



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월06일
(11) 등록번호 10-2740117
(24) 등록일자 2024년12월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01) C22C 38/16 (2006.01)
C22C 38/34 (2006.01) C22C 38/38 (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
C21D 8/1283 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7010998
- (22) 출원일자(국제) 2020년05월13일
심사청구일자 2022년04월01일
- (85) 번역문제출일자 2022년04월01일
- (65) 공개번호 10-2022-0054871
- (43) 공개일자 2022년05월03일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2020/019159
- (87) 국제공개번호 WO 2021/084785
국제공개일자 2021년05월06일
- (30) 우선권주장
JP-P-2019-196428 2019년10월29일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
KR101628193 B1*
KR1020150057998 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자
오다 요시히코
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
자이젠 요시아키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 5 항

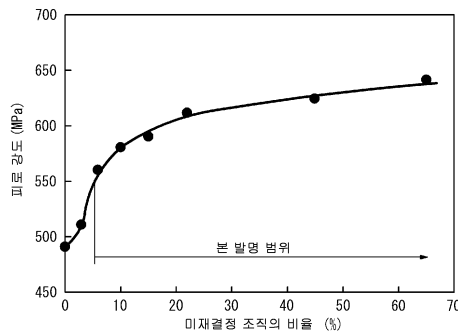
심사관 : 박선아

(54) 발명의 명칭 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법

(57) 요약

IPM 모터의 로터에 사용하여 바람직한, 자속밀도 B₅₀ 과 고주파 철손 특성이 우수하고 또한 인장 강도와 피로 강도가 높고, 인장 강도의 편차가 적은 무방향성 전기 강판을 제공한다. 무방향성 전기 강판은, 소정의 강판 성분의 조성을 갖고, 미세결정 조직의 비율이 5 ~ 70 % 이며, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수가 5 개/mm² 이하인 조직을 갖는다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- C22C 38/001 (2013.01)
- C22C 38/04 (2013.01)
- C22C 38/06 (2013.01)
- C22C 38/12 (2013.01)
- C22C 38/14 (2013.01)
- C22C 38/16 (2013.01)
- C22C 38/34 (2013.01)
- C22C 38/38 (2013.01)
- H01F 1/147 (2013.01)

(72) 발명자

오쿠보 도모유키

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이산
부 나이

다나카 다카아키

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이산
부 나이

미야모토 유키노

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이산
부 나이

명세서

청구범위

청구항 1

질량% 로,

C : 0.0010 ~ 0.0100 % ,

P : 0.004 ~ 0.100 % ,

Si : 2.00 ~ 5.00 % ,

Mn : 0.2 ~ 5.00 % ,

Al : 0.1 ~ 3.00 % ,

S : 0.0007 ~ 0.0100 % ,

N : 0.0012 ~ 0.0050 % ,

Zn : 0.0005 ~ 0.0030 % ,

Mo : 0.001 ~ 0.100 % ,

Cu : 0 ~ 0.2 % ,

Nb : 0.001 ~ 0.010 % , 및

O : 0.0008 ~ 0.0050 %

이며, 잔부는 Fe 및 불가피 불순물인 강판 성분의 조성을 갖고,

미재결정 조직의 비율이 5 ~ 70 % 이며, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수가 5 개/ mm^2 이하인 조직을 갖는, 것을 특징으로 하는 무방향성 전기 강판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 강판 성분으로서, 추가로, Cr : 0.010 ~ 5.000 질량% 를 포함하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 강판 성분으로서, 추가로, Ca : 0.0010 ~ 0.0050 질량% 를 포함하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 강판 성분으로서, 추가로, Sn : 0.001 ~ 0.100 질량% 및 Sb : 0.0010 ~ 0.1000 질량% 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 무방향성 전기 강판.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 무방향성 전기 강판을 제조하는 방법으로서, 진공 탈가스 시에 탈산제를 투입 후, 10 분 이상 교반을 실시하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전기 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은, 성분 조성과 강판 조직을 제어한 고주파 철손 특성이 우수하고 또한 피로 강도가 높은 무방향성 전기 강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 에너지 절약을 중시하는 전기 자동차나 에어컨에 사용되는 모터에는, 매립 자석형 모터 (IPM 모터) 가 사용된다. 이 IPM 모터용의 로터는, 전기 강판에 형성된 슬롯부에 영구자석이 매립되어 있다. 이 로터의 고속 회전 시에는, 회전의 원심력에 의해, 영구자석을 지지하는 슬롯부의 브릿지부에 큰 응력이 가해지게 되어, 브릿지부의 파손이 발생하게 된다.

[0003] 이 문제에 대해, 브릿지부의 강도 향상의 관점에서는 브릿지부의 폭을 넓게 하면 되지만, 브릿지부의 폭을 넓게 하면, 영구자석의 누설 자속이 많아져, 모터 효율이 저하된다는 다른 문제가 생긴다.

[0004] 따라서, 상기 브릿지부의 폭은, 로터 강도가 성립하는 범위에서 가능한 한 좁게 설계되게 된다.

[0005] 또, 전기 자동차용의 모터에서는, 차의 발진이나, 가속, 정지에 대응하여, 로터의 브릿지부에 반복의 부하가 가해지게 된다.

[0006] 따라서, 상기 브릿지부는, 고속 회전 시의 원심력에 견딜 수 있을 뿐만 아니라, 반복의 부하에 대응한 강도를 가지고 있는 것도 필요하게 된다.

[0007] 그 때문에, 로터의 소재로서 사용되는 전기 강판에는, 좁은 브릿지부의 폭이어도, 고속 회전 시의 원심력에 견딜 수 있는 강도 즉 우수한 인장 강도와, 반복의 부하에 대응한 강도 즉 우수한 피로 강도가 필요로 된다.

[0008] 또한, 영구자석을 사용한 모터에서는, 티스부는 자석 자속에 의해 1.50 T 이상으로 여자되기 때문에, 자속밀도 B_{50} 은 1.50 T 이상이 필요로 된다. 또, 로터 표면에 있어서, 고조파에서 기인한 철손이 발생하기 때문에, 이러한 전기 강판은, 고주파 철손이 낮을 것이 요구된다.

[0009] 이와 같은 로터용 재료로서, 예를 들어 특허문헌 1 에는, Si : 0.2 ~ 3.5 %, Al : 2.50 % 이하, Nb : 0.05 ~ 8.0 % 로 한 고강도 전기 강판이 개시되어 있다.

[0010] 또, 특허문헌 2 에는, Si : 2.0 % 이상 3.5 % 이하, Al : 0.02 % 이상 3.0 % 이하, N : 0.005 % 이상 0.020 % 이하를 만족하는 성분을 함유하고, 제품판 표면으로부터 깊이 10 μm 까지의 평균 결정 입경이 10 μm 이하인 고강도 전기 강판이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 일본 특허 제5445194호
 (특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 2005-113252호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 그러나, 특허문헌 1 에 기재된 전기 강판은 Nb 의 석출 강화를 활용하고 있기 때문에, 강도는 높아지지만, 철손이 증가해 버린다는 과제가 있다.

[0013] 또, 특허문헌 2 에 기재된 전기 강판은, 강 중의 질소량이 높기 때문에, 이 발명도 또 철손이 증가해 버린다는 과제가 있다.

[0014] 또한, 전기 강판의 인장 강도 및 피로 강도의 개선을 도모하는 수법으로서 C, S 및 N 등의 불순물 원소를 저감하면서, 결정의 세립화를 도모하는 수법이 유효하다는 것이 알려져 있다.

[0015] 그러나, 당해 수법에서는, C, S 및 N 량의 약간의 변동에 따라 결정 입경이 변화하기 때문에, 제조되는 전기 강

관 간에서의 인장 강도의 편차가 커진다는 문제가 있어, 그 역제가 과제였다.

[0016] 본 발명은, 이들 사정을 감안하여 이루어진 것으로, IPM 모터의 로터에 사용하여 바람직한, 자속밀도 B₅₀ 과 고주파 철손 특성이 우수하고 또한 인장 강도와 피로 강도가 높고, 인장 강도의 편차가 적은 무방향성 전기 강판을 그 제조 방법과 함께 제안하는 것을 목적으로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명자들이 상기 과제의 해결에 관하여 예의 검토했는데, 미재결정 조직을 포함하는 무방향성 전기 강판에 있어서, Zn 및 Mo 의 첨가량을 적절히 제어하고, 또한, 강 중 개재물을 저감함으로써, 자속밀도 B₅₀ 과 고주파 철손 특성이 우수할 뿐만 아니라, 피로 강도와 인장 강도가 높고 또한 인장 강도의 편차도 저감할 수 있는 것을 알아냈다.

[0018] 본 발명은 이러한 지견에 근거하여 이루어진 것으로, 본 발명은, 이하의 구성을 갖는다.

[0019] 1. 질량% 로, C : 0 ~ 0.0100 %, P : 0 ~ 0.100 %, Si : 2.00 ~ 5.00 %, Mn : 0 ~ 5.00 %, Al : 0 ~ 3.00 %, S : 0 ~ 0.0100 %, N : 0 ~ 0.0050 % 이하, Zn : 0.0005 ~ 0.0030 %, Mo : 0.001 ~ 0.100 %, Cu : 0 ~ 0.2 %, Nb : 0 ~ 0.010 %, 및 O : 0 ~ 0.0050 % 이며, 잔부는 Fe 및 불가피 불순물인 강판 성분의 조성을 갖고, 미재결정 조직의 비율이 5 ~ 70 % 이며, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수가 5 개/mm² 이하인 조직을 갖는, 것을 특징으로 하는 무방향성 전기 강판.

[0020] 2. 상기 강판 성분으로서, 추가로, Cr : 0.010 ~ 5.000 질량% 를 포함하는, 상기 1 에 기재된 무방향성 전기 강판.

[0021] 3. 상기 강판 성분으로서, 추가로, Ca : 0.0010 ~ 0.0050 질량% 를 포함하는, 상기 1 또는 2 에 기재된 무방향성 전기 강판.

[0022] 4. 상기 강판 성분으로서, 추가로, Sn : 0.001 ~ 0.100 질량% 및/또는 Sb : 0.0010 ~ 0.1000 질량% 를 포함하는, 상기 1 ~ 3 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전기 강판.

[0023] 5. 상기 1 ~ 4 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전기 강판을 제조하는 방법으로서, 진공 탈가스 시에 탈산제를 투입 후, 10 분 이상 교반을 실시하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전기 강판의 제조 방법.

발명의 효과

[0024] 본 발명은, 자속밀도 B₅₀ 과 고주파 철손 특성이 우수할 뿐만 아니라, 피로 강도가 높고, 높은 인장 강도의 편차가 적은 고속 모터용의 로터 재료를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1 은, 미재결정 조직의 비율과 피로 강도의 관계를 나타내는 도면이다.

도 2 는, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수와 피로 강도의 관계를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 본 발명의 해명 경위 그리고 그 상세 및 그 한정 이유를 설명한다.

[0027] 무방향성 전기 강판에는, 미재결정 조직을 갖는 것이 있다. 미재결정 조직이란, 재결정이 완료되어 있지 않은 조직이다. 재결정이란 고온에서 재료를 유지함으로써, 전위밀도가 현저하게 낮은 결정립이 생성, 성장하는 것이며, 광학 현미경에 의한 관찰에 의해, 재결정립과 미재결정립은 구별할 수 있다. 강 중의 미재결정 조직의 비율이 많으면, 피로 강도가 높아지는 한편, 철손이 악화되는 경향이 있다.

[0028] 그래서, 발명자들은, 최초로, 피로 강도에 미치는 미재결정 조직의 영향에 대해 조사하기 위해, 질량% 로, C : 0.0015 %, Si : 3.7 %, Al : 0.5 %, Mn : 0.7 %, P : 0.01 %, S : 0.001 %, N : 0.0016 %, Zn : 0.0012 %, O : 0.0015 % 로 한 강 (이하, 강 성분에 관련된 % 는 질량% 를 의미한다) 을 실험실에서 용해하고, 판두께 : 1.6 mm 까지 열간압연을 실시하여, 열간압연판을 제작하였다. 이 열간압연판에 100 vol% N₂ 분위기에서 950 °C × 30 s 의 열연판 어닐링을 실시하고, 산세 후, 판두께 0.25 mm 까지 냉간압연하고, 20 vol

% H₂-80 vol% N₂ 분위기에서 550 ~ 800 °C × 10 s 간의 마무리 어닐링을 실시하여 마무리 어닐링판으로 하였다.

- [0029] 상기 마무리 어닐링판으로부터 평행부의 폭 : 5 mm, 길이 : 150 mm 의 피로 시험편을 압연 방향 및 압연 직각 방향으로부터 잘라내었다. 평행부는 경면 마무리로 하고, 또한 길이 방향으로 800 번의 에머리지로 연마를 실시하였다. 피로 시험은, 인장-인장 응력비 : 0.1, 주파수 : 20 Hz 로 실시하고, 10⁷ 회의 반복에 있어서도 파단이 생기지 않는 응력 진폭을 마무리 어닐링판의 피로 강도로 하였다.
- [0030] 또한, 상기 경면 마무리는, 500 번의 번수의 다이아몬드 지석으로 연마한 표면을 가리킨다.
- [0031] 도 1 에, 강판의 피로 강도에 미치는 미세결정 조직의 영향을 나타낸다. 여기서, 본 발명에 있어서의 피로 강도는 압연 방향 및 압연 직각 방향의 평균치를 나타낸다. 또, 조직 관찰에 있어서는, 강판 압연 방향 단면을 연마하고, 나이탈로 에칭한 후, 광학 현미경으로 실시하여, 강판 1 m² 당 랜덤으로 5 지점 샘플링하고, 1 지점당 1 cm² 의 측정 범위의 미세결정립의 비율을 구하였다. 또한, 본 발명에 있어서의 미세결정립의 비율은, 전체의 조직에 있어서의 비율 즉 면적률이지만, 이러한 비율은, 이 측정 수법을 사용한 결과이다.
- [0032] 도 1 로부터, 강 조직에 있어서의 미세결정 조직의 비율이 5 % 이상이 됨으로써, HEV/EV 모터 (IPM 모터) 의 고속 로터용 재료에서 필요로 되는 피로 강도 : 550 MPa 이상이 얻어지는 것을 알 수 있다. 이것은, 미세결정 조직에서는 전위가 많이 존재하고 있기 때문에, 전위의 파일 업이 생겨 보다 피로 강도가 높아지기 때문이라고 생각된다.
- [0033] 이상의 결과로부터, 미세결정 조직의 비율은 5 % 이상, 바람직하게는 15 % 이상으로 함으로써, 강판의 피로 강도가 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은, 미세결정 조직의 비율이 커짐에 따라, 피로 강도 및 인장 강도가 향상되기 때문이다. 한편, 강 조직에 있어서의 미세결정 조직의 비율이 70 % 를 초과한 경우에는 철손이 현저하게 높아진다. 그 때문에, 미세결정 조직의 비율은 70 % 이하, 바람직하게는 60 % 이하로 한다.
- [0034] 다음으로, 제조 안정성을 조사하기 위해, 개재물의 편차에 주목하고, C : 0.0018 %, Si : 3.5 %, Al : 0.65 %, Mn : 0.4 %, P : 0.01 %, S : 0.0008 %, N : 0.0016 % 및 Zn : 0.0011 % 를 함유하는 강을 실험실에서 10 차지 용해하고, 판두께 : 2 mm 까지 열간압연을 실시하여, 열간압연판을 제작하였다. 계속해, 이 열간압연판에, 100 vol% N₂ 분위기에서 1000 °C × 30 s 의 열연판 어닐링을 실시하고, 산세 후, 판두께 : 0.25 mm 까지 냉간압연하고, 20 vol% H₂-80 vol% N₂ 분위기에서 650 °C × 10 s 간의 마무리 어닐링을 실시하였다.
- [0035] 이렇게 해서 얻어진 강판의 피로 특성을 평가했는데, 일부 재료에서 피로 강도가 현저하게 낮은 재료가 확인되었다.
- [0036] 그래서, 이 원인을 조사하기 위해, 강판 판면을 알루미늄으로 연마하고, 나이탈로 부식한 재료를 SEM (주사 전자 현미경) 으로 관찰했는데, 조대한 개재물이 관찰되었다. 이 조대한 개재물이 피로 강도의 측정 시에 강판의 균열의 발생원이 되기 때문에, 피로 강도가 현저하게 저하한 것이라고 생각된다. 또한, 상기 개재물이란, 무방향성 전기 강판의 결정립 성장을 저해하는 것이며, 예를 들어, 유화동 (CuS) 이나 황화망간 (MnS) 등의 황화물, 실리카 (SiO₂) 나 알루미늄 (Al₂O₃) 등의 산화물, 질화알루미늄 (AlN) 이나 질화티탄 (TiN) 등의 질화물 등이 알려져 있다. 본 발명에 있어서, 개재물이란, 이들 산화물, 황화물, 질화물 등의 비금속 석출물을 의미하는 것으로 한다.
- [0037] 그래서, 피로 강도에 미치는 개재물 개수의 영향을 조사하기 위해, 강판 판면을 표면으로부터 50 μm 및 판두께 중앙까지 연마하고, 개재물의 개수를 각각 조사해 평균치를 구하였다. 도 2 에, 피로 강도에 미치는 개재물 개수의 영향을 나타낸다. 여기서, 개재물의 사이즈 및 개수의 평가는, 이하와 같이 하였다. 개재물의 사이즈로는, 개재물의 원 상당 직경을 구하였다. 개재물의 개수로는, 강판 1 m² 당 랜덤으로 20 지점 샘플링하고, 이러한 샘플링 1 지점의 관찰 시야 : 0.1 mm² 에 존재하는 개재물 개수를 카운트하고, 10 배하여 1 mm² 당의 개수를 구하였다. 또, 개재물로는, 피로 강도에 영향을 미치는 직경 5 μm 이상의 것을 측정하였다. 또한, 본 발명에 있어서의 개재물의 개수는, 전체의 조직에 있어서의 개수의 평균이지만, 이러한 개수는, 이 측정 수법을 사용한 결과를 사용한다.
- [0038] 도 2 로부터, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수가 5 개/mm² 를 초과하면, 피로 강도가 크게 저하하는 것을 알 수 있다. 종래의 전기 강판에서는, 피로 강도는 개재물의 영향을 그다지 받지 않지만, 고강도 전기

강관에서는, 개재물에서 기인하는 균열의 발생에 수반하여 피로 강도가 저하하는 것이라고 생각되어, 조대 개재물의 양을 저감할 필요가 있다. 또, 직경 5 μm 미만의 개재물은, 균열을 발생시키는 요인으로서 작용하지 않기 때문에, 영향은 거의 없다고 생각된다.

- [0039] 이상으로부터, 피로 강도를 550 MPa 이상으로 안정적으로 유지하기 위해서는, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수를 5 개/ mm^3 이하로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다.
- [0040] 또한, 도 2 에 기재된 결과를 구하기 위한 시험에 사용한 재료의 산소 농도를 측정했는데, 10 ~ 100 ppm 이었다. 일반적으로, 산소량 저감에 따라 강 중의 개재물량은 적어지는 것이 알려져 있다. 그러나, 상기의 시험에서는, 직경 5 μm 이상의 개재물의 개수와 산소량은 반드시 상관이 확인되지 않는 결과였다. 그 때문에, 산소량을 제한하는 것만으로는 피로 강도의 편차를 억제하기에는 불충분하여, 개재물을 제어하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.
- [0041] 본 발명에 있어서 강관의 성분 (이하, 강관의 성분에 관련된 % 는 질량% 를 의미한다) 은 이하의 범위로 한다.
- [0042] Si : 2.00 ~ 5.00 %
- [0043] Si 는, 강관의 고유 저항을 올리기 위해서 유효한 원소이기 때문에 하한을 2.00 % 로 하고, 보다 바람직하게는 3.50 % 이상으로 한다. 한편, 5.00 % 를 초과하면 포화 자속밀도의 저하에 수반하여 자속밀도가 저하할 뿐만 아니라 피로 강도가 저하한다, 그 때문에 상한은 5.00 % 로 한다.
- [0044] Al : 3.00 % 이하
- [0045] Al 은, Si 와 마찬가지로, 고유 저항을 올리기 위해서 유효한 원소이다. 그러나, 3.00 % 를 초과하면, 포화 자속밀도의 저하에 수반하는 자속밀도의 저하뿐만 아니라 피로 강도가 저하한다. 그 때문에 상한을 3.00 % 로 한다. 하한은 특별히 규정하지 않지만, 철손의 관점에서 바람직하게는 0.30 % 이상, 보다 바람직하게는 0.50 % 이상이다.
- [0046] C : 0.0100 % 이하
- [0047] C 는, 탄화물 석출에 의해 철손 증대를 일으킨다. 따라서 철손 증대를 억제하기 위해 0.0100 % 이하로 하고, 바람직하게는 0.0050 % 이하로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0048] Mn : 5.00 % 이하
- [0049] Mn 은, 강관의 고유 저항을 올리기 위해서 유효한 원소이다. 그러나 5.00 % 를 초과하면 자속밀도를 저하시키므로 상한을 5.00 % 로 하였다. 하한은 특별히 규정하지 않지만, 철손 저감의 관점에서 바람직하게는 0.10 % 이상이다.
- [0050] P : 0.100 % 이하
- [0051] P 는, 0.100 % 를 초과하여 첨가하면 강관이 취화하여, 냉간압연이 곤란해지기 때문에 0.100 % 이하로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0052] N : 0.0050 % 이하
- [0053] N 은, 함유량이 많은 경우에는 질화물의 석출량이 많아지고, 철손을 증대시키기 때문에 0.0050 % 이하로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0054] O : 0.0050 % 이하
- [0055] O 는, 0.0050 % 를 초과하면 산화물을 형성하여 자기 특성을 열화시키기 때문에, 상한을 0.0050 % 로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0056] S : 0.0100 % 이하
- [0057] S 는, 0.0100 % 를 초과하면 MnS 의 석출에 의해 철손이 증대하기 때문에, 상한을 0.0100 % 로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0058] Mo : 0.001 ~ 0.100 %
- [0059] Mo 는, 미세결정 조직을 안정시키기 위해 하한을 0.001 % 로 한다. 한편, 0.100 % 를 초과하면 철손이 현

저하게 증가하기 때문에, 상한을 0.100 %, 바람직하게는 0.010 % 로 한다.

- [0060] Cu : 0.2 % 이하
- [0061] Cu 는 0.2 % 를 초과하면 자속밀도를 저하시키기 때문에 상한을 0.2 % , 보다 바람직하게는 0.1 % 로 한다. 또한, 하한은 특별히 한정하지 않고 0 % 여도 된다.
- [0062] Nb : 0.010 % 이하
- [0063] Nb 는, NbC 등의 석출물을 형성하고, 고강도화에 기여하는 원소이지만, 석출물을 형성하면 철손이 현저하게 증가하기 때문에, 상한을 0.010 % 로 하고, 바람직하게는 0.005 % 이하로 한다. 하한은 특별히 한정하지 않지만, 고강도화를 위해서는 0.001 % 이상인 것이 바람직하다.
- [0064] Zn : 0.0005 ~ 0.0030 %
- [0065] Zn 는, 증기압이 높고 휘발하기 쉽기 때문에, 통상은 전기 강관에 혼입하지 않는 원소이다. 그러나, 탈산 후에 용강의 온도 조정 등을 스크랩 첨가에 의해 실시하면 강 중에 혼입하는 경우가 있다. 일반의 전기 강관에서는, 충분히 재결정시킨 재료를 제품으로서 출하하고 있기 때문에, Zn 이 혼입해도 강도 특성은 안정적이다. 그러나, 본 발명과 같이 미재결정 조직이 잔존하는 재료에서는 강도가 편차가 생기는 원인이 된다.
- [0066] 여기서, 강관의 강도 편차에 미치는 Zn 의 영향을 조사하기 위해, C : 0.0021 %, Si : 3.7 %, Al : 0.6 %, Mn : 0.8 %, P : 0.01 %, S : 0.001 %, N : 0.0013 %, Zn : 0.0003 ~ 0.0060 % 및 O : 0.0015 % 를 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피 불순물로 한 강을, 실험실에서 용해하고, 판두께 : 2 mm 까지 열간압연을 실시하였다. 계속해, 이들 열간압연을 실시한 강관에 100 vol% N₂ 분위기에서 1000 °C × 30 s 의 열연판 어닐링을 실시하고, 산세 후, 판두께 : 0.25 mm 까지 냉간압연하고, 20 vol% H₂-80 vol% N₂ 분위기에서 680 °C × 10 s 간의 마무리 어닐링을 실시하였다. 이러한 마무리 어닐링 후의 강관으로부터 JIS5 호 시험편을 20 개 채취하여 인장 시험을 실시하였다. 이 인장 시험의 결과로부터, 표준 편차 σ 를 구하고 Zn 량과 σ 의 관계를 플롯했는데, Zn 량이 0.0030 % 를 초과하면 σ 가 20 MPa 이상이 되어 편차가 커졌다. 이것은, Zn 혼입에 의해 재결정 거동이 불안정해져, 재결정률이 20 개 중에서 편차가 생기기 때문이라고 생각된다.
- [0067] 이 때문에, Zn 의 상한을 0.0030 % 로 한다. 이로써, 미재결정 조직이 잔존하는 전기 강관에 있어서 표준 편차 σ 를 20 MPa 이하로 억제할 수 있다. 하한은 적은 편이 바람직하지만, 0.0005 % 이하로 안정시키는 것은 비용 상승이 되기 때문에, 하한을 0.0005 % 로 한다.
- [0068] 또한, 본 발명의 강관 성분의 잔부는 Fe 및 불가피 불순물이다.
- [0069] 본 발명에서는, 상기 강관 성분 외에 이하의 성분을 적절히 함유할 수 있다.
- [0070] Cr : 0.010 ~ 5.000 %
- [0071] Cr 은, Si 와 마찬가지로 고유 저항을 올리기 위해서 효과적인 원소이다. 그 때문에, 첨가하는 경우에는 하한을 0.010 % 로 한다. 바람직하게는, 하한은 0.100 % 이다. 한편, 5.000 % 를 초과하면 포화 자속 밀도의 저하에 수반하여 자속밀도가 저하하기 때문에 상한을 5.000 % 로 하였다.
- [0072] Ca : 0.0010 ~ 0.0050 %
- [0073] Ca 는, CaS 로서 S 를 고정하고, 철손 저감에 기여하는 원소이다. 그 때문에, 첨가하는 경우에는 하한을 0.0010 % 로 한다. 한편, 0.0050 % 를 초과하면 효과가 포화하여, 헛되이 비용 상승을 초래하기 때문에 상한을 0.0050 % 로 한다.
- [0074] Sn : 0.001 ~ 0.100 % 및/또는 Sb : 0.0010 ~ 0.1000 %
- [0075] Sn 은, 집합 조직 개선에 의해 자속밀도 향상에 효과적인 원소이다. 그 때문에, 첨가하는 경우에는 하한을 0.001 % 로 한다. 한편, 0.100 % 를 초과하면 재료가 취화하기 때문에, 상한을 0.100 % 로 한다. 또, Sb 도, 집합 조직 개선에 의해 자속밀도 향상에 효과적인 원소이다. 그 때문에, 첨가하는 경우에는 하한을 0.0010 % 로 한다. 한편, 0.1000 % 를 초과하면 재료가 취화하기 때문에, 상한을 0.1000 % 로 한다.
- [0076] 여기서, 로터가 과회전한 경우에는, 상기 브릿지부에 과대한 응력이 가해져, 순시 파괴되는 경우가 있다. 이 순시 파괴를 방지하기 위해서는, 재료에 충분히 높은 인장 강도가 필요로 된다. 구체적으로는, 고속 구

동되는 HEV/EV 모터에서 인장 응력 : 700 MPa 이상이 필요하지만, 본 발명을 만족함으로써 안정적으로 700 MPa 이상의 인장 강도를 얻는 것이 가능해진다.

- [0077] 또한, 고속 회전에 있어서의 모터 효율을 개선하려면 철손을 작게 하는 것이 유효하지만, 본 발명을 만족함으로써, 고주파에서의 철손 즉 $W_{5/3k}$ 가 120.0 W/Kg 이하라는 우수한 특성을 구비하는 것이 가능해진다.
- [0078] 또한, 매립 자석형 모터에서는, 전류 증가에 수반하여 철손이 증가하는 경향이 있고, 이것을 피하기 위해서 고자속밀도화가 요구되고 있지만, 본 발명을 만족함으로써, 자속밀도가 B_{50} 에서 1.50 T 이상의 고자속밀도를 구비하는 것이 가능해진다.
- [0079] 다음으로 본 발명의 강관의 제조 방법에 대해 설명한다.
- [0080] 본 발명에 있어서는, 강관의 조성 성분을 본 발명의 범위 내로 하고, 또한 제조 방법을 이하와 같이 제한할 필요가 있다.
- [0081] 본 발명에서는, 먼저, 전로에서 취련한 용강에 대해, 순차, 탈가스 (2 차 정련), 주조, 열간압연을 실시한다. 탈가스 (진공 탈가스), 즉 2 차 정련은, RH (Ruhrstahl-Heraeus) 혹은 DH (Dortmund-Horde) 를 사용하여 실시된다. 그 때, 개재물을 충분히 분리 부상시키기 위해, Al 등의 탈산 원소 (탈산제) 를 투입한 후, 10 분 이상 교반한다 (본 발명에 있어서 RH 환류 시간 또는 DH 환류 시간이라고도 한다). 또, 스크랩이나 합금철로부터의 Zn 혼입을 방지하기 위해, 스크랩이나 합금철을 투입한 후 5 분 이상 교반하여 Zn 을 증발시키는 것이 바람직하다.
- [0082] 상기 열간압연 시의 마무리 어닐링 온도, 권취 온도는 특별히 규정되지 않는다. 또, 열간압연 후의 열연판 어닐링은 실시해도 되고 실시하지 않아도 된다. 이어서 1 회의 냉간압연, 혹은 중간 어닐링을 사이에 둔 2 회 이상의 냉간압연에 의해 소정의 판두께로 하고, 추가로 마무리 어닐링을 실시하여 본 발명에 따르는 무방향성 전기 강관으로 한다. 또한, 냉간압연 후의 마무리 어닐링은, 본 발명의 특징인 강관 조직 중의 미세결정립을 적절히 잔존시키기 위해, 620 °C 이상 720 °C 이하가 바람직하다.
- [0083] 실시예
- [0084] 전로에서 취련한 용강에 진공 탈가스 처리를 실시하고, 탈가스 중에 탈산제를 투입 후, 표 2 및 표 4 에 나타내는 시간 (RH 환류 시간) 교반하여, 표 1 및 표 3 에 나타내는 강 성분으로 주조하였다. 또한, 표 중 「tr.」 이란, 포함되어 있지만 매우 미량인 (제로가 아니다) 것을 의미한다.
- [0085] 상기 주조 후, 1140 °C × 1 h 의 조건의 슬래브 가열을 실시하고, 열간압연을 실시하였다. 열간압연의 마무리 온도는 800 °C, 권취 온도는 610 °C 로 하였다. 권취 후, 100 vol% N_2 분위기 조건에서 열연판 어닐링을 실시하였다. 그 후, 판두께 : 0.30 mm 까지 냉간압연을 실시하고, 20 vol% H_2 -80 vol% N_2 분위기 그리고 표 2 및 표 4 에 나타내는 마무리 어닐링 온도에서 마무리 어닐링을 실시하여 마무리 어닐링판으로 하였다.
- [0086] 여기서, 자기 측정은, 상기 마무리 어닐링판의, 압연 방향 및 압연 직각 방향으로부터 엡스타인 샘플을 잘라내어 엡스타인 측정으로 실시하였다.
- [0087] 피로 시험은, 인장-인장 응력비 : 0.1, 주파수 : 20 Hz 로 실시하고, 10^7 회의 반복에 있어서도 파단이 생기지 않는 응력 진폭을 구하고, 이러한 값을 피로 강도로 하였다. 또한, 피로 시험편은, 평행부의 폭 : 5 mm, 길이 : 150 mm 로 하고, 상기 마무리 어닐링판의, 압연 방향 및 압연 직각 방향으로부터 잘라내고, 평행부는 경면 마무리로 하고, 또한 길이 방향으로 800 번의 에머리지로 연마를 실시하여 제작하였다.
- [0088] 인장 시험은 JIS5 호 시험편을 압연 방향이 길이 방향이 되도록 가공하고, JIS Z 2241 에 준거하여 실시하였다. 또, 인장 강도 (TS) 의 편차 (σ) 를 조사하기 위해, JIS5 호 시험편을 20 개 채취하여 인장 시험을 실시하고, 표준 편차 σ 를 구하였다.
- [0089] 또한, 자속밀도는, 자계의 강도 5000 A/m 에 있어서의 자속밀도 B_{50} 을 측정하였다. 철손은, 주파수 : 3 kHz, 자속밀도 : 0.5 T 로 여자했을 때의 철손 $W_{5/3k}$ 를 측정하였다.
- [0090] 상기의 시험 결과를, 표 2 및 표 4 에 각각 병기한다.
- [0091] 표 2 및 표 4 로부터, 본 발명의 조건을 만족하고 있는 강관은, 모두 피로 강도가 550 MPa 이상, 인장 강도가

700 MPa 이상, 인장 강도의 표준 편차 σ 가 20 MPa 이내, 자속밀도 B_{50} 이 1.5 T 이상, 또한, 철손 $W_{5/3K}$ 가 120 W/kg 이하의 우수한 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

표 1

No.	강 성분 (질량%)														
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	Sb	Sn	Zn	Cr	Nb	Ca	N	O
1	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0015
2	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0016
3	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0018
4	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0015
5	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0016
6	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0018
7	0.0018	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0020
8	0.0020	3.81	0.61	0.010	0.0015	0.61	0.002	tr.	0.032	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0016	0.0042
9	0.0021	3.82	0.59	0.010	0.0017	0.62	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.001	tr.	0.0017	0.0058
10	0.0016	3.83	0.50	0.016	0.0012	0.70	0.002	tr.	0.033	0.0005	tr.	0.001	tr.	0.0016	0.0025
11	0.0016	3.84	0.51	0.008	0.0012	0.71	0.002	tr.	0.029	0.0011	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0023
12	0.0018	3.86	0.50	0.007	0.0016	0.72	0.002	tr.	0.031	0.0026	tr.	0.001	tr.	0.0014	0.0026
13	0.0012	3.82	0.50	0.010	0.0016	0.73	0.002	tr.	0.031	0.0037	tr.	0.001	tr.	0.0021	0.0024
14	0.0021	1.80	0.52	0.010	0.0009	1.10	0.002	tr.	0.035	0.0010	tr.	0.001	tr.	0.0017	0.0018
15	0.0020	3.21	1.00	0.005	0.0008	1.20	0.002	tr.	0.034	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0015	0.0017
16	0.0020	3.70	0.53	0.005	0.0008	0.70	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0016	0.0019
17	0.0021	4.00	0.56	0.004	0.0009	1.11	0.002	tr.	0.041	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0013	0.0015
18	0.0022	4.50	0.50	0.010	0.0007	1.12	0.002	tr.	0.036	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0022	0.0012
19	0.0019	5.50	0.50	0.010	0.0012	1.09	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.010	0.001	tr.	0.0026	0.0013
20	0.0021	3.81	0.65	0.010	0.0008	0.67	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0015	0.0021
21	0.0042	3.82	0.65	0.005	0.0008	0.69	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0019	0.0022
22	0.0075	3.80	0.65	0.004	0.0008	0.69	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0016	0.0040
23	0.0110	3.80	0.65	0.004	0.0008	0.69	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.001	tr.	0.0016	0.0042
24	0.0019	3.80	0.20	0.010	0.0021	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.110	0.001	tr.	0.0015	0.0023
25	0.0018	3.80	1.60	0.010	0.0020	0.70	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.120	0.001	tr.	0.0016	0.0020
26	0.0017	3.32	2.50	0.008	0.0022	0.50	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.120	0.001	tr.	0.0017	0.0021
27	0.0018	3.20	5.50	0.010	0.0023	0.40	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.130	0.003	tr.	0.0015	0.0023
28	0.0017	3.80	1.10	0.010	0.0007	0.31	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.003	tr.	0.0015	0.0022
29	0.0018	3.60	1.20	0.009	0.0007	0.55	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	0.003	tr.	0.0020	0.0023

표 2

No.	RH 환류 시간 (min)	판두께 (mm)	마우리 어닐링 온도 (°C)	미재 결정부의 비율 (%)	5 μ m 이상 의 개재물 개수 (개/mm ²)	철손 W _{5/3k} (W/kg)	자속 밀도 B ₅₀ (T)	인장 강도 TS (MPa)	편차 σ (MPa)	피로 강도 (MPa)	비고
1	22	0.25	800	-	2	74.0	1.65	650	12	490	비교예
2	22	0.25	750	-	2	80.0	1.65	680	13	520	비교예
3	22	0.25	720	5	2	92.0	1.63	700	15	560	발명예
4	22	0.25	680	15	2	105.0	1.60	840	15	600	발명예
5	22	0.25	650	45	2	109.3	1.58	850	15	610	발명예
6	22	0.25	630	60	2	118.0	1.55	900	16	620	발명예
7	22	0.25	610	80	2	150.0	1.47	930	16	625	비교예
8	12	0.25	660	30	4	105.0	1.60	850	15	600	발명예
9	8	0.25	660	30	7	129.0	1.60	820	22	530	비교예
10	16	0.25	660	32	3	104.0	1.60	850	15	595	발명예
11	16	0.25	660	31	3	105.0	1.60	850	15	595	발명예
12	16	0.25	660	29	3	105.4	1.60	851	16	596	발명예
13	16	0.25	660	30	3	105.0	1.60	845	21	592	비교예
14	20	0.25	660	30	2	136.0	1.71	675	16	486	비교예
15	20	0.25	660	30	2	106.0	1.62	828	16	579	발명예
16	20	0.25	660	30	2	103.5	1.60	849	15	594	발명예
17	20	0.25	660	30	2	102.3	1.58	897	16	628	발명예
18	20	0.25	660	29	2	100.8	1.56	917	15	620	발명예
19	20	0.25	660	31	2	92.3	1.48	850	17	480	비교예
20	15	0.25	660	32	3	105.0	1.60	860	15	602	발명예
21	15	0.25	660	32	3	106.0	1.60	862	15	604	발명예
22	12	0.25	660	32	4	108.0	1.59	860	16	602	발명예
23	11	0.25	660	32	4	125.0	1.59	860	16	602	비교예
24	15	0.25	660	32	3	105.0	1.61	856	15	599	발명예
25	15	0.25	660	30	3	103.2	1.59	873	14	611	발명예
26	15	0.25	680	32	3	101.5	1.55	829	15	580	발명예
27	15	0.25	710	31	3	94.2	1.42	851	15	596	비교예
28	15	0.25	660	30	3	106.4	1.62	850	15	612	발명예
29	15	0.25	660	31	3	105.0	1.60	841	15	589	발명예

[0093]

표 3

No.	강 성분 (질량%)															
	C	Si	Mn	P	S	Al	Mo	Sb	Sn	Zn	Cr	Cu	Nb	Ca	N	O
30	0.0021	3.30	0.65	0.010	0.0007	1.50	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.120	tr.	0.003	tr.	0.0014	0.0022
31	0.0019	3.20	0.65	0.010	0.0006	3.50	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.110	tr.	0.003	tr.	0.0014	0.0020
32	0.0015	3.50	0.80	0.010	0.0008	1.20	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.003	tr.	0.0014	0.0021
33	0.0020	3.81	0.65	0.150	0.0008	0.70	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.130	tr.	0.001	tr.	0.0015	0.0020
34	0.0016	3.80	0.65	0.010	0.0050	0.70	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0021	0.0013
35	0.0017	3.80	0.65	0.010	0.0050	0.70	0.002	tr.	0.035	0.0036	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0019	0.0014
36	0.0021	3.72	0.65	0.010	0.0150	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0014	0.0041
37	0.0025	3.75	0.65	0.010	0.0008	0.69	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0060	0.0023
38	0.0029	3.75	0.65	0.011	0.0008	0.72	0.002	tr.	tr.	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0012	0.0010
39	0.0030	3.71	0.80	0.013	0.0010	0.73	0.002	0.0020	tr.	0.0010	0.100	0.0020	0.001	tr.	0.0015	0.0011
40	0.0030	3.68	0.80	0.009	0.0011	0.74	0.002	0.0480	tr.	0.0010	0.100	0.0480	0.001	tr.	0.0016	0.0009
41	0.0010	3.73	0.79	0.008	0.0013	0.73	0.002	tr.	0.002	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0021	0.0010
42	0.0011	3.81	0.78	0.007	0.0011	0.68	0.002	tr.	0.049	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0022	0.0011
43	0.0025	3.84	0.80	0.011	0.0015	0.72	0.002	0.0020	0.030	0.0010	0.250	0.0020	0.001	tr.	0.0024	0.0012
44	0.0026	3.83	0.78	0.011	0.0014	0.72	0.002	0.0020	0.030	0.0010	0.490	0.0020	0.001	tr.	0.0025	0.0009
45	0.0020	3.75	0.79	0.009	0.0016	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	2.510	tr.	0.001	tr.	0.0027	0.0011
46	0.0017	3.76	0.78	0.008	0.0015	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	0.0018	0.0020	0.0011
47	0.0015	3.80	0.79	0.010	0.0016	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	0.0046	0.0017	0.0012
48	0.0016	3.80	0.77	0.010	0.0008	0.71	0.002	tr.	0.035	0.0010	0.100	tr.	0.001	tr.	0.0013	0.0010
49	0.0017	3.75	0.60	0.010	0.0015	0.60	tr.	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0016	0.0015
50	0.0019	3.75	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0014	0.0016
51	0.0019	3.75	0.61	0.010	0.0015	0.60	0.003	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0013	0.0018
52	0.0020	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.009	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0012	0.0015
53	0.0022	3.75	0.62	0.010	0.0016	0.60	0.030	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0013	0.0014
54	0.0020	3.75	0.60	0.010	0.0017	0.60	0.060	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0014	0.0015
55	0.0020	3.75	0.60	0.010	0.0017	0.60	0.160	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0014	0.0016
56	0.0020	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	0.120	tr.	0.004	tr.	0.0012	0.0015
57	0.0020	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	0.120	tr.	0.007	tr.	0.0012	0.0016
58	0.0021	3.80	0.60	0.010	0.0015	0.60	0.002	tr.	0.030	0.0020	0.120	tr.	0.016	tr.	0.0013	0.0015
59	0.0022	3.75	0.62	0.010	0.0016	0.60	0.030	tr.	0.030	0.0020	0.010	tr.	0.001	tr.	0.0013	0.0042
60	0.0022	3.75	0.62	0.010	0.0016	0.60	0.030	tr.	0.030	0.0020	0.010	tr.	0.001	tr.	0.0013	0.0013
61	0.0022	3.95	0.30	0.010	0.0014	0.31	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.080	0.001	tr.	0.0016	0.0008
62	0.0020	3.95	0.30	0.010	0.0015	0.31	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.150	0.001	tr.	0.0015	0.0009
63	0.0021	3.95	0.30	0.010	0.0016	0.30	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.300	0.001	tr.	0.0025	0.0010
64	0.0019	4.00	0.30	0.010	0.0013	0.10	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	0.300	0.001	tr.	0.0020	0.0011
65	0.0018	4.00	0.30	0.010	0.0015	0.18	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0021	0.0015
66	0.0017	4.00	0.30	0.010	0.0017	0.28	0.002	tr.	0.030	0.0020	tr.	tr.	0.001	tr.	0.0023	0.0008

[0094]

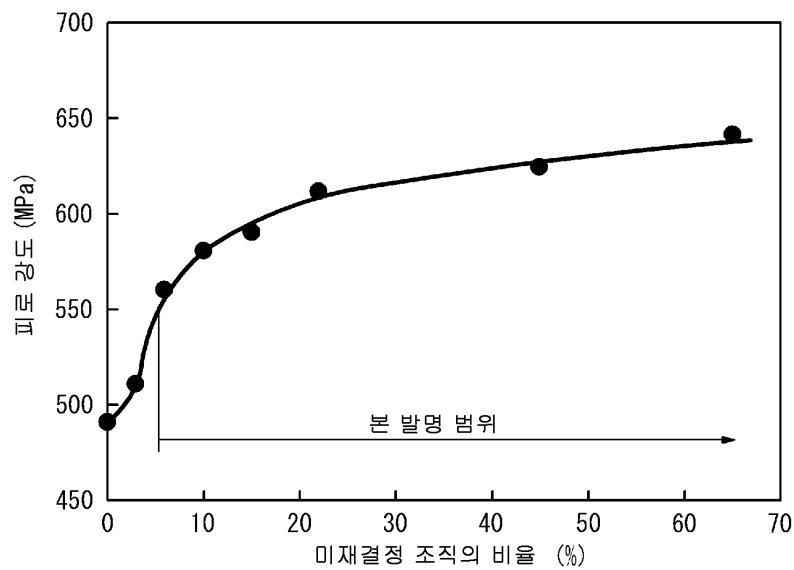
표 4

No.	RH 환류 시간 (min)	판두께 (mm)	마무리 어닐링 온도 (°C)	미재 결정부의 비율 (%)	5 μ m 이상의 개재물 개수 (개/mm ²)	철손 W _{5/3k} (W/kg)	자속 밀도 B ₉₀ (T)	인장 강도 TS (MPa)	편차 σ (MPa)	피로 강도 (MPa)	비고
30	15	0.25	680	29	3	99.8	1.59	846	15	592	발명예
31	15	0.25	700	29	3	95.3	1.46	921	15	520	비교예
32	15	0.25	660	32	3	100.0	1.60	854	15	598	발명예
33	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	비교예 (냉연 시 균열)
34	20	0.25	660	30	2	107.0	1.60	861	14	603	발명예
35	20	0.25	660	30	2	108.6	1.60	861	22	590	비교예
36	22	0.25	660	31	5	135.6	1.57	853	16	530	비교예
37	22	0.25	660	30	3	121.8	1.58	855	15	560	비교예
38	22	0.25	660	30	1	106.2	1.59	857	15	600	발명예
39	22	0.25	660	28	1	105.0	1.61	855	15	599	발명예
40	22	0.25	660	27	1	104.6	1.63	852	15	597	발명예
41	22	0.25	660	30	1	105.0	1.61	857	16	600	발명예
42	22	0.25	660	29	1	104.3	1.62	863	15	604	발명예
43	22	0.25	660	28	1	104.2	1.60	870	16	609	발명예
44	22	0.25	660	28	1	101.3	1.58	874	16	612	발명예
45	22	0.25	660	25	1	99.7	1.56	904	15	633	발명예
46	22	0.25	660	32	1	104.3	1.62	859	14	601	발명예
47	22	0.25	660	35	1	103.2	1.62	863	15	604	발명예
48	22	0.20	660	30	1	90.3	1.62	863	16	604	발명예
49	22	0.25	700	-	2	105.0	1.62	690	12	540	비교예
50	23	0.25	700	15	2	105.0	1.60	840	15	600	발명예
51	23	0.25	700	22	2	105.9	1.60	850	15	610	발명예
52	23	0.25	700	30	2	106.3	1.60	855	15	615	발명예
53	23	0.25	700	60	2	108.0	1.54	880	15	620	발명예
54	23	0.25	700	60	2	112.0	1.50	880	15	620	발명예
55	23	0.25	700	60	2	135.9	1.47	895	15	635	비교예
56	22	0.25	680	15	2	113.2	1.58	845	15	602	발명예
57	22	0.25	680	15	2	115.6	1.57	846	15	603	발명예
58	22	0.25	680	15	2	136.1	1.48	850	15	610	비교예
59	12	0.25	650	70	4	118.0	1.54	860	15	630	발명예
60	12	0.25	610	80	4	130.0	1.53	870	16	630	비교예
61	23	0.25	700	15	2	115.0	1.60	825	15	595	발명예
62	23	0.25	700	15	2	115.0	1.58	825	15	595	발명예
63	23	0.25	700	15	2	116.0	1.50	823	15	591	발명예
64	23	0.25	700	15	2	120.0	1.59	826	16	592	발명예
65	23	0.25	700	15	2	119.5	1.59	824	16	591	발명예
66	23	0.25	700	15	2	116.0	1.60	824	15	591	발명예

[0095]

도면

도면1



도면2

