 수도 있다.
- [0087] <산세 공정>
- [0088] 산세 공정은, 상기 열연관 어닐링 공정 후의 강관, 혹은 열연관 어닐링 공정을 생략하는 경우에는 상기 열연관에 산세를 실시하는 공정이다. 산세 공정은, 산세 후의 강관에 냉간 압연을 실시할 수 있을 정도로 산세할 수 있는 공정이면 특별히 한정되지 않으며, 예를 들어 염산 또는 황산 등을 사용하는 상용의 산세 공정을 적용할 수 있다. 이 산세 공정은, 상기 열연관 어닐링 공정과 동일 라인 내에서 연속적으로 실시해도 되고, 별도 라인에서 실시해도 된다.
- [0089] <냉간 압연 공정>
- [0090] 냉간 압연 공정은, 산세 공정을 거친 산세 판에 냉간 압연을 실시하는 공정이다. 냉간 압연 공정은, 산세 후의 강관을 원하는 판두께까지 압하할 수 있는 공정이면 특별히 한정되지 않으며, 상용의 냉간 압연 공정을 적용할 수 있다. 또, 필요에 따라 중간 어닐링을 사이에 둔 2 회 이상의 냉간 압연에 의해 소정 치수의 냉연관으로 해도 되고, 이 경우의 중간 어닐링 조건은 특별히 한정되지 않으며, 상용의 중간 어닐링 공정을 적용할 수 있다. 바람직하게는 최종 패스의 워크 롤 직경 D 가 150 mmφ 이상, 최종 패스의 압하율 r 이 15 % 이상, 및 최종 패스의 변형 속도 ($\dot{\epsilon}'_m$) 가 100 s^{-1} 이상 1300 s^{-1} 이하인 조건에서 냉간 압연을 실시함으로써 냉연관을 얻는 냉간 압연 공정이다.
- [0091] (최종 패스의 워크 롤 직경 D)
- [0092] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서 최종 패스의 워크 롤 직경 D 는 150 mmφ 이상으로 한다. 최종 패스의 워크 롤 직경 D 를 150 mmφ 이상으로 한 이유는, $5 \times S_c - S_b \geq 0$ 으로 하여, 원하는 강관 조직을 얻기 위함이다. 최종 패스의 워크 롤 직경 D 가 150 mmφ 보다 작은 경우, 평면 압축의 상태에서 멀리 떨어지게 되기 때문에, 워크 롤 직경이 큰 경우와 비교하여 결정립 단위에서의 전단 변형의 불균일성이 증강된다. 계속되는 어닐링 공정에 있어서의 핵 생성 및 입자 성장이 특정한 방위의 영역에 집중되기 쉬워지기 때문에, 압연 45° 및 -45° 방향으로 <100> 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_c 가 감소하고, 같은 방향으로 <111> 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_b 가 증가한다. 결과적으로 $5 \times S_c - S_b \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 한편, 최종 패스의 워크 롤 직경 D 가 150 mmφ 이상인 경우에는, $5 \times S_c - S_b \geq 0$ 을 만족하고, 원하는 강관 조직이 얻어진다. 최종 패스의 워크 롤 직경 D 는, 바람직하게는 170 mmφ 이상, 더욱 바람직하게는 200 mmφ 이상이다. 상한은 특별히 설정할 필요는 없지만, 과도하게 롤 직경이 큰 경우에는 압연 하중이 증대하기 때문에, 700 mmφ 로 하는 것이 바람직하다.
- [0093] (최종 패스의 압하율 r)
- [0094] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서 최종 패스의 압하율 r 은 15 % 이상인 것이 바람직하다. 최종 패스의 압하율 r 을 15 % 이상으로 한 이유는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과를 얻고, 원하는 강관 조직을 얻기 쉽기 때문이다. 최종 패스의 압하율 r 이 15 % 미만인 경우, 압하율이 지나치게 낮기 때문에, 어닐링 후의 조직을 제어하는 것이 어려워진다. 한편, 최종 패스의 압하율 r 이 15 % 이상인

경우에는, 일련의 냉간 압연 제어의 효과가 발휘된다. 그 결과, 원하는 강판 조직을 얻기 쉬워진다. 최종 패스의 압하율 r 은, 바람직하게는 20 % 이상이다. 본 발명에 있어서 최종 패스의 압하율 r 의 상한을 규정할 필요는 없지만, 지나치게 높은 압하율은 다대한 장치 능력을 요구하며, 또한 냉연관의 형상 제어도 어려워지므로, 통상적으로 50 % 이하이다.

[0095] (최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m))

[0096] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조에 있어서 최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m) 는 100 s^{-1} 이상 1300 s^{-1} 이하인 것이 바람직하다. 최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m) 를 100 s^{-1} 이상 1300 s^{-1} 이하로 한 이유는, 압연 중의 파단을 억제하면서 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 으로 하여, 원하는 강판 조직을 얻기 위함이다. 최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m) 가 100 s^{-1} 미만인 경우에는, 냉연관의 결정립 단위에서의 전단 변형의 불균일성이 증강되고, 계속되는 어닐링 공정에 있어서의 핵 생성 및 입자 성장이 특정한 방위의 영역에 집중되기 쉬워지기 때문에, 압연 45° 및 -45° 방향으로 <100> 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_C 가 감소하고, 같은 방향으로 <111> 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_D 가 증가한다. 결과적으로 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 이유는 반드시 명확하지는 않지만, 본 발명자들은, 변형 속도가 낮음으로써 유동 응력이 저하되고, 변형되기 쉬운 결정 방위의 결정립에 변형이 집중되기 쉬워져, 변형 분포가 불균일화되기 때문으로 추정하고 있다. 한편, 최종 패스의 변형 속도가 1300 s^{-1} 초과인 경우에는, 유동 응력이 과도하게 증대하여, 압연 중의 취성 파단이 발생하기 쉬워진다. 최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m) 가 100 s^{-1} 이상 1300 s^{-1} 이하인 경우에는, 압연 중의 파단을 억제하면서 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 을 만족한다. 최종 패스의 변형 속도 (ϵ'_m) 는, 바람직하게는 150 s^{-1} 이상이고, 바람직하게는 1300 s^{-1} 이하이다. 본 발명에 있어서의 냉간 압연 시의 각 패스에 있어서의 변형 속도 (ϵ'_m) 는, 이하의 수학식 (1) 에 나타내는 Ekelund 의 근사식을 이용하여 도출하였다.

수학식 1

$$\epsilon'_m \approx \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r} \quad \dots (1)$$

[0098] 여기서, v_R 은 롤 주속도 (mm/s), R' 는 롤 반경 (mm), h_1 은 롤 입측 판두께 (mm), r 은 압하율 (%)이다.

[0099] <어닐링 공정>

[0100] 어닐링 공정은, 냉간 압연 공정을 거친 냉연관에 어닐링을 실시하는 공정이다. 보다 상세하게는, 냉간 압연 공정을 거친 냉연관을 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서부터 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 유지 온도 T_1 까지의 평균 승온 속도 V_1 이 $50 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 이상, 유지 온도 T_1 에서의 유지 시간이 1 초 이상 10 초 이하, 유지 온도 T_1 에서부터 $750 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 평균 승온 속도 V_2 가 $15 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 이상인 조건에서, $875 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상 $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 어닐링 온도 T_2 까지 가열하고, 냉각함으로써 냉연 어닐링관을 얻는 어닐링 공정이다. 어닐링 공정 후에 냉연 어닐링관의 표면에 절연 코팅을 실시하지만, 이 방법 및 코팅 종류는 특별히 한정되지 않으며, 상용의 절연 코팅 공정을 적용할 수 있다.

[0101] (유지 온도 T_1)

[0102] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강판의 제조에 있어서 가열 승온 중의 유지 온도 T_1 은 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 한다. 유지 온도 T_1 을 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 한 이유는, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가, $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하는 범위로 하여, 원하는 강판 조직을 얻기 위함이다. 유지 온도 T_1 이 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 미만인 경우에는, 온도가 지나치게 낮기 때문에 유지의 효과가 얻어지지 않고 S_B 가 높아져 버려, 결과

적으로 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 한편, 유지 온도 T_1 이 600 °C 이상인 경우에는, 면적률의 합 S_B 뿐만 아니라 면적률의 합 S_A 도 저하되어 버리기 때문에, 결과적으로 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다.

[0103] (200 °C 에서부터 유지 온도 T_1 까지의 평균 승온 속도 V_1)

[0104] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서 200 °C 에서부터 유지 온도 T_1 까지의 평균 승온 속도 V_1 은 50 °C/s 이상으로 한다. 평균 승온 속도 V_1 을 50 °C/s 이상으로 한 이유는, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가, $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하는 범위로 하여, 원하는 강관 조직을 얻기 위함이다. 평균 승온 속도 V_1 이 상기 속도 미만인 경우에는, 유지 온도 T_1 에서의 유지 이전에 회복이 발생해 버리기 때문에, 회복 거동을 충분히 제어할 수 없고, S_B 및 S_A 가 모두 저하되어, 결과적으로 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 200 °C 에서부터 유지 온도 T_1 까지의 평균 승온 속도 V_1 은, 바람직하게는 70 °C/s 이상, 보다 바람직하게는 100 °C/s 이상이다. 상한은 특별히 설정할 필요는 없지만, 과도하게 승온 속도가 높으면 온도 불균일을 발생시키기 쉬우므로 500 °C/s 로 하는 것이 바람직하다.

[0105] (유지 온도 T_1 에서의 유지 시간 t)

[0106] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서, 유지 온도 T_1 에서의 유지 시간 t 는 1 초 이상 10 초 이하로 한다. 유지 시간 t 를 1 초 이상 10 초 이하로 한 이유는, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가, $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하는 범위로 하여, 원하는 강관 조직을 얻기 위함이다. 유지 시간 t 가 1 초 미만인 경우, 조직의 회복이 충분히 발생하지 않기 때문에 S_B 가 높아져 버려, 결과적으로 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 한편, 유지 시간 t 가 10 초 초과인 경우에는, 과도하게 조직의 회복이 발생하여, S_B 뿐만 아니라 S_A 도 저하되어 버리기 때문에, 결과적으로 $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다.

[0107] (유지 온도 T_1 에서부터 750 °C 까지의 평균 승온 속도 V_2)

[0108] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서, 유지 온도 T_1 에서부터 750 °C 까지의 평균 승온 속도 V_2 는 15 °C/s 이상으로 한다. 평균 승온 속도 V_2 를 15 °C/s 이상으로 한 이유는, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <100> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_A 와 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 면적률의 합 S_B 가, $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족하는 범위로 하여, 원하는 강관 조직을 얻기 위함이다. 평균 승온 속도 V_2 가 15 °C/s 미만인 경우, 재결정핵의 생성 위치의 선택성이 강해지고, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 <111> 이 향한 결정립의 생성 빈도가 높아지기 때문에 S_B 가 증가한다. 결과적으로, $S_A - S_B \geq 0$ 을 만족할 수 없다. 평균 승온 속도 V_2 는, 바람직하게는 20 °C/s 이상, 보다 바람직하게는 30 °C/s 이상이다. 상한은 특별히 설정할 필요는 없지만, 과도하게 승온 속도가 높으면 온도 불균일을 발생시키기 쉬우므로 200 °C/s로 하는 것이 바람직하다.

[0109] (어닐링 온도 T_2)

[0110] 본 발명에 관련된 무방향성 전기 강관의 제조에 있어서 어닐링 온도 T_2 는 875 °C 이상 1050 °C 이하로 한다. 어닐링 온도 T_2 를 875 °C 이상 1050 °C 이하로 한 이유는, 평균 결정 입경을 60 μm 이상으로 하여, 원하는 강관 조직을 얻기 위함이다. 어닐링 온도 T_2 가 875 °C 미만인 경우, 재결정립이 충분히 입자 성장하지 못하여, 평균 결정 입경을 60 μm 이상으로 할 수 없다. 어닐링 온도 T_2 가 875 °C 이상인 경우에는, 충분한 입자 성장이 발생하여 평균 결정 입경을 60 μm 이상으로 할 수 있다. 어닐링 온도 T_2 는 바람직하게는 900 °C 이상이다. 한편, 어닐링 온도 T_2 가 1050 °C 초과인 경우에는, 재결정립이 과도하게 성장하여, 평균 결정 입경을 200 μm 이하로 할 수 없다. 따라서, 어닐링 온도 T_2 는 1050 °C 이하로 한다. 바람직하게는

1025 ℃ 이하이다. 상기 어닐링 온도까지 가열한 후 냉각하지만, 이 냉각은, 냉각 불균일 방지의 관점에서 50 ℃/s 이하의 속도로 실시하는 것이 바람직하다.

[0111] 실시예

[0112] 이하, 실시예를 들어 본 발명을 구체적으로 설명한다. 다만, 본 발명은 이것들에 한정되지 않는다.

[0113] <냉연 어닐링판의 제조>

[0114] 표 1-1, 1-2 에 나타내는 성분 조성을 갖는 용강을 통상적으로 공지된 수법에 의해 용제하고, 연속 주조하여 두께 230 mm 의 슬래브 (강 소재) 로 하였다. 얻어진 슬래브에 열간 압연을 실시함으로써, 판두께 2.0 mm 의 열연판을 얻었다. 얻어진 열연판에 공지된 수법에 의해 열연판 어닐링 및 산세를 실시하고, 이어서 표 2-1, 2-2 에 나타내는 판두께까지 냉간 압연을 실시하여 냉연판을 얻었다. 얻어진 냉연판에 표 2-1, 2-2 에 나타내는 조건에서 어닐링을 실시하고, 이어서 공지된 수법에 의해 코팅을 실시하여, 냉연 어닐링판 (무방향성 전기강판) 을 얻었다.

[0115] [표 1-1]

강종	성분 조성 [질량 %]														비고	
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM		Sn
A	0.0016	3.5	0.3	0.004	0.0029	0.6	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.0038	2.4	1.2	0.011	0.0033	1.2	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0.0035	3.5	0.2	0.019	0.0017	1.1	0.0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0.0034	2.1	1.3	0.015	0.0027	0.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0.0033	2.2	0.6	0.005	0.0033	1.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.0038	2.7	2.7	0.008	0.0021	0.5	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	0.0027	2.9	1.2	0.006	0.0031	1.9	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0.0009	2.3	1.2	0.011	0.0024	1.4	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	0.0029	2.9	1.0	0.012	0.0037	1.2	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	0.0015	3.9	0.7	0.013	0.0008	1.5	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	0.0047	2.2	1.3	0.009	0.0021	1.3	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	0.0017	0.8	0.8	0.013	0.0007	1.5	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	0.0016	1.2	0.8	0.012	0.0009	1.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	0.0013	1.5	0.7	0.011	0.0009	1.6	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	0.0015	4.8	0.7	0.015	0.0005	1.5	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0.0017	5.2	0.7	0.014	0.0005	1.4	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q	0.0035	2.1	0.02	0.017	0.0028	0.9	0.0023	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	0.0036	2.1	0.08	0.013	0.0023	0.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0.0035	2.0	3.4	0.013	0.0030	0.8	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	0.0034	2.1	5.1	0.015	0.0023	1.0	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	0.0031	3.0	1.0	0.011	0.0033	0.003	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	0.0029	3.0	1.0	0.010	0.0038	0.012	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	0.0028	2.8	1.0	0.014	0.0038	2.2	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X	0.0030	2.9	1.1	0.012	0.0039	3.4	0.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	0.0035	3.4	0.3	0.020	0.0018	1.1	0.0013	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	0.0037	3.5	0.2	0.017	0.0014	1.1	0.0016	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-
AA	0.0037	3.4	0.2	0.018	0.0020	1.0	0.0014	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-
AB	0.0033	3.6	0.2	0.019	0.0016	1.1	0.0013	-	0.0029	-	-	-	-	-	-	-
AC	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0031	0.6	0.0023	-	0.0035	-	-	-	-	-	-	-
AD	0.0015	3.5	0.3	0.005	0.0028	0.6	0.0023	-	-	0.14	-	-	-	-	-	-
AE	0.0017	3.6	0.4	0.005	0.0024	0.5	0.0023	-	-	-	0.004	-	-	-	-	-
AF	0.0014	3.5	0.2	0.003	0.0030	0.6	0.0020	-	-	-	-	0.003	-	-	-	-
AG	0.0018	3.5	0.3	0.002	0.0029	0.6	0.0023	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-
AH	0.0017	3.5	0.4	0.006	0.0031	0.7	0.0022	-	-	-	-	-	-	0.032	-	-
AI	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0033	0.6	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	0.054

[0116]

[0117]

[표 1-2]

강종	성분 조성 [질량 %]																				비고								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	Cu	Ni	W	Ti		Nb	V	B	Cs	Pb	As	Ge	
AJ	0.0034	3.4	0.3	0.021	0.0013	1.0	0.0013	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AK	0.0037	3.4	0.2	0.017	0.0021	1.0	0.0017	—	0.0046	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AL	0.0014	3.4	0.4	0.003	0.0031	0.6	0.0023	—	—	0.013	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AM	0.0015	3.5	0.4	0.004	0.0030	0.6	0.0021	—	—	—	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AN	0.0017	3.5	0.2	0.005	0.0030	0.6	0.0023	—	—	—	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AO	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.5	0.0022	—	—	—	—	0.096	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AP	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.6	0.0023	—	—	—	—	—	0.093	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AQ	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0028	0.7	0.0020	—	—	—	—	—	—	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AR	0.0018	3.6	0.3	0.005	0.0033	0.7	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AS	0.0040	2.3	1.2	0.011	0.0031	1.2	0.0019	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AT	0.0038	2.5	1.2	0.011	0.0036	1.3	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AU	0.0037	2.5	1.2	0.012	0.0037	1.2	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AV	0.0037	2.5	1.1	0.013	0.0030	1.2	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AW	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0030	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AX	0.0034	2.2	0.7	0.006	0.0029	1.8	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
AY	0.0035	2.1	0.5	0.005	0.0036	1.8	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0016	—	—	—	—	—	—	—	—	
AZ	0.0032	2.1	0.5	0.005	0.0033	1.9	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	—	—	—	—	—	
BA	0.0031	2.2	0.5	0.003	0.0029	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0007	—	—	—	—	—	—	—	
BB	0.0032	2.2	0.5	0.005	0.0029	1.7	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0045	—	—	—	—	—	—	—	
BC	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0032	1.7	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0011	—	—	—	—	—	—	
BD	0.0032	2.2	0.5	0.007	0.0038	1.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0095	—	—	—	—	—	—	
BE	0.0034	2.2	0.6	0.003	0.0031	1.8	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0004	—	—	—	—	—	
BF	0.0032	2.1	0.7	0.005	0.0030	1.8	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
BG	0.0039	2.7	2.7	0.007	0.0024	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	—	—	—	—	
BH	0.0038	2.7	2.6	0.006	0.0016	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
BI	0.0039	2.7	2.7	0.010	0.0020	0.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0018	—	—	—	—	—	
BJ	0.0039	2.6	2.6	0.008	0.0022	0.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	—	—	
BK	0.0040	2.7	2.6	0.010	0.0022	0.4	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	—	
BL	0.0040	2.6	2.6	0.007	0.0020	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	—	
BM	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0026	2.0	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0019	—	—	
BN	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0031	1.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—	
BO	0.0029	2.9	1.1	0.004	0.0036	1.9	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043	
BP	0.0030	3.0	1.3	0.009	0.0036	2.0	0.0027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.002	
																													0.046

[0118]

[0119] [표 2-1]

No.	강종	판 두께 [mm]	냉간 압연 공정				어닐링 공정				비고	
			최종 패스의 워크롤 직경D [mm φ]	최종 패스의 압연율[%]	최종 패스의 변형 속도 [s ⁻¹]	압연 종의 압연 파단	유지 온도 T ₁ [°C]	승온 속도 V ₁ [°C/s]	유지 시간 t[s]	승온 속도 V ₂ [°C/s]		어닐링 온도 T ₂ [°C]
1	A	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	발명예
2	B	0.25	330	23	860	-	480	460	3	53	990	발명예
3	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	발명예
4	D	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	발명예
5	E	0.25	360	23	200	-	420	480	2	55	940	발명예
6	F	0.25	340	25	190	-	590	320	9	49	1000	발명예
7	G	0.25	290	29	700	-	440	310	5	37	1010	발명예
8	H	0.25	360	24	510	-	420	350	3	33	960	발명예
9	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	발명예
10	J	0.25	210	34	710	-	510	190	3	47	910	발명예
11	K	0.25	360	24	510	-	420	340	3	34	960	발명예
12	L	0.25	210	34	710	-	510	190	3	47	910	비교예
13	M	0.25	210	34	710	-	510	200	3	47	910	발명예
14	N	0.25	210	34	710	-	510	190	3	49	910	발명예
15	O	0.25	210	34	710	-	510	180	3	49	910	발명예
16	P	0.25	210	34	710	-	510	190	3	46	910	비교예
17	Q	0.25	390	27	260	-	470	120	7	30	1010	비교예
18	R	0.25	390	27	260	-	470	120	7	32	1010	발명예
19	S	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	발명예
20	T	0.25	390	27	260	-	470	130	7	33	1010	비교예
21	U	0.25	200	33	690	-	500	370	3	52	990	비교예
22	V	0.25	200	33	690	-	500	400	3	56	990	발명예
23	W	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	발명예
24	X	0.25	200	33	690	-	500	360	3	55	990	비교예
25	Y	0.25	360	31	300	-	590	130	9	32	920	발명예
26	Z	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	920	발명예
27	AA	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	발명예
28	AB	0.25	360	31	300	-	590	120	9	31	920	발명예
29	AC	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	발명예
30	AD	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	1000	발명예
31	AE	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	발명예
32	AF	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	1000	발명예
33	AG	0.25	290	28	780	-	490	270	2	35	1000	발명예
34	AH	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	발명예
35	AI	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	발명예
36	J	0.25	210	34	710	-	630	190	3	46	910	비교예
37	J	0.25	210	34	710	-	380	190	3	47	910	비교예
38	D	0.25	390	27	260	-	470	30	7	31	1010	비교예
39	D	0.25	390	27	260	-	470	60	7	31	1010	발명예
40	D	0.25	390	27	260	-	470	90	7	32	1010	발명예
41	G	0.25	290	29	700	-	440	300	0	37	1010	비교예
42	G	0.25	290	29	700	-	440	300	15	38	1010	비교예
43	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	8	990	비교예
44	I	0.25	200	33	690	-	500	400	3	17	990	발명예
45	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	24	990	발명예
46	C	0.25	360	31	300	-	500	120	3	33	860	비교예
47	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	880	발명예
48	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	34	1040	발명예
49	C	0.25	360	31	300	-	590	130	9	33	1070	비교예
50	A	0.25	110	28	780	-	490	270	2	32	1000	발명예
51	A	0.25	160	28	780	-	490	280	2	35	1000	발명예
52	A	0.25	180	28	780	-	490	270	2	33	1000	발명예
53	A	0.25	290	9	780	-	490	270	2	35	1000	발명예
54	A	0.25	290	17	780	-	490	280	2	34	1000	발명예
55	A	0.25	290	28	60	-	490	280	2	34	1000	발명예
56	A	0.25	290	28	120	-	490	260	2	33	1000	발명예
57	A	0.25	290	28	1400	일부 파단	490	260	2	34	1000	발명예

주) 하선부는 발명 범위 밖인 것을 나타낸다

[0120]

[0121] [표 2-2]

No.	강종	판두께 [mm]	냉간 압연 공정			어닐링 공정					비고
			최종 패스의 워킹 스트레칭률 [%]	최종 패스의 최종 패스의 변형률 [%]	최종 패스의 변형 속도 [s ⁻¹]	유지 온도 T ₁ [°C]	승온 속도 V ₁ [°C/s]	유지 시간 t [s]	유지 온도 T ₂ [°C]	승온 속도 V ₂ [°C/s]	
58	AJ	0.25	360	31	300	590	120	9	31	920	발광예
59	AK	0.25	360	31	300	590	120	9	32	920	발광예
60	AL	0.25	290	28	780	490	270	2	33	1000	발광예
61	AM	0.25	290	28	780	490	260	2	35	1000	발광예
62	AN	0.25	290	28	780	490	260	2	34	1000	발광예
63	AO	0.25	290	28	780	490	260	2	33	1000	발광예
64	AP	0.25	290	28	780	490	280	2	35	1000	발광예
65	AQ	0.25	290	28	780	490	280	2	33	1000	발광예
66	AR	0.25	290	28	780	490	260	2	34	1000	발광예
67	AS	0.25	330	23	860	480	470	3	53	990	발광예
68	AT	0.25	330	23	860	480	460	3	52	990	발광예
69	AU	0.25	330	23	860	480	480	3	53	990	발광예
70	AV	0.25	330	23	860	480	450	3	54	990	발광예
71	AW	0.25	360	23	200	420	480	2	57	940	발광예
72	AX	0.25	360	23	200	420	480	2	57	940	발광예
73	AY	0.25	360	23	200	420	470	2	57	940	발광예
74	AZ	0.25	360	23	200	420	470	2	54	940	발광예
75	BA	0.25	360	23	200	420	490	2	54	940	발광예
76	BB	0.25	360	23	200	420	460	2	55	940	발광예
77	BC	0.25	360	23	200	420	490	2	53	940	발광예
78	BD	0.25	360	23	200	420	490	2	55	940	발광예
79	BE	0.25	360	23	200	420	460	2	55	940	발광예
80	BF	0.25	360	23	200	420	500	2	52	940	발광예
81	BG	0.25	340	25	190	590	320	9	50	1000	발광예
82	BH	0.25	340	25	190	590	330	9	50	1000	발광예
83	BI	0.25	340	25	190	590	320	9	48	1000	발광예
84	BJ	0.25	340	25	190	590	330	9	51	1000	발광예
85	BK	0.25	340	25	190	590	330	9	48	1000	발광예
86	BL	0.25	340	25	190	590	320	9	51	1000	발광예
87	BM	0.25	290	29	700	440	320	5	36	1010	발광예
88	BN	0.25	290	29	700	440	290	5	38	1010	발광예
89	BO	0.25	290	29	700	440	300	5	37	1010	발광예
90	BP	0.25	290	29	700	440	320	5	39	1010	발광예

[0122]

[0123] < 평가 >

[0124] << 조직 관찰 >>

[0125] 얻어진 냉연 어닐링판으로부터 조직 관찰용의 시험편을 채취하였다. 이어서, 채취한 시험편을, 압연 방향에 수직인 면 (RD 면) 을 관찰면으로 하여 수지 매립하고, 콜로이드알 실리카 연마에 의해 경면화하였다. 경면화된 관찰면에 대해, 전자선 후방 산란 회절 (EBSD) 측정을 실시하여, 국소 방위 데이터를 얻었다. 이 때, 스텝 사이즈 : 5 μm, 측정 영역 : 50 mm² 이상으로 하였다. 측정 영역의 넓이는, 계속되는 해석에 있어서 결정립의 수가 5000 개 이상이 되도록 적절히 조정하였다. 측정은 전역을 1 회의 스캔으로 실시해도 되고, Combo Scan 기능을 이용하여 복수 회의 스캔 결과를 결합해도 된다. 해석 소프트웨어 : OIM Analysis 8 을 사용하여, 얻어진 국소 방위 데이터의 해석을 행하였다. 데이터 해석에 앞서, 시료 좌표계의 A1 축//압연 방향, A2 축//압연 직각 방향, A3 축//판면 방향이 되도록 좌표 회전 처리를 실시하였다. 또, 해석 소프트웨어의 Partition Properties 에서 Formula : GCI[&5.000,2,0.000,0,0,8.0,1,1,1.0,0;] > 0.1 의 조건으로 입자 평균 데이터점의 선별을 실시하고, 해석에 부적합한 데이터점을 제외하였다. 이 때, 유효한 데이터점은 98 % 이상이었다.

[0126] 이상과 같이 조정된 데이터에 대해, 결정립계의 정의로서 Grain Tolerance Angle 을 5° , Minimum Grain Size 를 2, Minimum Anti Grain Size 를 2, Multiple Rows Requirement 및 Anti-Grain Multiple Rows Requirement 는 모두 OFF 로 하고, 이하의 해석을 실시하였다. 전처리를 실시한 데이터에 대해, Grain Size (diameter) 기능을 사용하여 구한 Area Average 의 값을 평균 결정 입경으로 하였다. 또, Crystal Direction 기능을

이용하여, 시료 좌표계의 $[A1, A2, A3] = [100], [010], [110], [1-10]$ 의 4 방향에 대해 $\langle 100 \rangle$ 및 $\langle 111 \rangle$ 이 배향되어 있는 결정립의 면적률을 구하였다. 면적률 산출 시의 Tolerance Angle 은 15° 로 하였다. 시료 좌표계의 $[u'v'w']$ 방향으로 $\langle uvw \rangle$ 가 배향되어 있는 결정립의 면적률을 $S_{\langle uvw \rangle // [u'v'w']}$ 로 표기하면, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 $\langle 100 \rangle$ 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_A 는, $S_A = S_{\langle 100 \rangle // [100]} + S_{\langle 100 \rangle // [010]}$ 으로 구할 수 있다. $\langle 100 \rangle // [100]$ 과 $\langle 100 \rangle // [010]$ 을 모두 만족하는 방위의 면적률은 2 중으로 카운트하는 것으로 한다. 이후에 대해서도 마찬가지이다. 동일하게, 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 $\langle 111 \rangle$ 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_B 는, $S_B = S_{\langle 111 \rangle // [100]} + S_{\langle 111 \rangle // [010]}$, 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 $\langle 100 \rangle$ 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_C 는, $S_C = S_{\langle 100 \rangle // [110]} + S_{\langle 100 \rangle // [1-10]}$, 압연 45° 방향 및 압연 -45° 방향으로 $\langle 111 \rangle$ 이 배향된 결정립의 면적률의 합 S_D 는 $S_D = S_{\langle 111 \rangle // [110]} + S_{\langle 111 \rangle // [1-10]}$ 으로 구하였다.

[0127] 《자기 특성 평가》

[0128] 얻어진 어닐링판으로부터, 길이 방향을 압연 방향 또는 압연 직각 방향으로 하는, 폭 30 mm, 길이 280 mm 의 자기 측정용 시험편 맞을 채취하고, JIS C2550-1 : 2011 에 준거하여, 엡스타인법으로 냉연 어닐링판의 자기 특성을 평가하였다. 평가 항목은, 포화 자속 밀도 : B_s , 자계의 강도 5000 A/m 에서의 자속 밀도 : B_{50} , 및 철손 $W_{10}/800$ 으로 하였다. 또, 자기 특성의 이방성을 조사할 목적으로, 길이 방향을 압연 45° 방향 및 압연 -45° 로 하는, 폭 30 mm, 길이 280 mm 의 자기 측정용 시험편 맞을 채취하고, JIS C2550-1 : 2011 에 준거하여, 엡스타인법으로 냉연 어닐링판의 자기 특성을 평가하였다. 평가 항목은, 자계의 강도 5000 A/m 에서의 자속 밀도 : $B_{50_45^\circ}$ 로 하였다. $B_{50} \geq 1.60(T)$ 이며 또한 $B_{50}/B_s \geq 0.82$ 의 경우에 자속 밀도가 양호하다고 평가하고, $W_{10}/800 \leq 40(W/kg)$ 의 경우에 고주파 철손 특성이 양호하다고 평가하였다. $\Delta B_{50} = B_{50} - B_{50_45^\circ} \leq 0.120(T)$ 의 경우에 자기 특성의 이방성이 작다고 평가하였다.

[0129] [표 3-1]

No.	강판 조직							특성					비고	
	평균 입경 d (μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	자속 밀도 Bs(T)	자속 밀도 B50(T)	B50/Bs	철손 W _{10/30} (W/kg)	자속 밀도 B50.45° (T)		이방성 ΔB50(T)
1	103	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	30.2	1.67	0.048	발명예
2	124	13	6	6	25	7	5	1.98	1.71	0.86	29.7	1.66	0.047	발명예
3	69	17	4	7	27	13	8	1.95	1.73	0.89	28.0	1.69	0.042	발명예
4	104	19	6	3	11	13	4	2.00	1.76	0.88	31.5	1.71	0.053	발명예
5	106	20	6	4	11	14	9	1.97	1.74	0.88	29.1	1.71	0.034	발명예
6	126	17	8	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	발명예
7	124	16	5	4	13	11	7	1.92	1.69	0.88	25.1	1.65	0.038	발명예
8	86	16	5	6	26	11	4	1.97	1.71	0.87	29.0	1.66	0.047	발명예
9	90	19	6	7	28	13	7	1.96	1.70	0.87	28.3	1.66	0.044	발명예
10	100	13	6	5	16	7	9	1.91	1.65	0.86	25.0	1.62	0.032	발명예
11	84	15	5	5	21	10	4	1.98	1.70	0.86	29.6	1.65	0.053	발명예
12	66	12	5	6	21	7	9	2.04	1.76	0.86	47.7	1.73	0.030	비교예
13	90	13	6	4	12	7	8	2.03	1.78	0.88	38.0	1.74	0.038	발명예
14	99	12	5	5	17	7	8	2.01	1.75	0.87	36.3	1.71	0.041	발명예
15	96	13	6	5	16	7	9	1.87	1.62	0.87	22.7	1.59	0.032	발명예
16	91	13	6	4	12	7	8	1.86	1.59	0.86	22.3	1.55	0.038	비교예
17	112	19	6	3	11	13	4	2.03	1.75	0.86	46.9	1.71	0.042	비교예
18	132	19	6	3	11	13	4	2.03	1.79	0.88	36.0	1.74	0.048	발명예
19	120	21	7	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	35.4	1.64	0.043	발명예
20	95	19	6	3	11	13	4	1.91	1.67	0.87	42.1	1.63	0.041	비교예
21	96	19	7	6	23	12	7	2.01	1.74	0.87	43.3	1.70	0.038	비교예
22	104	17	5	7	28	12	7	2.01	1.77	0.88	36.1	1.73	0.039	발명예
23	136	19	6	7	28	13	7	1.92	1.67	0.87	37.6	1.63	0.042	발명예
24	93	20	6	7	27	14	8	1.86	1.65	0.89	40.7	1.61	0.038	비교예
25	97	19	4	3	11	15	4	1.96	1.76	0.90	27.5	1.72	0.044	발명예
26	106	21	4	3	11	17	4	1.96	1.78	0.91	27.0	1.74	0.043	발명예
27	108	18	4	5	13	14	12	1.96	1.68	0.86	29.4	1.65	0.026	발명예
28	67	17	4	6	16	13	14	1.95	1.73	0.89	28.1	1.71	0.025	발명예
29	94	19	7	5	20	12	5	1.98	1.70	0.86	30.7	1.66	0.045	발명예
30	110	18	6	6	25	12	5	1.98	1.71	0.87	30.1	1.67	0.045	발명예
31	91	20	7	5	20	13	5	1.97	1.69	0.86	30.2	1.65	0.044	발명예
32	123	19	6	7	30	13	5	1.98	1.75	0.89	29.6	1.71	0.040	발명예
33	97	20	7	6	25	13	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.65	0.047	발명예
34	137	17	5	6	25	12	5	1.97	1.77	0.90	28.7	1.72	0.049	발명예
35	109	17	5	6	25	12	5	1.98	1.78	0.90	29.3	1.73	0.050	발명예
36	100	13	15	5	15	-2	10	1.91	1.54	0.81	42.3	1.50	0.037	비교예
37	93	5	6	5	16	-1	9	1.91	1.50	0.79	40.5	1.46	0.038	비교예
38	117	3	5	3	11	-2	4	2.00	1.55	0.77	45.4	1.50	0.047	비교예
39	115	9	7	3	11	2	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.050	발명예
40	117	9	5	3	11	4	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.051	발명예
41	106	17	18	4	13	-1	7	1.92	1.50	0.78	41.5	1.46	0.038	비교예
42	127	3	5	4	12	-2	8	1.92	1.53	0.80	40.9	1.49	0.042	비교예
43	95	16	17	8	32	-1	8	2.01	1.61	0.80	46.1	1.57	0.037	비교예
44	96	15	14	7	28	1	7	2.01	1.66	0.83	38.1	1.62	0.036	발명예
45	129	15	11	8	33	4	7	2.01	1.71	0.85	37.2	1.67	0.042	발명예
46	53	17	4	3	11	13	4	1.96	1.70	0.87	42.9	1.65	0.048	비교예
47	62	17	4	3	11	13	4	1.96	1.69	0.86	37.4	1.65	0.041	발명예
48	193	18	4	3	11	14	4	1.96	1.72	0.88	36.8	1.68	0.043	발명예
49	232	18	4	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	43.3	1.64	0.045	비교예
50	88	25	6	5	26	19	-1	1.97	1.74	0.88	29.6	1.60	0.139	발명예
51	106	25	6	5	24	19	1	1.97	1.76	0.89	29.3	1.69	0.070	발명예
52	122	25	7	4	17	18	3	1.97	1.75	0.89	29.5	1.70	0.055	발명예
53	116	24	6	5	27	18	-2	1.97	1.73	0.88	29.8	1.60	0.127	발명예
54	138	24	6	4	20	18	0	1.97	1.73	0.88	29.8	1.63	0.096	발명예
55	139	23	6	4	21	17	-1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.62	0.131	발명예
56	99	25	6	5	24	19	1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.68	0.067	발명예
57	94	19	6	6	25	13	5	1.97	1.73	0.88	30.0	1.69	0.045	발명예

주) 하선부는 발명 범위 밖인 것을 나타낸다

[0130]

[0131] [표 3-2]

No.	강판 조직					특성					비고			
	평균 결정 입경d (μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	자속 밀도 Bs (T)	자속 밀도 B50 (T)	B50/Bs		철손 W _{10,000} (W/Kg)	자속 밀도 B50,45° (T)	이방성 $\Delta B50$ (T)
58	98	19	4	3	11	15	4	1.95	1.78	0.91	27.1	1.73	0.051	발명예
59	103	18	4	5	12	14	13	1.95	1.67	0.85	28.8	1.64	0.028	발명예
60	107	19	7	7	29	12	6	1.97	1.68	0.85	30.8	1.64	0.038	발명예
61	99	19	6	6	25	13	5	1.97	1.68	0.85	30.5	1.64	0.040	발명예
62	109	21	7	6	25	14	5	1.97	1.74	0.88	29.6	1.69	0.047	발명예
63	139	17	5	5	20	12	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.66	0.044	발명예
64	120	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	29.9	1.67	0.046	발명예
65	116	21	7	6	25	14	5	1.97	1.77	0.90	29.2	1.72	0.046	발명예
66	120	20	7	6	25	13	5	1.97	1.76	0.89	29.3	1.72	0.040	발명예
67	113	11	5	7	30	6	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.038	발명예
68	102	14	7	5	20	7	5	1.98	1.74	0.88	29.3	1.70	0.039	발명예
69	96	13	6	6	25	7	5	1.98	1.70	0.86	29.9	1.66	0.040	발명예
70	112	13	5	5	20	8	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.045	발명예
71	91	20	7	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.032	발명예
72	117	19	5	4	11	14	9	1.97	1.68	0.85	29.9	1.64	0.040	발명예
73	88	18	5	4	12	13	8	1.97	1.71	0.87	29.5	1.68	0.033	발명예
74	71	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	발명예
75	85	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	발명예
76	77	19	6	4	12	13	8	1.97	1.75	0.89	29.0	1.72	0.031	발명예
77	85	18	5	4	11	13	9	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.032	발명예
78	116	21	7	4	10	14	10	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.035	발명예
79	75	21	6	4	10	15	10	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.030	발명예
80	91	19	6	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.038	발명예
81	133	18	9	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.68	0.032	발명예
82	90	18	9	7	27	9	8	1.96	1.72	0.88	27.4	1.68	0.042	발명예
83	100	17	9	8	32	9	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.65	0.034	발명예
84	140	16	7	6	22	8	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.64	0.041	발명예
85	113	18	9	6	23	9	7	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	발명예
86	97	16	7	7	27	9	8	1.96	1.70	0.87	27.7	1.66	0.038	발명예
87	101	16	6	4	13	10	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.71	0.040	발명예
88	124	15	4	4	12	11	8	1.92	1.77	0.92	24.2	1.73	0.039	발명예
89	96	17	5	4	12	12	8	1.92	1.73	0.90	24.7	1.69	0.042	발명예
90	100	17	6	4	13	11	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.72	0.035	발명예

[0132]

[0133]

표 3-1, 3-2 의 결과로부터, 본 발명에 따른 무방향성 전기 강판은, 모두 우수한 자속 밀도와 우수한 고주파 철손 특성을 양립시키고 있음을 알 수 있다. 또한, 타발 시의 변형으로 인한 철손 저감을 회복시킬 목적으로 강판에 변형 제거 어닐링을 실시한 바, 본 발명의 효과에 전혀 영향은 없으며, 우수한 자속 밀도와 우수한 철손 특성이 양립되어 있었다.

[0134]

산업상 이용가능성

[0135]

본 발명에 따르면, 포화 자속 밀도의 저하나 생산성의 저하를 초래하는 일이 없는, 고자속 밀도-고주파 저철손의 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다.