



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월17일
(11) 등록번호 10-2780464
(24) 등록일자 2025년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/58 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) *C22C 38/34* (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 38/52* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
C22C 38/58 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2023-7032178
 (22) 출원일자(국제) 2022년03월30일
 심사청구일자 2023년09월20일
 (85) 번역문제출일자 2023년09월20일
 (65) 공개번호 10-2023-0140602
 (43) 공개일자 2023년10월06일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/015920
 (87) 국제공개번호 WO 2022/210864
 국제공개일자 2022년10월06일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2021-061782 2021년03월31일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020190127964 A*
 JP소화64000225 A
 JP소화64000228 A
 JP2015040309 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 닛폰세이테츠 가부시카가이샤
 일본 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
 (72) 발명자
 나토리 요시아키
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우치 2쵸메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카가이샤 내
 야시키 히로요시
 일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우치 2쵸메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카가이샤 내
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 양영준, 최인호, 성재동

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 구분승

(54) 발명의 명칭 무방향성 전자 강판, 무방향성 전자 강판의 제조 방법, 전동기 및 전동기의 제조 방법

(57) 요약

이 무방향성 전자 강판은, 모재의 화학 조성이, 질량%로, Si: 3.2 내지 4.5%를 포함하고, 인장 강도가 550MPa 이상이고, 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700B} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120B} 의 비(P_{120B}/Fe_{700B})_B가, 결정 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700i} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120i} 의 비(P_{120i}/Fe_{700i})_i의 2.0배 이하이다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/1233 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/34 (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 38/52 (2013.01)

다케다 가즈토시

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메
6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카가이샤 내

(72) 발명자

후쿠치 미나코

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메
6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카가이샤 내

명세서

청구범위

청구항 1

모재의 화학 조성이, 질량%로,

C: 0.0010 내지 0.0040%,

Si: 3.2 내지 4.5%,

sol.Al: 0.2 내지 2.0%,

Mn: 0.1 내지 3.5%,

P: 0% 초과, 0.10% 이하,

S: 0 내지 0.0030%,

N: 0 내지 0.0030%,

Ti: 0 내지 0.0030%,

Mo: 0.0010 내지 0.1000%,

Cr: 0 내지 0.10%,

B: 0 내지 0.0010%,

Ni: 0 내지 0.50%,

Cu: 0 내지 0.50%,

Sn: 0 내지 0.2000%,

Sb: 0 내지 0.2000%,

Ca: 0 내지 0.0050%,

Zn: 0 내지 0.0050%,

La: 0 내지 0.0050%,

Ce: 0 내지 0.0050%,

O: 0 내지 0.1000%,

V: 0 내지 0.1000%,

W: 0 내지 0.1000%,

Zr: 0 내지 0.1000%,

Nb: 0 내지 0.1000%,

Mg: 0 내지 0.1000%,

Bi: 0 내지 0.1000%,

Nd: 0 내지 0.1000%,

Y: 0 내지 0.1000%,

As: 0 내지 0.1000%,

Ga: 0 내지 0.1000%,

Ge: 0 내지 0.1000%,

Co: 0 내지 0.1000%,
 Se: 0 내지 0.1000%,
 Pb; 0 내지 0.1000%, 및
 잔부: Fe 및 불순물
 이고,
 인장 강도가 550MPa 이상이고,
 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700B} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120B} 의 비(P_{120B}/Fe_{700B})_B가, 결정 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700i} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120i} 의 비(P_{120i}/Fe_{700i})_i의 2.0배 이하인 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

청구항 2

제1항에 있어서, Ni: 0.01 내지 0.50%,
 Cu: 0.01 내지 0.50%,
 Sn: 0.01 내지 0.2000%,
 Sb: 0.01 내지 0.2000%,
 Ca: 0.0005 내지 0.0050%,
 Zn: 0.0003 내지 0.0050%,
 La: 0.0005 내지 0.0050%,
 Ce: 0.0005 내지 0.0050%,
 O: 0.0020 내지 0.1000%,
 V: 0.0010 내지 0.0100%,
 W: 0.0010 내지 0.0100%,
 Zr: 0.0010 내지 0.0100%,
 Nb: 0.0010 내지 0.0100%,
 Mg: 0.0010 내지 0.0100%,
 Bi: 0.0010 내지 0.0100%,
 Nd: 0.0010 내지 0.0100%,
 Y: 0.0010 내지 0.0100%,
 As: 0.0010 내지 0.0100%,
 Ga: 0.0010 내지 0.0100%,
 Ge: 0.0010 내지 0.0100%,
 Co: 0.0010 내지 0.0100%,
 Se: 0.0010 내지 0.0100%,
 Pb; 0.0010 내지 0.0100%,
 로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유하는

것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 모재의 표면에 절연 피막을 갖는, 무방향성 전자 강판.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법이며,
 제1항 또는 제2항에 기재된 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판을 얻는 열연 공정,
 상기 열연 강판을 권취하고, 냉각하는 권취 공정,
 냉각 후의 상기 열연 강판을 냉간 압연하여 냉연 강판을 얻는 냉연 공정,
 상기 냉연 강판을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비하고,
 상기 열연 강판의 권취 공정에서의 냉각에 있어서, 700 내지 500℃의 온도역의 체재 시간보다도 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 상기 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 하고,
 상기 마무리 어닐링 공정에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 기재된 무방향성 전자 강판을 제조하는 방법이며,
 제1항 또는 제2항에 기재된 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판을 얻는 공정,
 상기 열연 강판을 권취하고, 냉각하는 권취 공정,
 냉각 후의 상기 열연 강판을 가열, 냉각하는 열연판 어닐링 공정,
 열연판 어닐링 공정 후의 열연 강판을 냉간 압연하여 냉연 강판을 얻는 냉연 공정,
 상기 냉연 강판을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비하고,
 상기 열연 강판의 상기 열연판 어닐링 공정에서의 냉각에 있어서, 700 내지 500℃의 온도역의 체재 시간보다도 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 상기 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 하고,
 상기 마무리 어닐링 공정에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 6

스테이터 코어를 구비하는 전동기이며,
 상기 스테이터 코어의 화학 조성이, 질량%로,
 C: 0.0010 내지 0.0040%,
 Si: 3.2 내지 4.5%,
 sol.Al: 0.2 내지 2.0%,

Mn: 0.1 내지 3.5%,

P: 0%초과, 0.10% 이하,

S: 0 내지 0.0030%,

N: 0 내지 0.0030%,

Ti: 0 내지 0.0030%,

Mo: 0.0010 내지 0.1000%,

Cr: 0 내지 0.10%,

B: 0 내지 0.0010%,

Ni: 0 내지 0.50%,

Cu: 0 내지 0.50%,

Sn: 0 내지 0.2000%,

Sb: 0 내지 0.2000%,

Ca: 0 내지 0.0050%,

Zn: 0 내지 0.0050%,

La: 0 내지 0.0050%,

Ce: 0 내지 0.0050%,

O: 0 내지 0.1000%,

V: 0 내지 0.1000%,

W: 0 내지 0.1000%,

Zr: 0 내지 0.1000%,

Nb: 0 내지 0.1000%,

Mg: 0 내지 0.1000%,

Bi: 0 내지 0.1000%,

Nd: 0 내지 0.1000%,

Y: 0 내지 0.1000%,

As: 0 내지 0.1000%,

Ga: 0 내지 0.1000%,

Ge: 0 내지 0.1000%,

Co: 0 내지 0.1000%,

Se: 0 내지 0.1000%,

Pb; 0 내지 0.1000% 및

잔부: Fe 및 불순물

이고,

인장 강도가 500MPa 이상이고,

상기 스테이터 코어의 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700SB} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120SB} 의 비 $(P_{120SB}/Fe_{700SB})_{SB}$ 가, 결정 내를 오제 전자 분광법으로 측정

했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700Si} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120Si} 의 비 $(P_{120Si}/Fe_{700Si})_{Si}$ 의 4.0배 이상인

것을 특징으로 하는 전동기.

청구항 7

청구항 6에 기재된 전동기의 제조 방법이며,

제1항 또는 제2항에 기재된 무방향성 전자 강판을 스테이터 코어 형상으로 가공하여 스테이터 코어 소재로 하는 공정과,

상기 스테이터 코어 소재를 열처리하여 스테이터 코어를 얻는 어닐링 공정

을 구비하고,

상기 스테이터 코어 소재의 상기 어닐링 공정에 있어서,

가열 온도를 750 내지 850℃, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 5℃/분 이하로 하는

것을 특징으로 하는 전동기의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판, 무방향성 전자 강판의 제조 방법, 전동기 및 전동기의 제조 방법에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2021년 3월 31일에 일본에 출원된 일본 특허 출원 제2021-061782호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0003] 근년, 지구 환경 문제에 대한 대처에의 고조로부터, 자동차나 가전 제품의 분야에서는, 소비 에너지가 적은 제품의 보급이 진행되고 있다. 이들 제품에는, 고속 회전하는 고효율의 전동기가 사용되고 있고, 전동기의 코어(모터 코어)의 재료로서 무방향성 전자 강판이 사용되고 있다.

[0004] 전동기의 코어는, 무방향성 전자 강판으로부터 환상의 부재(판편)로 잘라내고, 잘라낸 후의 복수의 판편을 적층하여 일체화함으로써 구성된다. 코어는 스테이터 코어와 로터 코어로 이루어진다. 근년에는 기기의 소형화나 고성능화를 위해서, 스테이터 코어에서는 보다 저철손화가, 로터 코어에서는 고속 회전을 견디어낼 수 있게 보다 고강도화가 중요해져 오고 있다.

[0005] 무방향성 전자 강판으로부터 코어용의 판편을 잘라낼 때는, 주로, 펀치와 다이를 사용한 펀칭법이 적용된다. 펀칭 시에 판편에 도입되는 가공 변형은 코어의 철손을 열화시키는 것이 알려져 있다. 이 가공 변형을 해방하기 위해서, 각 판편 혹은 판편을 적층한 코어에 대하여, 열처리(응력 제거 어닐링 혹은 코어 어닐링)가 실시된다. 응력 제거 어닐링의 실시에 의해, 강판의 가공 변형이 해방되고, 혹은, 결정립이 더 조대화되므로, 모터 코어의 저철손화도 실현된다. 응력 제거 어닐링은 코어 전체에 실시해도 되지만, 스테이터 코어에만 실시함으로써, 고강도의 로터와 저철손의 스테이터를 동일한 무방향성 전자 강판으로부터 구분 제작하는 것도 가능하다.

[0006] 특허문헌 1에는, 철손의 저하가 억제되고, 내식성도 우수한 모터용의 스테이터 코어로서, 무방향성 전자 강판으로 이루어지고, 무방향성 전자 강판이, C: 0 내지 0.005%, Si: 1.5 내지 5.0%, Mn: 0.1 내지 3.0%, Al: 0 내지 0.005%, P: 0.03 내지 0.15%, S: 0 내지 0.005%, N: 0 내지 0.005%, Sn: 0 내지 0.01%를 함유하고, 잔부가 철 및 불순물로 이루어지고, 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크 높이 Fe_{700} 과, 120eV에 있어서의 P의 피크 높이 P_{120} 의 비 P_{120}/Fe_{700} 이 0.020 미만인 스테이터 코어가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2019-183231호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 무방향성 전자 강판의 강도가 높아지면, 회전기의 고속 회전화가 가능하게 된다. 그러나, 회전기의 급정지 등의 시에는 고속화에 따라서 코어에 가해지는 격력이 증가하게 된다. 이때에 격력에 의해 취성 파괴가 발생하면 코어가 파손되어 버린다. 본 실시 형태에서는 내충격성의 평가 방법으로서 후술하는 적층 블록에서의 샤르피 시험을 고안하여, 내충격성을 평가하였다. 그 결과, 무방향성 전자 강판을 고강도화할수록, 내충격성이 저하되는 경향이 있는 것을 알 수 있었다. 회전기의 안전성을 보다 높이기 위해서는 고강도화와 내충격성을 양립할 필요가 있다.

[0009] 본 발명은 상기 사정을 감안하여 이루어진 것이고, 고강도이고, 내충격성이 우수한 무방향성 전자 강판, 무방향성 전자 강판의 제조 방법, 전동기, 그리고 전동기의 제조 방법을 제공하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명자들은, 후술하는 적층 블록에서의 충격 시험을 사용하여, 무방향성 전자 강판의 고강도화와 내충격성의 저하의 관계를 예의 조사하였다. 그 결과, 고강도화를 의도한 제품(예를 들어, 무방향성 전자 강판을 사용한 모터 코어)에서는, 결정립계의 P 농도가 높게 되어 있는 경우가 많고, 또한 결정립계의 P 농도와 내충격성의 저하 사이에 상관성이 있는 것을 발견하였다. 무방향성 전자 강판의 강도가 높아지면, 내충격성이 저하되는 원인은 이하와 같다고 생각된다.

[0011] 무방향성 전자 강판을 고강도화하기 위해서는 고용 강화능이 높은 Si의 함유량을 높게 할 필요가 있다. Si의 함유량이 높아지면, Si와 P는 척력 상호 작용을 갖기 때문에, 결과로서 P의 입계 편석이 촉진된다.

[0012] 또한, Mn이나 Cr이 함유되는 경우, Mn 및 Cr은 C와 인력 상호 작용을 갖기 때문에, C의 입계 편석이 억제된다. 그러면, 결정립계의 C 농도가 감소하기 때문에, 그 결과로서, P의 입계 편석이 촉진된다.

[0013] P의 편석에 의한 결정립계의 취화, 내충격성의 저하는, 특히 무방향성 전자 강판의 인장 강도가 550MPa를 초과하면 현재화한다.

[0014] 본 발명자들은, 인장 강도가 550MPa 이상의 무방향성 전자 강판에 있어서 P의 입계 편석을 저감하는 방법을 예의 검토하였다. 그리고, 무방향성 전자 강판의 화학 성분, 제조 방법을 적절하게 제어함으로써, P의 입계 편석을 저감할 수 있는 것을 발견하였다. 본 발명은, 더욱 검토를 진행하여 이루어진 것이며, 그 요지는 이하와 같다.

[0015] (1) 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판은, 모재의 화학 조성이 질량%로,

[0016] C: 0.0010 내지 0.0040%,

[0017] Si: 3.2 내지 4.5%,

[0018] sol.Al: 0.2 내지 2.0%,

[0019] Mn: 0.1 내지 3.5%,

[0020] P: 0% 초과, 0.10% 이하,

[0021] S: 0 내지 0.0030%,

[0022] N: 0 내지 0.0030%,

[0023] Ti: 0 내지 0.0030%,

[0024] Mo: 0.0010 내지 0.1000%,

- [0025] Cr: 0 내지 0.10%,
- [0026] B: 0 내지 0.0010%,
- [0027] Ni: 0 내지 0.50%,
- [0028] Cu: 0 내지 0.50%,
- [0029] Sn: 0 내지 0.2000%,
- [0030] Sb: 0 내지 0.2000%,
- [0031] Ca: 0 내지 0.0050%,
- [0032] Zn: 0 내지 0.0050%,
- [0033] La: 0 내지 0.0050%,
- [0034] Ce: 0 내지 0.0050%,
- [0035] O: 0 내지 0.1000%,
- [0036] V: 0 내지 0.1000%,
- [0037] W: 0 내지 0.1000%,
- [0038] Zr: 0 내지 0.1000%,
- [0039] Nb: 0 내지 0.1000%,
- [0040] Mg: 0 내지 0.1000%,
- [0041] Bi: 0 내지 0.1000%,
- [0042] Nd: 0 내지 0.1000%,
- [0043] Y: 0 내지 0.1000%,
- [0044] As: 0 내지 0.1000%,
- [0045] Ga: 0 내지 0.1000%,
- [0046] Ge: 0 내지 0.1000%,
- [0047] Co: 0 내지 0.1000%,
- [0048] Se: 0 내지 0.1000%,
- [0049] Pb; 0 내지 0.1000%, 및
- [0050] 잔부: Fe 및 불순물
- [0051] 이고,
- [0052] 인장 강도가 550MPa 이상이고,
- [0053] 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700B} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120B} 의 비(P_{120B}/Fe_{700B})_B가, 결정 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700i} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120i} 의 비(P_{120i}/Fe_{700i})_i의 2.0배 이하이다.
- [0054] (2) 상기 (1)에 기재된 무방향성 전자 강판은,
- [0055] Ni: 0.01 내지 0.50%,
- [0056] Cu: 0.01 내지 0.50%,
- [0057] Sn: 0.01 내지 0.2000%,
- [0058] Sb: 0.01 내지 0.2000%,

- [0059] Ca: 0.0005 내지 0.0050%,
- [0060] Zn: 0.0003 내지 0.0050%,
- [0061] La: 0.0005 내지 0.0050%,
- [0062] Ce: 0.0005 내지 0.0050%,
- [0063] O: 0.0020 내지 0.1000%,
- [0064] V: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0065] W: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0066] Zr: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0067] Nb: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0068] Mg: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0069] Bi: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0070] Nd: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0071] Y: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0072] As: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0073] Ga: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0074] Ge: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0075] Co: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0076] Se: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0077] Pb: 0.0010 내지 0.0100%,
- [0078] 로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유해도 된다.
- [0079] (3) 상기 (1) 또는 (2)의 무방향성 전자 강관은, 상기 모재의 표면에 절연 피막을 가져도 된다.
- [0080] (4) 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관의 제조 방법은, 상기 (1) 또는 (2)의 무방향성 전자 강관을 제조하는 방법이며, 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강관을 얻는 열연 공정, 상기 열연 강관을 권취하고, 냉각하는 권취 공정, 냉각 후의 상기 열연 강관을 냉간 압연하여 냉연 강관을 얻는 냉연 공정, 상기 냉연 강관을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비하고, 상기 열연 강관의 권취 공정에서의 냉각에 있어서, 700 내지 500℃의 온도역의 체재 시간보다도 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 상기 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 하고, 상기 마무리 어닐링 공정에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다.
- [0081] (5) 본 발명의 제3 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관의 제조 방법은, 상기 (1) 또는 (2)의 무방향성 전자 강관을 제조하는 방법이며, 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강관을 얻는 공정, 상기 열연 강관을 권취하고, 냉각하는 권취 공정, 냉각 후의 상기 열연 강관을 가열, 냉각하는 열연관 어닐링 공정, 열연관 어닐링 공정 후의 열연 강관을 냉간 압연하여 냉연 강관을 얻는 냉연 공정, 상기 냉연 강관을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비하고, 상기 열연 강관의 상기 열연관 어닐링 공정에서의 냉각에 있어서, 700 내지 500℃의 온도역의 체재 시간보다도 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 상기 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 하고, 상기 마무리 어닐링 공정에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다.
- [0082] (6) 본 발명의 제4 실시 형태에 관한 전동기는, 스테이터 코어를 구비하는 전동기이며,
- [0083] 상기 스테이터 코어의 화학 조성이, 질량%로,

- [0084] C: 0.0010 내지 0.0040%,
- [0085] Si: 3.2 내지 4.5%,
- [0086] sol.Al: 0.2 내지 2.0%,
- [0087] Mn: 0.1 내지 3.5%,
- [0088] P: 0% 초과, 0.10% 이하,
- [0089] S: 0 내지 0.0030%,
- [0090] N: 0 내지 0.0030%,
- [0091] Ti: 0 내지 0.0030%,
- [0092] Mo: 0.0010 내지 0.1000%,
- [0093] Cr: 0 내지 0.10%,
- [0094] B: 0 내지 0.0010%,
- [0095] Ni: 0 내지 0.50%,
- [0096] Cu: 0 내지 0.50%,
- [0097] Sn: 0 내지 0.2000%,
- [0098] Sb: 0 내지 0.2000%,
- [0099] Ca: 0 내지 0.0050%,
- [0100] Zn: 0 내지 0.0050%,
- [0101] La: 0 내지 0.0050%,
- [0102] Ce: 0 내지 0.0050%,
- [0103] O: 0 내지 0.1000%,
- [0104] V: 0 내지 0.1000%,
- [0105] W: 0 내지 0.1000%,
- [0106] Zr: 0 내지 0.1000%,
- [0107] Nb: 0 내지 0.1000%,
- [0108] Mg: 0 내지 0.1000%,
- [0109] Bi: 0 내지 0.1000%,
- [0110] Nd: 0 내지 0.1000%,
- [0111] Y: 0 내지 0.1000%,
- [0112] As: 0 내지 0.1000%,
- [0113] Ga: 0 내지 0.1000%,
- [0114] Ge: 0 내지 0.1000%,
- [0115] Co: 0 내지 0.1000%,
- [0116] Se: 0 내지 0.1000%,
- [0117] Pb; 0 내지 0.1000%, 및
- [0118] 잔부: Fe 및 불순물
- [0119] 이고,

- [0120] 인장 강도가 500MPa 이상이고,
- [0121] 상기 스테이터 코어의 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700SB} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120SB} 의 비 $(P_{120SB}/Fe_{700SB})_{SB}$ 가, 결정 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700Si} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120Si} 의 비 $(P_{120Si}/Fe_{700Si})_{Si}$ 의 4.0배 이상이다.
- [0122] (7) 본 발명의 제5 실시 형태에 관한 전동기의 제조 방법은, 스테이터 코어를 구비하는 전동기의 제조 방법이며, 상기 (1) 또는 (2)의 무방향성 전자 강판을 스테이터 코어 형상으로 가공하여 스테이터 코어 소재로 하는 공정과, 상기 스테이터 코어 소재를 열처리하여 스테이터 코어를 얻는 어닐링 공정을 구비하고, 상기 스테이터 코어 소재의 상기 어닐링 공정에 있어서, 가열 온도를 750 내지 850℃, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 5℃/분 이하로 한다.

발명의 효과

- [0123] 본 발명에 관한 상기 실시 형태에 따르면, 고강도이고, 내충격성이 우수한 무방향성 전자 강판, 무방향성 전자 강판의 제조 방법, 전동기 및 전동기의 제조 방법을 제공할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0124] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 대해서, 상세하게 설명한다. 단, 본 발명은 본 실시 형태에 개시의 구성에만 제한되는 일 없이, 본 발명의 취지를 이탈하지 않는 범위에서 다양한 변경이 가능하다. 또한, 하기하는 수치 한정 범위에는, 하한값 및 상한값이 그 범위에 포함된다. 「초과」 또는 「미만」이라고 나타내는 수치는, 그 값이 수치 범위에 포함되지 않는다. 각 원소의 함유량에 관한 「%」는, 「질량%」를 의미한다.

- [0125] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판(이하, 「강판」이라고도 칭함)은, 높은 강도 및 우수한 내충격성을 갖기 때문에, 스테이터 및 로터의 양쪽에 적합하다. 특히, 스테이터에 적합하다. 또한, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판은, 이하에 설명하는 모재(규소 강판)의 표면에 절연 피막을 구비하고 있는 것이 바람직하다.

[0126] [모재의 화학 조성]

- [0127] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 모재(규소 강판)의 화학 성분에 대하여 설명한다. 이하, 화학 성분에 관한 「%」는 「질량%」를 의미한다. 「내지」를 끼워서 기재하는 수치 한정 범위에는, 하한값 및 상한값이 그 범위에 포함된다.

[0128] C: 0.0010 내지 0.0040%

- [0129] C(탄소)는, 무방향성 전자 강판의 철손 열화를 야기하는 원소이다. C 함유량이 0.0040%를 초과하면, 무방향성 전자 강판의 철손이 열화되고, 양호한 자기 특성을 얻을 수 없다. 따라서, C 함유량은 0.0040% 이하로 한다. C 함유량은 0.0035% 이하인 것이 바람직하고, 0.0030% 이하인 것이 보다 바람직하고, 0.0025% 이하인 것이 더욱 바람직하다. C 함유량은 0%여도 되지만, 실용 강판에 있어서 C 함유량을 0%로 하는 것은, 순화 기술상 곤란하기 때문에, C 함유량은 0% 초과로 해도 된다. 또한, C는 강판의 경도를 높이는 원소이기도 하다. 이 효과와, 상술한 바와 같은 철손의 증가를 방지하는 관점에서, 함유량은 0.0010 내지 0.0040%로 한다. C 함유량의 하한은 바람직하게는 0.0015% 이상, 보다 바람직하게는 0.0020% 이상이다.

[0130] Si: 3.2 내지 4.5%

- [0131] Si(규소)는 강판의 강도를 높이는 원소이다. 또한, Si는, 비저항을 증가시키는 원소이고, 철손 저감을 위하여 함유시킨다. 이들 효과를 얻기 위해서, Si 함유량은 3.2% 이상으로 한다. Si 함유량은 3.25% 초과인 것이 바람직하고, 3.3% 이상인 것이 보다 바람직하다. 한편, Si 함유량이 과잉이면, 강의 취화에 의한 가공성의 열화 및 포화 자속 밀도의 저하를 초래하는 경우가 있다. 이들의 관점에서, Si 함유량은 3.2 내지 4.5%로 한다. 상한은 바람직하게는 4.0% 이하, 보다 바람직하게는 3.5% 이하이다.

[0132] sol.Al: 0.2 내지 2.0%

- [0133] sol.Al(알루미늄)은 Si와 마찬가지로 비저항을 증가시키는 원소이고, 철손 저감을 위하여 함유시킨다. 또한 sol.Al은 강판의 강도를 높이는 원소이기도 하다. 이들 효과를 얻기 위해서, sol.Al 함유량은 0.2% 이상으로 한다. sol.Al 함유량은 바람직하게는 0.3% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.5% 이상이다. 한편, sol.Al 함유

량이 과잉이라면, 포화 자속 밀도의 저하를 초래할 경우가 있다. 이들의 관점에서, sol.Al 함유량은 0.2 내지 2.0%로 한다. 상한은 바람직하게는 1.5% 이하, 보다 바람직하게는 1.2% 이하이다.

[0134] 또한, 본 실시 형태에 있어서 sol.Al이란, 산 가용성 Al을 의미하고, 고용 상태에서 강 중에 존재하는 고용 Al을 나타낸다.

[0135] Mn: 0.1 내지 3.5%

[0136] Mn(망간)은 Si, sol.Al과 마찬가지로 비저항을 증가시키는 작용을 갖고 있으므로, 철손 저감을 위하여 함유시킨다. 또한, Mn은 강판의 강도를 높이는 원소이기도 하다. 그 때문에, Mn 함유량은 0.1% 이상으로 한다. Mn 함유량은 0.2% 이상인 것이 바람직하고, 0.3% 이상인 것이 보다 바람직하고, 0.5% 이상인 것이 더욱 바람직하다. 한편, Mn 함유량이 과잉이면, 무방향성 전자 강판의 자속 밀도 저하나 취화가 현저해진다. 또한, Mn은 C와 인력 상호 작용을 가진다. 그 때문에, Mn 함유량이 과잉이면, C의 입계 편석이 억제됨으로써 결정립계의 C 농도가 감소하고, 결과, P의 입계 편석이 촉진되어 버린다. 이들의 관점에서, 함유량은 0.1 내지 3.5%로 한다. 상한은 바람직하게는 2.5% 이하, 보다 바람직하게는 1.5% 이하이다.

[0137] P: 0% 초과, 0.10%

[0138] P(인)는 불순물로서, 함유된다. P는, 강의 자속 밀도를 저하시키지 않고 강도를 높이는 작용이 있다. 그러나, P를 과잉으로 함유시키면 강의 인성을 손상시키고, 강판에 과단이 발생하기 쉬워지므로, P의 함유량은 0.10% 이하로 한다. P 함유량은 바람직하게는 0.07% 이하, 보다 바람직하게는 0.05% 이하, 더욱 바람직하게는 0.03% 이하이다. P는 필수적인 원소가 아니고, P 함유량의 하한은 0%이다. 단, 제조 비용을 고려하여, P 함유량은 0% 초과로 하는 것이 바람직하고, 0.01% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. P 함유량의 하한은 0.02% 이상이어도 된다.

[0139] S: 0 내지 0.0030%

[0140] S(황)는 불순물로서 함유한다. S 함유량은 철손의 저감을 위해, 저감시킬 필요가 있다. 또한, S는, 자신이 입계 편석하여 C의 입계 편석과 경합하고, 결과로서 P의 입계 편석을 촉진한다. 따라서, S 함유량은 0.0030% 이하로 한다. S 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0020% 이하, 보다 바람직하게는 0.0010% 이하이다. S는 필수적인 원소가 아니고, S 함유량의 하한은 0%이다. 단, 제조 비용을 고려하여, S 함유량의 하한은 0.0001% 이상이어도 된다. S 함유량의 하한은 바람직하게는 0.0003% 이상이다.

[0141] N: 0 내지 0.0030%

[0142] N(질소)은 불순물로서 함유한다. N은 Al과 결합함으로써 미세한 AlN 등의 질화물을 형성시킨다. 이러한 질화물은, 어닐링 시의 결정립 성장을 저해하고, 자기 특성을 열화시킨다. 이 때문에, N 함유량은 0.0030% 이하로 한다. N 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0020% 이하, 보다 바람직하게는 0.0010% 이하이다. N은 필수적인 원소가 아니고, N 함유량의 하한은 0%이다. 단, 제조 비용을 고려하여, N 함유량의 하한은 0.0001% 이상이어도 된다. N 함유량의 하한은 바람직하게는 0.0003% 이상이다.

[0143] Ti: 0 내지 0.0030%

[0144] Ti(티타늄)는 불순물로서 포함되는 원소이다. Ti는, 지철 중의 C, N, O 등과 결합하여 TiN, TiC, Ti 산화물 등의 미소 석출물을 형성시킨다. 이러한 미소 석출물은, 어닐링 중의 결정립의 성장을 저해하여 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Ti 함유량은 0.0030% 이하로 한다. Ti 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0020% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이하이다. Ti는 함유될 필요는 없으므로, 함유량의 하한은 0%이다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 Ti 함유량의 하한을 0.0003% 이상으로 하고, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상으로 한다.

[0145] Mo: 0.0010 내지 0.1000%

[0146] Mo(몰리브덴)는 P의 확산을 억제하고, P의 입계 편석을 억제하는 원소이다. 그 때문에, 본 실시 형태에 있어서 Mo는, 적극적으로 함유시키는 것이 바람직하다. 단, Mo 함유량을 과도하게 높여도, P의 입계 편석을 억제하는 효과는 포화한다. 따라서, 상술한 효과와, Mo 함유량이 너무 많아도 효과가 포화하는 것을 고려하여, 함유량은 0.0010 내지 0.1000%로 한다. Mo 함유량의 하한은 바람직하게는 0.0100% 이상, 보다 바람직하게는 0.0200% 이상이다. Mo 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0900% 이하, 보다 바람직하게는 0.0800% 이하이다.

[0147] Cr: 0 내지 0.10%

- [0148] Cr(크롬)은 내식성이나 고주파 특성을 향상시키는 원소이다. Cr은 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. Cr 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Cr 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.03% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 한편, Cr 양이 너무 높으면, C의 입계 편석이 억제되어, P의 입계 편석이 촉진됨으로써, 강판의 내충격성이 저하된다. 따라서, Cr 함유량의 상한은 0.10% 이하로 한다. C 함유량의 상한은 바람직하게는 0.08% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.06% 이하이다.
- [0149] B: 0 내지 0.0010%
- [0150] B(붕소)는 조대한 BN을 형성하여 미세한 질화물이 형성되는 것을 방지함으로써 입성장성을 개선하는 효과가 있는 점에서, 필요에 따라 함유시켜도 된다. B는 함유될 필요는 없고, B 함유량의 하한은 0%이다. 전술한 효과를 얻는 경우에는, B 함유량은 0.0002% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0003% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 한편, B는 자신이 입계 편석하고, C의 입계 편석과 경합하여, 결과로서 P의 입계 편석을 촉진한다. 따라서 B 함유량을 제한할 필요가 있고, B 함유량은 0 내지 0.0010%로 한다. B 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0008% 이하이고, 보다 바람직하게는 0.0005% 이하이다.
- [0151] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 모재(규소 강판)의 화학 조성의 잔부는 Fe 및 불순물이다. 불순물이란, 강을 공업적으로 제조할 때에, 원재료(광석, 스크랩 등)에 포함되는 성분, 또는 제조의 과정에서 혼입되는 성분이며, 의도적으로 강판에 함유시킨 것은 아닌 성분 혹은 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 특성에 악영향을 주지 않는 범위에서 허용되는 성분을 말한다.
- [0152] 또한, 상술한 원소 이외에, Fe의 일부 대신에, Ni, Cu, Sn, Sb, Ca, Zn, La, Ce, O, V, W, Zr, Nb, Mg, Bi, Nd 및 Y 중 1종 이상의 원소를 함유시켜도 된다.
- [0153] Ni: 0 내지 0.50%
- [0154] Ni(니켈)는 강판의 전기 저항을 높여, 철손을 저감하는 원소이다. Ni는 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. Ni 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 제품 비용의 관점에서, 함유량의 상한은 0.50%로 하고, 0.40%로 하는 것이 바람직하다.
- [0155] Cu: 0 내지 0.50%
- [0156] Cu(구리)는 강판의 전기 저항을 높여, 철손을 저감하는 원소이다. Cu는 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. Cu 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Cu 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 제품 비용의 관점, 강의 취화를 방지하는 관점에서, 함유량의 상한은 0.5000% 이하로 하고, 0.4000% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0157] Sn: 0 내지 0.2000%
- [0158] Sb: 0 내지 0.2000%
- [0159] Sn(주석) 및 Sb(안티몬)는 자기 특성에 있어서 바람직한 결정 방위를 발달시키는 원소이다. 그 때문에, 필요에 따라 Sn 및 Sb의 적어도 한쪽을 함유시켜도 된다. 단, Sn 및 Sb는 함유될 필요는 없고 각 함유량의 하한은 0%이다. Sn 및 Sb의 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Sn 및 Sb의 각 함유량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.02% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지하는 관점에서, Sn 및 Sb의 각 함유량의 상한은 0.2000% 이하로 하고, 0.1000% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0160] Ca: 0 내지 0.0050%
- [0161] Ca(칼슘)는 황화물을 조대화시킴으로써 열처리 공정에서의 결정립의 성장성을 개선하고, 저철손화에 기여하는 원소이다. Ca는 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. Ca 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Ca 함유량은 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지하는 관점에서, Ca 함유량의 상한은 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.0030% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0162] Zn: 0 내지 0.0050%

- [0163] Zn(아연)은 불순물로서 포함되는 원소이다. Zn은, 지철 중의 0 등과 결합하여 Zn 산화물을 형성시킨다. 이러한 개재물은, 어닐링 중의 결정립의 성장을 저해하여 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Zn 함유량의 상한은 0.0050% 이하로 한다. Zn 함유량의 상한은 바람직하게는 0.0020% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이하이다. Zn은 함유될 필요는 없으므로, 함유량의 하한은 0%이다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 Zn 함유량의 하한을 0.0003% 이상으로 하고, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상으로 한다.
- [0164] La: 0 내지 0.0050%
- [0165] La(란탄)은 황화물을 조대화시킴으로써 열처리 공정에서의 결정립의 성장성을 개선하고, 저철순화에 기여하는 원소이다. La는 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. La 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, La 함유량은 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지하는 관점에서, La 함유량의 상한은 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.0030% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0166] Ce: 0 내지 0.0050%
- [0167] Ce(세륨)는 황화물을 조대화시킴으로써, 열처리 공정에서의 결정립의 성장성을 개선하고, 저철순화에 기여하는 원소이다. Ce는 함유될 필요는 없고 함유량의 하한은 0%이다. Ce 함유의 효과는 미량이어도 얻어지지만, 함유의 효과를 확실하게 얻기 위해서는, Ce 함유량은 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.0010% 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 자기 특성의 열화를 방지하는 관점에서, Ce 함유량의 상한은 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하고, 0.0030% 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0168] O: 0 내지 0.1000%
- [0169] O(산소)도 불순물 원소이지만, 0.1000% 이하의 범위에서 함유되어, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 특성에 영향은 없다. O는, 어닐링 공정에 있어서 강 중에 혼입되는 경우도 있기 때문에, 슬래브 단계의 함유량에 있어서는, 0.01% 이하의 범위에서 함유해도, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 특성에 특별히 영향은 없다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 O 함유량의 하한을 0.0020% 이상으로 해도 된다.
- [0170] V: 0 내지 0.1000%
- [0171] V(바나듐)는, 탄소 또는 질소와 결합하여 석출물(탄화물, 질화물)을 형성함으로써 고강도화에 기여하는 원소이지만, 이들 석출물 자체가 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, V 함유량은 0.1000% 이하로 한다. V 함유량은 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0100% 이하인 것이 보다 바람직하다. V 함유량은 측정 한계 이하인 것이 더욱 바람직하고, 구체적으로는 0.0001% 이하인 것이 더욱 바람직하다. V 함유량은 낮으면 낮을수록 바람직하기 때문에, V 함유량은 0%로 해도 된다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 V 함유량의 하한을 0.0010% 이상으로 해도 된다.
- [0172] W: 0 내지 0.1000%
- [0173] W(텅스텐)는, 탄소와 결합하여 석출물(탄화물)을 형성함으로써 고강도화에 기여하는 원소이다. 그러나, 이들 석출물 자체가 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, W 함유량은 0.1000% 이하로 한다. W 함유량은 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0010% 이하인 것이 보다 바람직하다. W 함유량은 측정 한계 이하인 것이 더욱 바람직하고, 구체적으로는 0.0001% 이하인 것이 더욱 바람직하다. W 함유량은 낮으면 낮을수록 바람직하기 때문에, W 함유량은 0%로 해도 된다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 W 함유량의 하한을 0.0010% 이상으로 해도 된다.
- [0174] Zr: 0 내지 0.1000%
- [0175] Zr(지르코늄)은, 탄소 또는 질소와 결합하여 석출물(탄화물, 질화물)을 형성함으로써 고강도화에 기여하는 원소이지만, 이들 석출물 자체가 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Zr 함유량은 0.1000% 이하로 한다. Zr 함유량은 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0010% 이하인 것이 보다 바람직하다. 또한, Zr 함유량은 측정 한계 이하인 것이 더욱 바람직하고, 구체적으로는 0.0001% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Zr 함유량은 낮으면 낮을수록 바람직하기 때문에, Zr 함유량은 0%로 해도 된다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 Zr 함유량의 하한을 0.0010% 이상으로 해도 된다.
- [0176] Nb: 0 내지 0.1000%
- [0177] Nb(니오븀)는, 탄소 또는 질소와 결합하여 석출물(탄화물, 질화물)을 형성함으로써 고강도화에 기여하는 원소이

지만, 이들 석출물 자체가 무방향성 전자 강판의 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Nb 함유량은 0.1000% 이하로 한다. Nb 함유량은 0.0050% 이하인 것이 바람직하고, 0.0010% 이하인 것이 보다 바람직하다. 또한, Nb 함유량은, 측정 한계 이하인 것이 더욱 바람직하고, 구체적으로는, 0.0001% 이하인 것이 더욱 바람직하다. Nb 함유량은 낮으면 낮을수록 바람직하기 때문에, Nb 함유량은 0%로 해도 된다. 단, 정련 비용을 고려하여, 바람직하게는 Nb 함유량의 하한을 0.0010% 이상으로 해도 된다.

[0178] Mg: 0 내지 0.1000%

[0179] Mg(마그네슘)는, S를 황화물 또는 산 황화물로서 고정하고, MnS 등의 미세 석출을 억제하고, 마무리 어닐링 시의 재결정 및 결정립 성장을 촉진하는 작용을 이루는 원소이다. Mg가 0.10%를 초과하면, 황화물 또는 산 황화물이 과잉으로 생성되고, 마무리 어닐링 시의 재결정 및 결정립 성장이 저해되므로, Mg 함유량은 0.1000% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.0020% 이하, 보다 바람직하게는 0.0010% 이하이다. Mg의 하한은, 특별히 제한되지 않고, 0%여도 된다. 상기 효과를 바람직하게 얻기 위해서는, Mg 함유량은 0.0005% 이상으로 하면 된다. 바람직하게는, Mg 함유량은 0.0010% 이상이다.

[0180] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 모재의 화학 조성은, 상기의 원소에 추가하여, 선택 원소로서, 예를 들어 Bi(비스무트), Nd(네오디뮴), Y(이트륨), As(비소), Ga(갈륨), Ge(게르마늄), Co(코발트), Se(셀레늄), Pb(납)를 함유해도 된다. 이들 선택 원소의 함유량은, 공지된 지면에 기초하여 제어하면 된다. 예를 들어, 이들 선택 원소의 함유량은, 이하로 하면 된다.

[0181] Bi: 0 내지 0.1000%

[0182] Nd: 0 내지 0.1000%

[0183] Y: 0 내지 0.1000%

[0184] As: 0 내지 0.1000%

[0185] Ga: 0 내지 0.1000%

[0186] Ge: 0 내지 0.1000%

[0187] Co: 0 내지 0.1000%

[0188] Se: 0 내지 0.1000%

[0189] Pb: 0 내지 0.1000%

[0190] Bi 함유량은 0.0100% 이하인 것이 바람직하고, 0.005% 이하인 것이 보다 바람직하다. Nd 함유량은 0.0100% 이하인 것이 바람직하고, 0.0020% 이하인 것이 바람직하다. Y 함유량은 0.0010% 이하인 것이 바람직하다. As, Ga, Ge, Co, Se, Pb의 함유량은 각각 0.0100% 이하인 것이 바람직하고, 0.005% 이하인 것이 보다 바람직하다. 단, 정련 비용을 고려하여, Bi, Nd, Y, As, Ga, Ge, Co, Se, Pb의 각각의 함유량은, 0.0010% 이상으로 해도 된다.

[0191] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 모재의 화학 조성은, ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 사용하여 측정하면 된다. 또한, C 및 S는 연소-적외선 흡수법을 사용하고, N은 불활성 가스 연소-열전도도법을 사용하고, O는 불활성 가스 용해-비분산형 적외선 흡수법을 사용하여 측정하면 된다.

[0192] 또한, 측정 대상이 되는 강판이, 그 표면에 절연 피막 등을 갖고 있는 경우에는, 이들을 제거하고 나서 화학 조성을 측정한다. 무방향성 전자 강판의 절연 피막 등을 제거하는 방법으로서, 예를 들어 다음의 방법을 들 수 있다.

[0193] 먼저, 절연 피막 등을 갖는 무방향성 전자 강판을, 수산화나트륨 수용액에 침지 후, 세정한다. 마지막으로, 온풍으로 건조시킨다. 이에 의해, 후술하는 절연 피막이 제거된 규소 강판을 얻을 수 있다.

[0194] 이어서, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판에 있어서의 P의 편석에 대하여 설명한다.

[0195] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판은, P가 불순물로서, 또는 의도적으로 첨가하여 0.10% 이하의 범위에서 함유된다. P가 결정립계에 편석하면 강판의 내충격성이 저하된다. 그 때문에, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판에서는, P를 결정립계에 편석시키지 않도록 한다.

- [0196] 구체적으로는, 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700B} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120B} 의 비(P_{120B}/Fe_{700B})_B가, 결정립 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700i} 와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120i} 의 비(P_{120i}/Fe_{700i})_i의 2.0배 이하로 한다. (P_{120B}/Fe_{700B})_B가 (P_{120i}/Fe_{700i})_i의 2.0배 이하이면 결정립계에의 P의 편석이 적어지고, 강관의 내충격성을 향상시키는 것이 가능해진다. 결정립계에의 P의 편석을 억제하기 위해서는, 전술한 바와 같이 화학 성분을 조정함과 함께, 후술하는 바와 같이 무방향성 전자 강관을 제조할 때의 조건을 최적화한다.
- [0197] 오제 전자 분광법에 의한 P의 피크간 높이 및 Fe의 피크간 높이의 측정에 있어서, 입계에 있어서의 P_{120B} 와 Fe_{700B} , 그리고, 결정립 내에 있어서의 P_{120i} 와 Fe_{700i} 는 다음의 방법으로 측정된다.
- [0198] 무방향성 전자 강관을 판면에 수직인 단면으로 절단하고, 18mmL×4mmW(L은 압연 방향 길이, W는 판 폭을 의미함)의 조 시료편을 복수 채취한다. 조 시료편에 대하여 시료편의 긴 변 방향 중앙에 절결 가공하여 오제 전자 분광 피크 측정용 시험편을 제작한다. 제작된 오제 전자 분광 피크 측정용 시험편을 오제 전자 분광 장치 내에 넣어서 액체 질소로 시료를 냉각하고, 시료를 파단시킨다. 파단면 중 시료의 입계 파괴된 파면(입계면)을 찾아내고, 그 입계면에 있어서의 P양 및 Fe양을 기준으로 하여, 결정립계, 결정립 내 각각 10군데 오제 전자 분광법으로 분석한다. 그리고, 결정립계에 대응하는 측정 개소에 있어서, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 「 P_{120B} 」의, 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 「 Fe_{700B} 」에 대한 비(P_{120B}/Fe_{700B})_B를 구하고, 평균값을 산출한다. 또한 여기에서 말하는 「피크간 높이」란, 예를 들어 P의 경우, 120eV에 있어서 형성되는 극댓값(최대 피크)과 극솟값(최소 피크)의 2개의 피크의 차분을 의미한다.
- [0199] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강관에 있어서 높은 강도를 갖는다는 것은, 압연 방향의 인장 강도가 550MPa 이상인 것을 의미한다. 인장 강도는 580MPa 이상인 것이 바람직하다. 여기서, 인장 강도는 JIS Z2241(2011)의 13B호 인장 시험편을 사용하여 측정한다.
- [0200] 이어서, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강관의 충격 시험 방법에 대하여 설명한다.
- [0201] 일반적으로 JIS Z2242에 규정되는 것과 같은 샤르피 충격 시험이 있지만, 무방향성 전자 강관은 판 두께가 얇기 때문에 그대로는 충격 시험을 할 수 없다. 본 실시 형태에서는, 무방향성 전자 강관으로부터 복수의 직사각형 시험편(10mm×55mm, 중앙에 45°의 각도로 깊이 2mm의 V 노치 들어감)을 잘라내고, 이들을 적층하여 높이 10mm±0.2mm가 되는 적층 블록(적층체)을 제작하고, 충격 시험을 행한다. 직사각형 시험편은, 그 긴 변 방향이 압연 방향이 되도록 잘라낸다. 단, 소재에 의해 내충격성이 최약이 되는 방향이 다른 경우가 있기 때문에, 그 경우에는 시험편의 긴 변 방향이 최약 방향이 되도록 채취하면 된다. 또한 본 실시 형태의 범위 내에서는, 내충격성이 최약이 되는 방향이 압연 방향이기 때문에, 시험편의 긴 변 방향(55mm)이 압연 방향이 되도록 시험편을 채취한다. 적층체에 있어서의 시험편끼리의 고정 방법은, 직사각형의 단판의 양단으로부터 10mm 위치에 험기성 접착제를 도포하여 접착하는 방법으로 하였다. 내충격성의 평가 방법으로서, 상온에서의 충격 흡수 에너지로 대표할 수 있다고 생각하고, 이에 의해 평가한다.
- [0202] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관에 있어서는, 모재(규소 강관)의 표면에 절연 피막을 갖는 것이 바람직하다. 무방향성 전자 강관은, 코어를 편칭한 후에 적층되고 나서 사용된다. 그 때문에, 모재의 표면에 절연 피막을 마련함으로써, 판 사이의 와전류를 저감할 수 있고, 코어로서 와전류손을 저감하는 것이 가능하게 된다.
- [0203] 본 실시 형태에서는, 절연 피막의 종류에 대해서는 특별히 한정되지 않고, 무방향성 전자 강관의 절연 피막으로서 사용되는 공지된 절연 피막을 사용하는 것이 가능하다. 이러한 절연 피막으로서, 예를 들어 무기물을 주체로 하고, 또한 유기물을 포함한 복합 절연 피막을 들 수 있다.
- [0204] 여기서, 복합 절연 피막이란, 예를 들어 크롬산 금속염, 인산 금속염 등의 금속염, 또는, 콜로이드 실리카, Zr 화합물, Ti 화합물 등의 무기물 중 적어도 어느 한쪽을 주체로 하고, 미세한 유기 수지의 입자가 분산되어 있는 절연 피막이다. 특히, 근년 요구가 높아지고 있는 제조 시의 환경 부하 저감의 관점에서는, 인산 금속염, Zr 혹은 Ti의 커플링제를 출발 물질로서 사용한 절연 피막, 또는, 인산 금속염, Zr 혹은 Ti의 커플링제의 탄산염 혹은 암모늄염을 출발 물질로서 사용한 절연 피막이 바람직하게 사용된다.
- [0205] 절연 피막의 부착량은, 특별히 한정하는 것은 아니지만, 예를 들어 편면당 200 내지 1500mg/m² 정도로 하는 것이 바람직하고, 편면당 300 내지 1200mg/m²로 하는 것이 보다 바람직하다. 상기 범위 내의 부착량이 되도록 절연 피막을 형성함으로써, 우수한 균일성을 유지하는 것이 가능하게 된다. 또한, 절연 피막의 부착량을, 사후적

으로 측정하는 경우에는, 공지된 각종 측정법을 이용하는 것이 가능하고, 예를 들어 수산화나트륨 수용액 침지 전후의 질량차를 측정하는 방법, 또는 검량선법을 사용한 형광 X선법 등을 적절히 이용하면 된다.

[0206] 이상, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판에 대하여 설명해 왔지만, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 평균 결정 입경은 특별히 한정되지 않는다. 단, 결정립이 조대화하지 않고 평균 결정 입경이 너무 작으면, 철 손이 악화되는 것이 염려된다. 한편, 결정립이 과도하게 조대화하여 평균 결정 입경이 너무 크면, 가공성이 악화될 뿐만 아니라, 와전류손이 악화되는 경우가 있다. 그 때문에, 무방향성 전자 강판의 평균 결정 입경은 10 μm 내지 60 μm로 하는 것이 바람직하다.

[0207] 평균 결정 입경은, 예를 들어 임의의 단면에 있어서 JIS G0551(2020)의 절단법으로 측정할 수 있다.

[0208] 또한, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 판 두께는 특별히 한정되지 않는다. 통상, 판 두께가 얇아지면, 철손은 낮아지지만, 자속 밀도가 낮아진다. 이 점을 근거로 하면, 판 두께가 0.15mm 이상이면, 철손이 보다 낮고, 또한, 자속 밀도가 보다 높아진다. 또한, 판 두께가 0.27mm 이하이면, 낮은 철손을 유지할 수 있다. 그 때문에, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 바람직한 판 두께는, 0.15 내지 0.27mm이다. 보다 바람직하게는, 0.20 내지 0.25mm이다.

[0209] 이어서, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 바람직한 제조 방법, 및 얻어진 무방향성 전자 강판을 소재로 한 스테이터 코어를 구비하는 전동기를 제조하는 방법에 대하여 설명한다.

[0210] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판은, 상기의 화학 조성의 슬래브를 가열한 후 열간 압연을 실시하여 열연 강판으로 하고, 얻어진 열연 강판을 권취하고, 냉각하고, 냉각 후의 열연 강판을 냉간 압연하고, 냉간 압연 후의 강판을 마무리 어닐링함으로써 제조된다. 구체적으로, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기의 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판을 얻는 열연 공정과, 열연 강판을 권취하고, 냉각하는 권취 공정과, 냉각 후의 열연 강판을 냉간 압연하여 냉연 강판을 얻는 냉연 공정과, 냉연 강판을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비한다. 열연판 어닐링은 생략해도 된다. 이 경우, 열연 강판의 권취 공정에서의 냉각에 있어서는, 700℃ 내지 500℃(고온측)의 온도역의 체재 시간에 비하여 500 내지 200℃(저온측)의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 100초 이상으로 한다. 또한, 체재 시간의 상한에 대해서는 정하는 것은 아니다. 단, 조업상의 관점에서 너무 장시간 체재시킬 필요성도 없고, 예를 들어 10000초 정도를 상한으로 해도 된다. 권취 공정에서의 냉각에 관하여, 각 온도역에서의 체재 시간은 후에 상세하게 설명한다. 또한, 마무리 어닐링 공정에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만 이하, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다.

[0211] 또한, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 다른 제조 방법은, 열연 강판의 어닐링(열연판 어닐링)을 포함해도 된다. 즉, 상기의 화학 조성의 슬래브를 가열한 후 열간 압연을 실시하여 열연 강판으로 하고, 얻어진 열연 강판을 권취하여, 냉각하고, 냉각 후의 열연 강판을 가열, 냉각하는 어닐링을 실시하고, 어닐링 후의 열연 강판을 냉간 압연하고, 냉간 압연 후의 강판을 마무리 어닐링함으로써 제조해도 된다. 구체적으로, 본 실시 형태의 무방향성 전자 강판의 다른 제조 방법은, 상기의 화학 성분을 갖는 강 슬래브를 열간 압연하여 열연 강판을 얻는 열연 공정과, 열연 강판을 권취하고, 냉각하는 권취 공정과, 냉각 후의 열연 강판을 가열, 냉각하는 열연판 어닐링 공정과, 열연판 어닐링 공정 후의 열연 강판을 냉간 압연하여 냉연 강판을 얻는 냉연 공정과, 냉연 강판을 마무리 어닐링하는 마무리 어닐링 공정을 구비한다. 이 경우에는, 열연 강판의 어닐링(열연판 어닐링)에 있어서의 냉각에 있어서, 700℃ 내지 500℃(고온측)의 온도역의 체재 시간에 비하여 500 내지 200℃(저온측)의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 한다. 또한, 열연판 어닐링을 행하는 경우의 전술한 온도역의 체재 시간의 상한에 대해서는 정하는 것은 아니다. 단, 조업상의 관점에서 너무 장시간 체재시킬 필요성도 없고, 예를 들어 10000초 정도를 상한으로 해도 된다. 권취 공정에서의 냉각에 관하여, 각 온도역에서의 체재 시간은 후에 상세하게 설명한다. 또한, 마무리 어닐링에 있어서, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다.

[0212] 슬래브는, 상기의 화학 조성을 갖는 강을, 연속 주조법 또는 강괴를 분괴 압연하는 방법 등의 일반적인 방법에 의해 얻을 수 있다. 이어서, 슬래브를 가열로에 장입하여 가열한 후, 열간 압연을 실시하여 열연 강판을 얻는다. 단, 슬래브 온도가 높은 경우에는 가열로에 장입하지 않고 열간 압연을 실시해도 된다. 이 공정에 의해, 열연 강판이 얻어진다. 슬래브 가열 온도는 특별히 한정되는 것은 아니지만, 비용 및 열간 압연성의 관점에서 1000 내지 1300℃로 하는 것이 바람직하다.

[0213] 강 슬래브를 제조 후, 강 슬래브를 재가열하고, 열간 압연을 실시하여, 열연 강판으로 한다. 열간 압연의 조건

은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 마무리 압연 시의 최종 압연 온도는 700 내지 1050℃로 할 수 있다. 또한, 열간 압연 후의 열연 강관의 관 두께에 대해서도, 특별히 규정하는 것은 아니지만, 열간 압연과 그 이후의 공정 능률을 고려하여, 예를 들어 1.5 내지 3.0mm 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0214] 계속하여 열간 압연 후의 열연 강관을, 권취하고, 냉각한다. 권취 온도는, 예를 들어 700 내지 1000℃로 할 수 있다. 후술하는 열연관 어닐링을 생략하는 경우에는, 열연 강관의 권취 공정에서의 냉각에 있어서는, 700℃ 내지 500℃(고온측)의 체재 시간에 비하여 500 내지 200℃(저온측)의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 100초 이상으로 한다. 700 내지 500℃(고온측)의 체재 시간에서 입계에 P가 일부 편석한다. 그러나, 500℃ 내지 200℃(저온측)의 체재 시간을 충분히 길게 함으로써, 500℃ 내지 200℃의 체재 시간 사이에 결정립계에 C가 편석하는 것이 촉진되고, 결과, 마무리 어닐링 시에 다시 P가 입계 편석하는 것을 억제할 수 있다. 반대로 500℃ 내지 200℃의 체재 시간이 너무 짧으면, C의 편석이 작아짐으로써 P가 입계에 편석하기 쉬워진다. 또한, 저온측에서의 체재 시간이 길어도, 그 체재 시간이 고온측에서의 체재 시간보다도 짧으면, 고온측에서의 P의 편석을 충분히 회피하는 것이 곤란해진다. 이 관점에서, 700℃ 내지 500℃(고온측)의 체재 시간의 상한은, 200초 이하로 하고, 또한, 고온측과 저온측의 각 체재 시간의 차분이, 고온측의 체재 시간의 10% 이상인 것이 바람직하다. 700℃ 내지 500℃(고온측)의 체재 시간의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 조업상의 관점에서, 80초 이상으로 해도 된다.

[0215] 냉각 후, 열연관 어닐링을 실시해도 된다. 열연관 어닐링은, 예를 들어 950℃ 이상 1050℃ 이하에서 10초간 이상 3분간 이하 유지하는 연속 어닐링으로 실시할 수 있다. 혹은, 열연관 어닐링은 750℃ 이상 900℃ 이하에서 1시간 이상 유지하는 배치 어닐링으로 행해도 된다.

[0216] 열연관 어닐링을 행하는 경우에는, 그 후의 냉각에 있어서, 700 내지 500℃(고온측)의 온도역의 체재 시간에 비하여 500 내지 200℃(저온측)의 온도역의 체재 시간을 길게 하고, 또한 500 내지 200℃의 온도역의 체재 시간을 10초 이상으로 한다. 저온측의 체재 시간이 너무 짧으면, P가 입계에 편석하기 쉬워진다. 열연관 어닐링을 실시하는 경우의 냉각 과정에 있어서의 체재 시간의 상한은 정하는 것은 아니다. 단, 조업상의 관점에서, 너무 장시간 체재시킬 필요는 없고, 예를 들어 10000초 정도를 초과하여 체재시킬 필요성은 부족하다. 또한, 고온에서의 회복이나 미세결정부의 잔존에 의해 결정립계 이외의 많은 편석 사이트가 존재하는 열간 압연 후에 비하여, 열연관 어닐링 후에는 재결정으로 정립화가 진행되고 있기 때문에 석출 사이트가 한정되고 있다. 또한 열연관 어닐링 후에는 입성장 시의 드래그 효과에 의해 입계 부근에서의 편석도도 높다. 그 때문에, 열연관 어닐링 시의 쪽이, 체재 시간이 단시간으로도 P의 편석을 적게 할 수 있다고 생각된다. 또한, 열연관 어닐링을 생략한 경우(상기 참조)를 마찬가지로, 저온측에서의 체재 시간이 길어도, 그 체재 시간이 고온측에서의 체재 시간보다도 짧으면, 고온측에서의 P의 편석을 충분히 회피하는 것이 곤란해진다. 이 관점에서, 700℃ 내지 500℃(고온측)의 체재 시간의 상한은, 20초 이하로 하고, 또한, 고온측과 저온측의 각 체재 시간의 차분이, 고온측의 체재 시간의 10% 이상인 것이 바람직하다. 700℃ 내지 500℃(고온측)의 체재 시간의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 조업상의 관점에서, 5초 이상으로 해도 된다.

[0217] 계속해서, 열연 강관을 냉간 압연한다. 냉간 압연은, 예를 들어 실온 내지 300℃의 온도 범위에서, 합계의 압하율을 70 내지 90%로 하여 행할 수 있다. 특히 얇은 전자 강관으로 하는 것이면, 합계의 압하율은 80% 이상으로 할 수 있다. 냉연의 전체 압하율은, 압연기의 능력이나 관 두께 정밀도 등 제조 관리를 고려하면, 90% 이하인 것이 바람직하다. 또한, 필요에 따라, 열연 강관에 산세를 실시한 후에, 냉간 압연해도 된다. 냉연의 압하율은 특별히 한정되지 않는다.

[0218] 냉간 압연 후, 강관에 마무리 어닐링을 실시하고, 무방향성 전자 강관을 얻는다. 마무리 어닐링 공정에 있어서는, 최고 온도를 900℃ 미만, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다. 이에 의해, P가 확산하고, 입계에 편석하는 것을 방지한다. 최고 온도가 900℃를 초과하면, 편석하고 있었던 C가 확산하여 균질화해 버려, P의 입계 편석이 촉진될 우려가 있다. 그 때문에, 마무리 어닐링 공정에서의 최고 온도는, 바람직하게는 880℃ 이하, 보다 바람직하게는 850℃ 미만이다. 또한, 최고 온도의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 자기 특성의 관점에서, 700℃ 이상으로 하는 것이 바람직하다. 최고 온도가 700℃ 미만인 경우에는, 재결정 및 결정립 성장이 불충분해져 철손이 열위로 된다.

[0219] 또한, 마무리 어닐링 공정의 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역은, P의 확산 거동을 제어함에 있어서 중요한 온도역이다. 즉, P의 확산을 억제하여 P의 입계 편석을 억제하기 위해서는, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 온도역에 있어서의 평균 냉각 속도를 높이는 것이 효과적이다. 따라서, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 20℃/초 이상으로 한다. 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의

영역의 평균 냉각 속도는, 바람직하게는 25℃/초 이상이고, 보다 바람직하게는 30℃/초 이상이다.

- [0220] 또한, 마무리 어닐링의 가열 시의 평균 승온 속도는 특별히 한정되지 않지만, 양호한 자속 밀도를 얻는 관점에서, 20 내지 1000℃/초로 해도 된다.
- [0221] 또한, 마무리 어닐링 공정에서의 어닐링 분위기는, 특별히 한정되지 않지만, P의 입계 편석을 억제하는 관점에서, 환원성 분위기로 하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 건질소 수소 혼합 분위기로 하는 것이 바람직하고, 수증기 분압으로서 PH₂O/PH₂를 0.1 이하로 하는 것이 바람직하다. 어닐링 분위기가 산화성 분위기의 경우에는, 탈탄이 발생해 버려, P의 입계 편석을 억제하는 C의 입계 편석이 감소해 버린다. 그 결과, P가 입계 편석하는 것을 촉진해 버린다.
- [0222] 이상과 같이 제조된 본 실시 형태의 무방향성 전자 강관은, 550MPa 이상의 높은 인장 강도와 함께, 높은 내충격성을 갖는다.
- [0223] 본 실시 형태의 무방향성 전자 강관을 사용하여, 전동기를 제조할 수 있다. 전동기의 코어는, 상기 화학 조성을 갖는 본 실시 형태의 무방향성 전자 강관을 코어 형상으로 가공하여 코어 원관을 제작하고, 복수의 코어 원관을 적층하여 코어 소재로 한다. 코어 중, 로터 코어는 코어 소재를 어닐링하지 않고 사용되어도 된다. 한편, 스테이터 코어는, 코어 소재(스테이터 코어 소재)에 대하여 가열, 냉각하는 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하여 사용됨으로써, 또한 저철손인 전동기를 얻을 수 있다.
- [0224] 이때, 상기 스테이터 코어 소재의 응력 제거 어닐링에 있어서, 가열 온도를 750 내지 850℃, 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도를 5℃/분 이하로 한다. 이에 의해, 스테이터 코어의 결정립계를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700SB}와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120SB}의 비(P_{120SB}/Fe_{700SB})_{SB}가, 결정립 내를 오제 전자 분광법으로 측정했을 때의 700eV에 있어서의 Fe의 피크간 높이 Fe_{700Si}와, 120eV에 있어서의 P의 피크간 높이 P_{120Si}의 비(P_{120Si}/Fe_{700Si})_{Si}의 4.0배 이상으로 할 수 있다. 또한, 인장 강도가 500MPa 이상인 고강도의 스테이터 코어를 얻을 수 있다. 응력 제거 어닐링의 냉각 과정에 있어서의 700 내지 500℃의 영역의 평균 냉각 속도의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 과잉으로 장시간으로 해도 생산성을 저해해 버리기 때문에, 1℃/분 이상으로 해도 된다.
- [0225] 즉, 부재(코어)로서 가공할 때에 무방향성 전자 강관에 도입되는 가공 변형을 제거하기 위한 응력 제거 어닐링 후에는, 상술한 무방향성 전자 강관의 경우와는 다르게, P를 입계에 편석시키는 것이 바람직하다. 그 이유는, P를 결정립계에 편석시킴으로써, 결정립계에 TiC 등의 탄화물이 석출되는 것을 억제할 수 있고, 철손을 개선할 수 있기 때문이다. 또한, 이 응력 제거 어닐링에 의해, Si, Mn양이 높은 것에 의한 P의 입계 편석의 촉진 효과가 얻어지고, 무방향성 전자 강관의 제조 경우와는 다르게, 좋은 효과가 얻어진다.
- [0226] **실시예**
- [0227] 이하, 실시예를 예시하여, 본 개시를 구체적으로 설명한다. 또한, 실시예의 조건은, 본 개시의 실시 가능성 및 효과를 확인하기 위하여 채용한 일례이고, 본 개시는 실시예의 조건에 한정되는 것은 아니다. 본 개시는, 그 요지를 일탈하지 않고, 그 목적을 달성하는 한에 있어서, 다양한 조건을 채용할 수 있는 것이다.
- [0228] 표 1A, 표 1B에 나타내는 성분을 갖는 슬래브에, 열간 압연(열연판의 판 두께: 2.0mm), 열연판 어닐링, 냉간 압연(합계 압하율: 87.5%), 마무리 어닐링을 실시하여, 판 두께 0.25mm의 무방향성 전자 강관을 제작하였다. 마무리 어닐링에 있어서, 표 1에 나타내는 최고 온도까지의 평균 승온 속도는 50℃/초로 하고, 어닐링 분위기는 20% H₂+80% N₂(PH₂O/PH₂=0.03)로 하였다. 또한, 표 1A, 표 1B의 화학 조성에 있어서의 밀줄은, 본 발명의 범위 외의 조성인 것을 나타내고, "-"는, 대응하는 원소 함유량이, 실시 형태에 규정의 유효 숫자(최소 자릿수까지의 수치)에 있어서, 0%인 것을 의미한다. 또한, 표 1의 B양에 있어서의 「<0.0001」은, 검출 한계값(0.0001%) 미만인 것을 의미한다.
- [0229] 열연판 어닐링의 냉각에 있어서의 700 내지 500℃(고온측) 및 500 내지 200℃(저온측) 각각의 체재 시간, 마무리 어닐링의 최고 온도, 평균 냉각 속도는 표 2에 나타내는 조건으로 하였다. 또한, No.4, 7에서는 열연판 어닐링은 생략하였다. No.4, 7의 「체재 시간」은, 열연 강관의 권취 후의 냉각에 있어서의 700 내지 500℃, 500 내지 200℃ 각각의 체재 시간을 나타낸다.
- [0230] 얻어진 무방향성 전자 강관의 인장 강도, 충격 흡수 에너지, 결정립계, 결정립 내의 P₁₂₀/Fe₇₀₀의 비율을, 전술한

방법으로 측정하였다. 결과를 표 2에 나타낸다.

- [0231] 또한, 표 2의 「마무리 어닐링 후」의 「입계/입자 내」는, $\{(P_{120B}/Fe_{700B})_B/(P_{120i}/Fe_{700i})_i\}$ 를 의미하고, 「코어 어닐링 후」의 「입계/입자 내」는, $\{(P_{120SB}/Fe_{700SB})_{SB}/(P_{120Si}/Fe_{700Si})_{Si}\}$ 를 의미한다.
- [0232] 충격 흡수 에너지는, $200J/cm^2$ 이상이면, 내충격성이 우수하다고 판단하였다.
- [0233] 또한, 얻어진 무방향성 전자 강관을 스테이터 코어 형상으로 가공하여 스테이터 코어 소재를 제작하고, 가열, 냉각하는 응력 제거 어닐링(코어 어닐링)을 실시하였다. 응력 제거 어닐링에 있어서의 가열 온도는 $800^{\circ}C$, 700 내지 $500^{\circ}C$ 의 영역의 평균 냉각 속도는 $3^{\circ}C/분$ 으로 하였다. 응력 제거 어닐링 후의 가공품에 대해서, $400Hz$ 에서의 히스테리시스 손실(Wh10/400)을 구하였다. 결과를 표 2에 나타낸다. Wh10/400이, $5.6W/kg$ 미만이면 자기 특성이 우수하다고 판단하였다.
- [0234] 또한, 히스테리시스 손실은, 다음의 방법으로 측정하였다. 응력 제거 어닐링 후의 가공품의 철손(Wh10/400)을, JIS C 2550의 직류 측정에 준거하여 측정한 Wh10/1을 400배로 하였다.
- [0235] 표 2에 있어서의 밑줄은, 본 발명의 범위 외, 또는, 목표로 하는 특성이 얻어지지 않고 있는 것을 나타낸다.
- [0236] 본 발명에 따르면, 고강도이고, 내충격성이 우수한 무방향성 전자 강관이 얻어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 본 발명의 무방향성 전자 강관을 소재로 한 스테이터 코어는, 우수한 자기 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

[표 1A]

강종	화학 조성(원량%, 잔부: Fe 및 불순물)																
	C	Si	solAl	Mn	Cr	P	S	O	N	Ti	Mo	B	Ni	Cu	Sn	Sb	Ca
A	0.0020	3.3	0.3	1.0	0.05	0.01	0.0010	0.0023	0.0014	0.0010	0.0053	<0.0001	-	-	-	-	-
B	0.0018	3.7	0.3	0.9	0.03	0.01	0.0006	0.0019	0.0028	0.0010	0.0143	0.0001	0.05	0.06	-	-	-
C	0.0017	3.4	1.2	0.5	-	0.04	0.0022	0.0122	0.0026	0.0024	0.0836	0.0002	-	-	-	-	0.0010
D	0.0022	3.8	0.2	1.1	0.01	0.01	0.0013	0.0031	0.0018	0.0007	0.0273	0.0008	-	-	-	-	-
E	0.0012	3.2	0.8	0.3	0.09	0.07	0.0027	0.0321	0.0024	0.0017	0.0240	0.0004	-	-	-	-	-
F	0.0025	3.4	0.7	0.5	0.05	0.02	0.0007	0.0027	0.0021	0.0011	0.0008	0.0004	-	-	-	-	-
G	0.0024	3.3	0.5	0.6	0.12	0.01	0.0012	0.0031	0.0027	0.0012	0.0147	0.0007	-	-	-	-	-
H	0.0018	3.2	1.1	0.5	0.05	0.01	0.0032	0.0029	0.0024	0.0012	0.0226	0.0006	-	-	-	-	-
I	0.0021	3.4	0.7	0.7	0.06	0.02	0.0018	0.0017	0.0022	0.0016	0.0253	0.0013	-	-	-	-	-
J	0.0024	3.1	0.4	0.2	0.05	0.05	0.0011	0.0032	0.0022	0.0014	0.0154	0.0002	-	-	-	-	-
K	0.0037	4.3	0.2	0.2	0.02	0.01	0.0007	0.0023	0.0016	0.0013	0.0047	0.0004	-	-	0.0127	0.0040	0.0004
L	0.0025	3.2	1.8	3.1	0.02	0.02	0.0016	0.0034	0.0014	0.0014	0.0133	0.0001	-	-	-	-	-
M	0.0024	3.4	0.3	0.5	0.04	0.01	0.0013	0.0027	0.0024	0.0013	0.0117	0.0003	-	-	-	-	-
N	0.0023	3.3	0.2	0.2	0.02	0.01	0.0014	0.0026	0.0021	0.0013	0.0057	0.0002	-	-	-	-	-
O	0.0031	3.3	0.3	0.4	0.03	0.01	0.0011	0.0041	0.0011	0.0017	0.0147	<0.0001	-	-	0.0360	0.0041	-

[0237]

[0238]

[표 1B]

강종	화합 조성(질량%, 잔부: Fe 및 불순물)																
	Zn	La	Ce	V	W	Zr	Nb	Mg	Bi	Nd	Y	Ga	Ge	Co	Se	Pb	As
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	0.0010	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-	0.0005	-	0.0006	-	-	-	-	-	0.0005	0.0050
L	0.0017	-	-	-	-	0.0013	0.0008	-	0.0011	-	0.0012	0.0014	0.0011	-	-	-	-
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	0.0007	-	-	0.0007	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0030	0.0014	-	-

[0239]

[0240]

[표 2]

No	강종	열연판 어닐링				마무리 어닐링	마무리 어닐링 후			코어 어닐링 후			비고	
		가열 온도 (°C)	유지 시간 (초)	700~500°C 체재 시간 (초)	500~200°C 체재 시간 (초)		최고 온도 (°C)	평균 냉각 속도 (°C/s)	TS (MPa)	충격 흡수 에너지 (J/cm ²)	(P ₁₂₀ /Fe ₁₀₀) 인계/입자 내	TS (MPa) 인계, 입자 내		Wh10/400 (M/kg)
1	A	950	40	13	15	810	25	599	244	1.2	547	4.9	5.2	발명예
2	A	950	20	5	8	800	25	594	154	2.1	543	4.5	5.3	비교예
3	A	975	60	13	15	910	25	564	151	2.1	545	4.2	5.5	비교예
4	A	없음	없음	130	150	820	25	589	254	1.1	544	4.7	5.3	발명예
5	B	1000	40	12	15	850	25	625	233	1.4	589	4.7	5.3	발명예
6	B	950	40	13	15	830	17	627	114	2.5	590	5.1	5.2	비교예
7	B	없음	없음	70	80	850	25	624	126	2.9	587	4.8	5.2	비교예
8	B	없음	없음	150	110	800	23	635	113	2.4	588	4.8	5.2	비교예
9	C	970	100	11	15	870	25	632	201	1.7	600	5.2	5.3	발명예
10	C	950	150	10	15	910	25	617	127	2.8	603	5.2	5.2	비교예
11	D	975	40	11	15	850	25	636	256	1.1	564	4.1	5.5	발명예
12	E	1025	50	11	15	850	25	600	204	1.7	570	5.4	5.1	발명예
13	E	1050	40	14	15	850	25	607	141	2.3	549	4.3	5.4	비교예
14	G	950	200	10	15	850	25	585	135	2.5	565	4.2	5.5	비교예
15	H	975	50	13	15	850	25	601	129	2.5	575	3.7	5.8	비교예
16	I	950	60	13	15	850	25	611	125	2.7	524	3.4	5.9	비교예
17	J	1000	40	12	15	890	25	545	201	1.1	525	3.4	6.0	비교예
18	K	1025	60	10	20	750	30	705	243	1.1	636	4.8	5.3	발명예
20	M	975	50	25	20	890	25	564	145	2.3	548	3.9	5.7	비교예
21	N	1000	70	10	20	900	25	542	153	2.1	526	4.8	5.2	비교예
22	O	1000	60	15	20	800	30	596	223	1.4	535	5.1	5.2	발명예

[표 2]

[0241]

[0242]