



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0037214  
(43) 공개일자 2013년04월15일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C22C 38/00 (2006.01) B21B 3/02 (2006.01)  
C21D 1/38 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7000361
- (22) 출원일자(국제) 2011년08월03일  
심사청구일자 2013년01월07일
- (85) 번역문제출일자 2013년01월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2011/004409
- (87) 국제공개번호 WO 2012/017654  
국제공개일자 2012년02월09일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2010-178002 2010년08월06일 일본(JP)

- (71) 출원인  
제이에프이 스틸 가부시키키가이샤  
일본 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자  
오무라 다케시  
일본 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이  
야마구치 히로이  
일본 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이  
오카베 세이지  
일본 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
- (74) 대리인  
특허법인코리아나

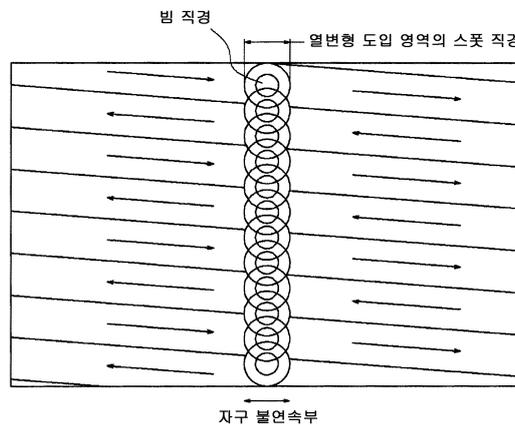
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 **방향성 전기 강판 및 그 제조 방법**

(57) 요약

본 발명에 따라, 포스테라이트 피막에 의한 강판에 대한 부여 장력이, 압연 방향 및 압연 방향과 직각인 방향 모두 2.0 MPa 이상이고, 또한 전자 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 와 조사 피치 B 의 비가  $0.5 \leq B/A \leq 5.0$  의 관계를 만족함으로써, 실기 트랜스포머에 조립한 경우에, 우수한 저소음성을 발현하는 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리를 실시한 방향성 전기 강판을 얻을 수 있다.

대표도 - 도2



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

표면에 포스테라이트 피막을 갖추고, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리가 완료된 방향성 전기 강판으로서, 그 포스테라이트 피막에 의한 강판에 대한 부여 장력이, 압연 방향 및 압연 방향과 직각인 방향 모두 2.0 MPa 이상이며, 또한 전자 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경 A 와 조사 피치 B 가, 다음 식 (1)

$$0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$$

의 관계를 만족하는 방향성 전기 강판.

**청구항 2**

방향성 전기 강판용 슬래브를 압연하여 최종 판두께로 마무리한 후, 탈탄 어닐링을 실시하고, 이어서 강판 표면에 MgO 를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 도포하고 나서, 최종 마무리 어닐링을 실시한 후, 장력 코팅을 실시하고, 그 마무리 어닐링 후 또는 그 장력 코팅 후에, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리를 실시하는 방향성 전기 강판의 제조 방법으로서,

(i) 어닐링 분리제의 겉보기 중량을 10.0 g/m<sup>2</sup> 이상으로 하고,

(ii) 어닐링 분리제 도포 후의 코일 권취 장력을 30 ~ 150 N/mm<sup>2</sup> 의 범위로 하고,

(iii) 최종 마무리 어닐링 공정의 냉각 과정에 있어서의 700 °C 까지의 평균 냉각 속도를 50 °C/h 이하로 제어하고,

(iv) 전자 빔 직경을 0.5 mm 이하로 하고, 또한 전자 빔 직경 A' 와 조사 피치 B 를, 다음 식 (2)

$$1.0 \leq B/A' \leq 7.0 \dots (2)$$

의 범위로 제어하고,

(v) 전자 빔 직경과 조사 피치 이외의 조사 조건을 조정하고, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경 A 와 조사 피치 B 를, 다음 식 (1)

$$0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$$

의 범위로 제어하는 방향성 전기 강판의 제조 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

방향성 전기 강판용 슬래브를 열간 압연하고, 이어서 필요에 따라 열연판 어닐링을 실시한 후, 1 회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2 회 이상의 냉간 압연을 실시하여, 최종 판두께로 마무리하는 방향성 전기 강판의 제조 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 트랜스포머 등의 철심 재료로서 바람직한 방향성 전기 강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 방향성 전기 강판은 주로 트랜스포머의 철심으로서 이용되며, 그 자화 특성이 우수한 것, 특히 철손이 낮은 것이 요구되고 있다.

[0003] 그러기 위해서는, 강판 중의 2 차 재결정립을 (110) [001] 방위 (이른바, 고스 방위) 로 고도로 맞추는 것이나

제품 강판 중의 불순물을 저감시키는 것이 중요하다. 또한 결정 방위의 제어나 불순물을 저감시키는 것은 제조 비용과의 균형 등에서 한계가 있다. 그래서, 강판의 표면에 대하여 물리적인 수법으로 불균일성을 도입하고, 자구(磁區)의 폭을 세분화하여 철손을 저감시키는 기술, 즉 자구 세분화 기술이 개발되어 있다.

[0004] 예를 들어, 특허문헌 1 에는, 최종 제품판에 레이저를 조사하여, 강판 표층에 고전위 밀도 영역을 도입하여 자구 폭을 좁게 함으로써, 강판의 철손을 저감시키는 기술이 제안되어 있다. 특허문헌 2 에는, 전자 빔의 조사에 의해 자구 폭을 제어하는 기술이 제안되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허공보 소57-2252호  
 (특허문헌 0002) 일본 특허공보 평06-072266호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 그러나, 상기 서술한 자구 세분화 처리를 실시한 방향성 전기 강판을 실기(實機) 트랜스포머에 조립한 경우, 실기 트랜스포머의 소음이 커지는 경우가 있었다.

[0007] 또, 철손 특성에 대해서는 추가적인 개선이 요구되고 있다.

[0008] 본 발명은 상기 현황을 감안하여 개발된 것으로, 실기 트랜스포머에 조립한 경우, 우수한 저소음성 및 저철손 특성을 얻을 수 있는 방향성 전기 강판을, 그 유리한 제조 방법과 함께 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 발명자들은, 실기 트랜스포머에 조립했을 때, 우수한 저소음성 및 저철손 특성을 얻을 수 있는 방향성 전기 강판을 개발하기 위해서, 「강판의 압연 방향과 교차하는 방향의 전자 빔의 조사 피치」 및 「강판 표면의 포스테라이트 피막의 장력」의 2 개의 인자에 대하여 자구 세분화 효과에 대한 영향을 조사하였다.

[0010] 그 결과, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리가 완료된 방향성 전기 강판에 있어서, 포스테라이트 피막(Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 를 주체로 하는 피막)의 장력을 업시키고, 또한 점상으로 조사하는 전자 빔의 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경과 전자 빔의 조사 피치의 관계를 적정하게 제어함으로써 철손이 개선되는 것을 알아냈다.

[0011] 본 발명은, 상기한 지견에 근거하여 개발된 것이다.

[0012] 즉, 본 발명의 요지 구성은 다음과 같다.

[0013] 1. 표면에 포스테라이트 피막을 갖추고, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리가 완료된 방향성 전기 강판으로서, 그 포스테라이트 피막에 의한 강판에 대한 부여 장력이, 압연 방향 및 압연 방향과 직각인 방향 모두 2.0 MPa 이상이며, 또한 전자 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경 A 와 조사 피치 B 가, 다음 식 (1)

[0014]  $0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$

[0015] 의 관계를 만족하는 방향성 전기 강판.

[0016] 2. 방향성 전기 강판용 슬래브를 압연하여 최종 판두께로 마무리한 후, 탈탄 어닐링을 실시하고, 이어서 강판 표면에 MgO 를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 도포하고 나서, 최종 마무리 어닐링을 실시한 후, 장력 코팅을 실시하고, 그 마무리 어닐링 후 또는 그 장력 코팅 후에, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리를 실시하는 방향성 전기 강판의 제조 방법으로서,

[0017] (i) 어닐링 분리제의 겉보기 중량을 10.0 g/m<sup>2</sup> 이상으로 하고,

[0018] (ii) 어닐링 분리제 도포 후의 코일 권취 장력을 30 ~ 150 N/mm<sup>2</sup> 의 범위로 하고,

[0019] (iii) 최종 마무리 어닐링 공정의 냉각 과정에 있어서의 700 °C 까지의 평균 냉각 속도를 50 °C/h 이하로 제어

하고,

(iv) 전자 빔 직경을 0.5 mm 이하로 하고, 또한 전자 빔 직경 A' 와 조사 피치 B 를, 다음 식 (2)

$$1.0 \leq B/A' \leq 7.0 \dots (2)$$

의 범위로 제어하고,

(v) 전자 빔 직경과 조사 피치 이외의 조사 조건을 조정하고, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경 A 와 조사 피치 B 를, 다음 식 (1)

$$0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$$

의 범위로 제어하는 방향성 전기 강관의 제조 방법.

3. 방향성 전기 강관용 슬래브를 열간 압연하고, 이어서 필요에 따라 열연관 어닐링을 실시한 후, 1 회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2 회 이상의 냉간 압연을 실시하여, 최종 판두께로 마무리하는 상기 2 에 기재된 방향성 전기 강관의 제조 방법.

### 발명의 효과

본 발명에 의하면, 전자 빔을 사용한 자구 세분화에 의한 철손 저감 효과가 실기 트랜스포머에 있어서도 효과적으로 유지되는 방향성 전기 강관을 얻을 수 있기 때문에, 실기 트랜스포머에 있어서 우수한 저철손성을 발현할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1(a), 1(b) 는 전자 빔의 조사에 있어서, 점상 조사와 그렇지 않은 것을 나타내는 도면이다.

도 2 는 열변형 도입 영역의 스폿 직경의 개념을 모식적으로 나타내는 도면이다.

도 3 은 조사 피치/빔 직경과 이력손 열화값의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 4 는 조사 피치/빔 직경과 와전류손 개선값의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 5 는 조사 피치/빔 직경과 전체 철손 개선값의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 6 은 압연 방향의 장력과 철손 개선값의 관계를 나타내는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명에 대하여 구체적으로 설명한다.

본 발명에서는, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리가 완료된 방향성 전기 강관에 있어서, 포스테라이트 피막의 장력을 업시키는 것, 및 전자 빔 직경 및 전자 빔을 점상 조사한 강관 표면에 있어서의 열변형 도입 영역의 직경과 전자 빔의 조사 피치의 관계를 적절하게 제어하는 것이 중요하다.

또한, 본 발명에 있어서의 전자 빔 직경 (이하, 간단히 빔 직경이라고도 한다) 이란, 전자 빔의 조사 직경을 의미한다. 또, 전자 빔의 점상 조사란, 도 1(a) 및 1(b) 에 각각 나타내는 바와 같이 2 개의 빔 직경과 동일한 크기의 영역 (도면 중, 빔 스폿이라고 한다) 이 겹치지 않는 것을 의미한다.

또, 「열변형 도입 영역의 직경 (이하, 스폿 직경이라고도 한다)」 이란, 도 2 에 나타내는 바와 같이, 직접적으로는 전자 빔에 의한 열변형 도입 영역의 직경을 의미하지만, 열변형 도입에 의해 생긴 자구 불연속부 영역의 폭에 의해서도 구해진다.

여기에, 전자 빔을 조사한 경우에는, 전자 빔의 빔 직경과 동일한 크기의 영역이 가열되지만, 강관에 부여된 열은 확산되므로, 일반적으로 열변형 도입 영역의 스폿 직경은 빔 직경보다 커진다. 또한, 본 발명에 있어서 특별히 언급하지 않는 한, 경 (徑) 은 직경을 의미한다.

이하, 본 발명을 완성케 한 실험에 대하여 설명한다.

포스테라이트 피막의 장력이 다양하게 상이한 샘플에 전자 빔을 조사하였다. 여기에, 철손에 미치는 장력의 영향을 조사하였다. 조사 조건은, 가속 전압 : 40 kV, 빔 전류 : 1.5 mA, 빔 주사 속도 : 5 m/s, 빔 직경 : 0.2 mm, 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치 : 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 1.4, 3.0, 5.0 및

10.0 mm 그리고 압연 방향의 조사 간격 : 7.5 mm 로 실시하였다.

[0036] 도 3 에, 전자 빔 조사에 의해 강판에 도입된 열변형에서 기인한 이력손의 열화값을 나타낸다. 피막 장력이 강한 것 (피막 장력이 양호한 것) 에서는, 압연 방향과 교차하는 방향의 전자 빔의 조사 피치가 소정 값이 될 때까지는 철손의 열화값이 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 한편, 피막 장력이 약한 경우에는, 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치가 커짐에 따라 철손의 열화값이 증대한다. 또한, 여기서 조사 피치는 빔 스폿의 중심간 거리이다.

[0037] 다음으로, 도 4 에 전자 빔 조사에 의해 강판에 도입된 열변형에서 기인한 와전류손의 개선값을 나타낸다. 동 도면에 나타난 바와 같이, 와전류손은 포스테라이트 피막의 장력차에 상관없이 어느 조사 피치까지는 개선값이 증대하고, 그 후에는 개선값이 감소한다는 경향을 나타내었다.

[0038] 또, 전체 철손의 개선값을 도 5 에 나타낸다. 동 도면에 나타난 바와 같이, 포스테라이트 피막의 장력이 강하고, 또한 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치를 크게 하여 점상 조사한 경우에는, 철손 개선값이 특히 커지는 범위가 있음을 알 수 있다.

[0039] 이어서, 포스테라이트 피막의 장력과 철손 개선값의 관계에 대하여 조사한 결과를 도 6 에 나타낸다.

[0040] 이 때, 전자 빔의 조사 조건은, 가속 전압 : 40 kV, 빔 전류 : 1.5 mA, 빔 주사 속도 : 5 m/s, 빔 직경 : 0.2 mm, 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치 : 0.25 mm, 압연 방향의 조사 간격 : 7.5 mm 로 하였다.

[0041] 도 6 에 나타난 바와 같이, 포스테라이트 피막의 장력이 압연 방향 및 압연 방향과 직각인 방향 (이하, 압연 직각 방향이라고 한다) 모두 2.0 MPa 이상인 경우에, 철손이 크게 개선되는 것으로 판명되었다. 또한, 포스테라이트 피막의 장력에 대해서는, 강판이 소성 변형되지 않는 범위 내라면 특별히 상한은 없다. 바람직하게는 200 MPa 이하이다.

[0042] 그 후, 상기 포스테라이트 피막의 장력 및 전자 빔의 조사 조건을 바람직한 범위로 한 다음, 전자 빔의 가속 전압, 빔 전류량 및 빔 주사 속도 등 그 밖의 조사 조건을 변경하여, 강판에 도입하는 열변형의 양을 바꾼 결과, 보다 큰 철손 개선값을 얻기 위해서는, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 와 조사 피치 B 의 비가 이하의 식 (1) 의 관계를 만족할 필요가 있음을 알 수 있었다.

[0043]  $0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$

[0044] 따라서, 본 발명에서는, 전자 빔 조사에 의한 자구 세분화 처리를 실시할 때, 큰 철손 개선 효과를 얻기 위해, 포스테라이트 피막의 장력을 향상시키고, 또한 전자 빔 직경과 조사 피치의 제어를 적절하게 실시한 다음, 전자 빔 직경 및 조사 피치 이외의 조사 조건을 조정하여, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 와 조사 피치 B 의 비를 상기 기재한 식 (1) 의 범위로 제어하는 것으로 하였다.

[0045] 여기에, 본 발명에 있어서의 피막 장력 측정 방법은 이하와 같다.

[0046] 제품 (장력 코팅 도포제) 으로부터 압연 방향의 장력을 측정하는 경우에는 압연 방향 280 mm × 압연 직각 방향 30 mm, 압연 직각 방향의 장력을 측정하는 경우에는 압연 직각 방향 280 mm × 압연 방향 30 mm 의 샘플을 잘라 내어, 양면의 장력 코팅을 알칼리 용액으로 박리한다. 이어서, 편면의 포스테라이트 피막을 염산 용액으로 제거하고, 그 제거 전후의 강판 휨량을 측정하여 얻어진 휨량을 이하의 환산식 (3) 으로 장력 환산한다. 이 방법으로 구한 장력은, 포스테라이트 피막을 제거하지 않은 면에 부여되어 있는 장력이다.

[0047] 본 발명에서는 장력이 샘플 양면에 부여되어 있으므로, 상기한 방법으로 강판 편면의 장력을 구하고, 또한 동일 제품의 다른 장소의 샘플을 이용하여 반대면의 장력을 동일한 방법으로 구하여, 평균치를 도출하고, 그 평균치를 샘플에 부여되어 있는 장력으로 한다.

[0048] 환산식 (3) 
$$\sigma = \frac{Ed}{\ell} (a_2 - a_1)$$

σ: 피막 장력(MPa)  
 E: 강판의 영률 143(GPa)  
 ℓ: 휨 측정 길이 (mm)  
 a<sub>1</sub>: 제거 전의 휨량(mm)  
 a<sub>2</sub>: 제거 후의 휨량(mm)  
 d: 강판 두께(mm)

[0049] 상기한 조건에서 철손이 크게 개선되는 이유는 명확하지는 않지만, 발명자들은 다음과 같이 생각하고 있다.

[0050] (점상 조사에 의해 와전류손의 개선값이 증가하는 이유)

- [0051] 강관에 대한 투입 열량이 동일한 경우, 전자 빔의 조사 피치가 좁으면, 조사 선 상의 영역에 일정량의 열량이 투입되어 균일한 압축 응력 분포가 된다. 한편, 조사 피치를 넓게 하여 국소부에 보다 많은 열량을 투입하면, 국소적으로 큰 압축 응력이 부여되어 불균일한 응력 분포가 된다. 본 발명에서는, 이러한 압축 응력 분포의 차이에 의해, 조사부 이외로 부여되는 인장 응력 분포에 차이가 생겨 와전류손 개선값이 향상된 것으로 생각하고 있다.
- [0052] 또, 어느 일정 이상의 조사 피치로 와전류손 개선값이 저하되는 것도, 상기한 압축 응력 분포의 변화에 의해 압축 응력이 낮은 영역이 증가한 결과로 생각하고 있다.
- [0053] 또한, 조사 피치 및 빔 직경 이외의 조사 조건의 조정에 의해, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 와 조사 피치 B 의 비를 진술한 대로 할 필요가 있는 이유도, 이 응력 불균일을 유지하기 위해서라고 생각된다. 이것은 조사 피치 및 빔 직경 이외의 조사 조건이 부적절한 경우, 조사 피치 및 빔 직경 제어에 의해 발생한 응력 불균일이 용이하게 해소되기 때문이다.
- [0054] (포스테라이트 피막의 장력 업으로 이력손 열화가 억제되는 이유)
- [0055] 본 발명에서는, 포스테라이트 피막이 강관에 부여하는 응력에 의해, 열변형에 의해 발생하는 응력이 완화되어 강관의 이력손 열화를 억제하고 있는 것으로 생각된다.
- [0056] 즉, 열변형이 도입되는 조사부 부근에 있어서, 자왜(磁歪) 진동 파형이 변형되고, 소음에 고조파 성분이 중첩됨으로써 소음이 증대하는데, 이와 같은 자왜 진동 파형의 변형의 저감에 포스테라이트 피막의 장력을 업시키는 것이 매우 유효하게 작용하고 있는 것으로 생각된다.
- [0057] 다음으로, 제조 방법에 관한 포인트에 대하여 서술한다.
- [0058] 본 발명에 있어서의 제조 방법의 첫 번째 포인트는, 강관에 부여한 포스테라이트 피막의 장력을 업시키는 것이다. 포스테라이트 피막의 장력을 업시키는 수단으로는,
- [0059] I 어닐링 분리제의 도포량을 10.0 g/m<sup>2</sup> 이상으로 하고,
- [0060] II 어닐링 분리제 도포 후의 코일 권취 장력을 30 ~ 150 N/mm<sup>2</sup> 로 제어하고,
- [0061] III 최종 마무리 어닐링시의 냉각 과정에 있어서의 700 °C 까지의 평균 냉각 속도를 50 °C/h 이하로 제어하는 것이 중요하다.
- [0062] 여기에, 최종 마무리 어닐링은 코일상으로 실시되기 때문에, 냉각시에 온도 불균일이 발생하기 쉽고, 강관의 열팽창량이 장소에 따라 달라지기 쉬워, 그 때문에 강관의 다양한 방향으로 응력이 부여되게 된다. 또, 코일을 타이트하게 감고 있는 경우, 강관 사이의 공극이 없기 때문에, 강관에 큰 응력이 부여되지만, 이 큰 응력에 의해 포스테라이트 피막이 데미지를 받게 된다.
- [0063] 따라서, 포스테라이트 피막에 대한 데미지를 억제하기 위해서는, 강관 사이에 약간의 공극을 부여하여, 강관에 발생하는 응력을 저감시키는 것 및 냉각 속도를 저감시켜 코일 내의 온도차를 저감시키는 것이 유효하다.
- [0064] 이하, 상기 I ~ III 의 제어에 의해 포스테라이트 피막의 장력이 업되는 이유를 서술한다.
- [0065] 어닐링 분리제는 어닐링 중에 수분이나 CO<sub>2</sub> 등을 방출하기 때문에, 어닐링 분리제를 도포한 영역은 도포시보다 체적이 감소한다. 즉, 체적이 감소한다는 것은, 도포 영역에 공극이 생기는 것을 의미하고 있으므로, 어닐링 분리제의 도포량의 많고 적음이 코일 내의 응력 완화에 작용하게 된다.
- [0066] 따라서, 본 발명에서는, 어닐링 분리제의 겉보기 중량이 적으면 공극이 불충분하기 때문에, 어닐링 분리제의 도포량을 10.0 g/m<sup>2</sup> 이상으로 한정한다. 또한, 어닐링 분리제의 도포량은, 생산 공정에 문제(최종 마무리 어닐링시의 코일의 권취 어긋남 등)가 없는 한 특별히 상한은 없다. 상기 권취 어긋남 등의 문제가 생길 것 같으면, 50 g/m<sup>2</sup> 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0067] 또, 권취 장력을 저감시킨 경우에는, 고장력으로 권취한 경우보다 강관 사이에 생기는 공극이 증가한다. 그 결과, 코일 내에 발생하는 응력은 저감된다. 그러나, 권취 장력이 너무 낮으면 코일이 무너지므로 너무 낮은 것도 문제가 있다. 따라서, 냉각시의 온도 불균일에 의해 발생하는 응력을 완화시키고, 또한 코일이 무너지지 않는 권취 장력 조건이 필요하고, 그 범위는 30 ~ 150 N/mm<sup>2</sup> 이다.
- [0068] 또한, 최종 마무리 어닐링시의 냉각 속도를 저감시키면, 강관 내의 온도 분포가 저감되기 때문에, 코일 내 응력

은 완화된다.      응력 완화의 관점에서는 냉각 속도는 느리면 느릴수록 좋지만, 생산 효율의 관점에서는 바람직하지 않아 5 ℃/h 이상으로 하는 것이 바람직하다.      코일 내 응력의 완화를 냉각 속도 제어만으로 실시할 경우에는, 냉각 속도를 5 ℃/h 이상으로 할 수는 없지만, 본 발명에서는 어닐링 분리제의 도포량의 제어와 권취 장력의 제어를 조합하고 있으므로, 냉각 속도가 50 ℃/h 까지는 허용된다.

[0069] 이와 같이, 어닐링 분리제의 도포량, 권취 장력 및 냉각 속도의 제어를 실시하여 코일 내의 응력을 완화시킴으로써, 압연 방향 및 압연 직각 방향의 포스테라이트 피막 장력을 업시키는 것이 가능해진다.

[0070] 두 번째 포인트는, 전자 빔 직경을 0.5 mm 이하로 하고, 또한 점상으로 조사하는 것이다.      여기에, 전자 빔 직경이 너무 크면 관두께 방향으로의 전자 빔의 침입깊이 작아져 최적인 응력 분포가 얻어지지 않게 된다. 따라서, 전자 빔 직경은 0.5 mm 이하로 하여, 가능한 한 좁은 영역에 전자를 조사함으로써, 관두께 방향으로 침입되는 에너지량을 증가시키는 것이 필요하다.      보다 바람직하게는 0.3 mm 이하이다.      또, 전자 빔 직경 A' 와 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치 B 의 비율, 다음 식 (2)

[0071]  $1.0 \leq B/A' \leq 7.0 \dots (2)$

[0072] 의 범위로 제어하는 것이 필요하다.

[0073] 이것은 비 (B/A' ) 가 1.0 미만에서는, 조사 피치가 너무 좁아 불균일한 응력 분포가 발생하지 않기 때문이다.      한편, 비 (B/A' ) 가 7.0 초과인 경우에는, 응력 발생 포인트가 너무 벗어나 응력이 낮은 영역이 발생하기 때문에, 자구 세분화 효과가 불충분해져 철손 개선 효과가 저하된다.

[0074] 또한 상기 서술한 조사 조건을 만족한 다음, 가속 전압, 빔 전류량 및 빔 주사 속도와 같은 그 밖의 조사 조건을 조정하고, 강판에 도입하는 열량을 제어하여, 빔 조사면에 있어서의 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 와 조사 피치 B 의 비율, 다음 식 (1)

[0075]  $0.5 \leq B/A \leq 5.0 \dots (1)$

[0076] 의 범위로 제어하는 것이 필요하다.

[0077] 이것은 이 관계를 만족하지 않는 빔 전류치나 주사 속도를 설정한 경우에는, 최적인 응력 분포가 얻어지지 않기 때문이다.

[0078] 상기 서술한 결과를 기초로, 레이저 조사에 의한 자구 세분화에 있어서도 동일한 효과를 얻을 수 있는지 여부에 대하여 별도로 검토를 실시했는데, 레이저 조사에서는 전자 빔 조사에 의해 확인된 효과는 발견해 낼 수 없었다.

[0079] 이것은 레이저와 전자 빔에 의한 강판 내에 있어서의 열 전달법이 상이하다.      여기에, 전자 빔이 관두께 방향으로의 침입이 용이하므로, 강판에 발생하는 응력 분포가 각각 상이한 것으로 추정된다.      따라서, 레이저 조사에 의한 자구 세분화의 과정에 있어서는, 강판에 발생하는 응력 분포가 철손을 저감하는 영역을 발생시키지 않았기 때문으로 생각하고 있다.

[0080] 다음으로, 본 발명에 따르는 방향성 전기 강판의 제조 조건에 관해서 구체적으로 설명한다.

[0081] 본 발명에 있어서, 방향성 전기 강판용 슬래브의 성분 조성은 2 차 재결정이 생기는 성분 조성이면 된다.      또, 결정립의 <100> 방향으로의 집적도가 높을수록 자구 세분화에 의한 철손 저감 효과는 커지므로, 집적도의 지표가 되는 자속 밀도 B<sub>0</sub> 이 1.90 T 이상인 것이 바람직하다.

[0082] 또, 인히비터를 이용하는 경우, 예를 들어 AlN 계 인히비터를 이용하는 경우이면 Al 및 N 을, 또 MnS·MnSe 계 인히비터를 이용하는 경우이면 Mn 과 Se 및/또는 S 를 적당량 함유시키면 된다.      물론, 양 인히비터를 병용해도 된다.      이 경우에 있어서의 Al, N, S 및 Se 의 적합 함유량은 각각, Al : 0.01 ~ 0.065 질량%, N : 0.005 ~ 0.012 질량%, S : 0.005 ~ 0.03 질량%, Se : 0.005 ~ 0.03 질량% 이다.

[0083] 또한, 본 발명은 Al, N, S, Se 의 함유량을 제한한, 인히비터를 사용하지 않는 방향성 전기 강판에도 적용할 수 있다.

[0084] 이 경우에는, Al, N, S 및 Se 량은 각각, Al : 100 질량ppm 이하, N : 50 질량ppm 이하, S : 50 질량ppm 이하, Se : 50 질량ppm 이하로 억제하는 것이 바람직하다.

[0085] 본 발명의 방향성 전기 강판용 슬래브의 기본 성분 및 임의 첨가 성분에 대하여 구체적으로 서술하면 다음과 같

다.

- [0086] C : 0.08 질량% 이하
- [0087] C 는 열연판 조직의 개선을 위해서 첨가하는데, 0.08 질량% 를 초과하면 제조 공정 중에 자기 시효가 일어나지 않는 50 질량ppm 이하까지 C 를 저감시키는 부담이 증대하기 때문에, 0.08 질량% 이하로 하는 것이 바람직하다. 또한, 하한에 관해서는, C 를 함유하지 않는 소재라도 2 차 재결정이 가능하므로 특별히 하한을 둘 필요는 없다.
- [0088] Si : 2.0 ~ 8.0 질량%
- [0089] Si 는 강의 전기 저항을 높여 철손을 개선시키는 데에 유효한 원소로서, 함유량이 2.0 질량% 이상에서 특히 철손 저감 효과가 양호하다. 한편, 8.0 질량% 이하의 경우, 특히 우수한 가공성이나 자속 밀도를 얻을 수 있다. 따라서, Si 량은 2.0 ~ 8.0 질량% 의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0090] Mn : 0.005 ~ 1.0 질량%
- [0091] Mn 은 열간 가공성을 양호하게 하는 데에 있어서 유리한 원소인데, 함유량이 0.005 질량% 미만에서는 그 첨가 효과가 부족하다. 한편, 1.0 질량% 이하로 하면 제품판의 자속 밀도가 특히 양호해진다. 이 때문에, Mn 량은 0.005 ~ 1.0 질량% 의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0092] 상기 기본 성분 이외에 자기 특성 개선 성분으로서, 다음에 서술하는 원소를 적절히 함유시킬 수 있다.
- [0093] Ni : 0.03 ~ 1.50 질량%, Sn : 0.01 ~ 1.50 질량%, Sb : 0.005 ~ 1.50 질량%, Cu : 0.03 ~ 3.0 질량%, P : 0.03 ~ 0.50 질량%, Mo : 0.005 ~ 0.10 질량% 및 Cr : 0.03 ~ 1.50 질량% 중에서 선택한 적어도 1 종
- [0094] Ni 는 열연판 조직을 더 개선시켜 자기 특성을 더욱 향상시키기 위해서 유용한 원소이다. 그러나, 함유량이 0.03 질량% 미만에서는 자기 특성의 향상 효과가 작고, 한편 1.5 질량% 이하에서는 특히 2 차 재결정의 안정성이 증가하여 자기 특성이 더욱 개선된다. 그 때문에, Ni 량은 0.03 ~ 1.5 질량% 의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0095] 또, Sn, Sb, Cu, P, Mo 및 Cr 은 각각 자기 특성의 추가적인 향상에 유용한 원소인데, 모두 상기한 각 성분의 하한 미만이면, 자기 특성의 향상 효과가 작고, 한편 상기한 각 성분의 상한량 이하인 경우, 2 차 재결정립의 발달이 가장 양호해진다. 이 때문에, 각각 상기한 범위로 함유시키는 것이 바람직하다.
- [0096] 또한, 상기 성분 이외의 잔부는, 제조 공정에 있어서 혼입되는 불가피적 불순물 및 Fe 이다.
- [0097] 이어서, 상기한 성분 조성을 갖는 슬래브는, 통상적인 방법에 따라 가열하여 열간 압연에 제공하는데, 주조 후, 가열하지 않고 바로 열간 압연해도 된다. 박주편(薄鑄片)의 경우에는 열간 압연해도 되고, 열간 압연을 생략하고 그대로 이후의 공정으로 진행해도 된다.
- [0098] 또한, 필요에 따라 열연판 어닐링을 실시한다. 열연판 어닐링의 주된 목적은, 열간 압연으로 생긴 밴드 조직을 해소하여 1 차 재결정 조직을 정립(整粒)으로 하고, 이로써 2 차 재결정 어닐링에 있어서 고스 조직을 더욱 발달시켜 자기 특성을 개선시키는 것이다. 이 때, 고스 조직을 제품판에 있어서 고도로 발달시키기 위해서는, 열연판 어닐링 온도로서 800 ~ 1100 °C 의 범위가 바람직하다. 열연판 어닐링 온도가 800 °C 미만이면, 열간 압연에서의 밴드 조직이 잔류하여 정립된 1 차 재결정 조직을 실현시키기가 곤란해져, 원하는 2 차 재결정의 개선이 얻어지지 않는다. 한편, 열연판 어닐링 온도가 1100 °C 를 초과하면, 열연판 어닐링 후의 입경이 너무 조대화되기 때문에, 정립된 1 차 재결정 조직의 실현이 곤란해진다.
- [0099] 열연판 어닐링 후에는, 1 회의 냉간 압연 또는 중간 어닐링을 사이에 두는 2 회 이상의 냉간 압연을 실시한 후, 탈탄 어닐링(재결정 어닐링을 겸용한다)을 실시하고, 어닐링 분리체를 도포한다. 어닐링 분리체를 도포한 후에, 2 차 재결정 및 포스테라이트 피막의 형성을 목적으로 하여 최종 마무리 어닐링을 실시한다. 또한, 어닐링 분리체는 포스테라이트를 형성하기 위해 MgO 를 주성분으로 하는 것이 바람직하다. 여기서 MgO 가 주성분이라는 것은, 본 발명의 목적으로 하는 포스테라이트 피막의 형성을 저해하지 않는 범위에서, MgO 이외의 공지된 어닐링 분리체 성분이나 특성 개선 성분을 함유해도 되는 것을 의미한다.
- [0100] 최종 마무리 어닐링 후에는, 평탄화 어닐링을 실시하여 형상을 교정하는 것이 유효하다. 또한, 본 발명에서는, 평탄화 어닐링 전 또는 후에 강판 표면에 절연 코팅을 실시한다. 여기에, 이 절연 코팅은, 본 발명에서

는 철손 저감을 위해 강판에 장력을 부여할 수 있는 코팅 (이하, 장력 코팅이라고 한다) 을 의미한다. 또한, 장력 코팅으로는 실리카를 함유하는 무기계 코팅이나 물리 증착법, 화학 증착법 등에 의한 세라믹 코팅 등을 들 수 있다.

[0101] 본 발명에서는, 상기 서술한 최종 마무리 어닐링 후 또는 장력 코팅 후의 방향성 전기 강판에, 어느 시점에서 강판 표면에 전자 빔을 조사함으로써 자구 세분화를 실시한다. 본 발명에서 전자 빔을 조사하는 경우, 10 ~ 200 kV 의 가속 전압으로, 0.1 ~ 100 mA 의 전류치로 하는 것이 바람직하다. 또, 본 발명에서는, 압연 방향으로 1 ~ 20 mm 정도의 간격으로 전자 빔의 조사를 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 강판에 부여되는 소성변형의 깊이는 10 ~ 40 μm 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0102] 본 발명에 있어서 전자 빔의 조사 방향은 압연 방향과 교차하는 방향으로 실시할 필요가 있는데, 이 조사 방향은 압연 방향으로 45 ~ 90 도 정도의 방향에 대하여 실시하는 것이 바람직하다.

[0103] 본 발명에 있어서, 상기 서술한 공정이나 제조 조건 이외에 대해서는, 종래 공지된 전자 빔을 사용한 자구 세분화 처리를 실시하는 방향성 전기 강판의 제조 방법을 적용할 수 있다.

[0104] 실시예

[0105] [실시예 1]

[0106] 표 1 에 나타내는 성분 조성이 되는 강 슬래브를 연속 주조로 제조하여, 1430 °C 로 가열 후, 열간 압연에 의해 판두께 : 1.6 mm 의 열연판으로 한 후, 1000 °C 에서 10 초의 열연판 어닐링을 실시하였다. 이어서, 냉간 압연에 의해 중간 판두께 : 0.55 mm 로 하고, 산화도  $PH_2O/PH_2 = 0.37$ , 온도 : 1100 °C, 시간 : 100 초의 조건으로 중간 어닐링을 실시하였다. 그 후, 염산 산세에 의해 표면의 서브 스케일을 제거한 후, 재차 냉간 압연을 실시하여, 판두께 : 0.23 mm 의 냉연판으로 하였다.

[0107] 이어서, 산화도  $PH_2O/PH_2 = 0.45$ , 균열 온도 : 850 °C 에서 150 초 유지하는 탈탄 어닐링을 실시한 후, MgO 를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 도포하였다. 이 때 표 2 에 나타내는 바와 같이, 어닐링 분리제 도포량과 어닐링 분리제 도포 후의 권취 장력을 변화시켰다. 그 후, 2 차 재결정과 순화를 목적으로 한 최종 마무리 어닐링을 1180 °C, 60 h 의 조건으로 실시하였다.

[0108] 이 최종 마무리 어닐링에서는, 700 °C 이상의 온도 영역의 냉각 과정에 있어서의 평균 냉각 속도를 변화시켰다. 이어서, 50 % 의 콜로이드 실리카와 인산마그네슘으로 이루어지는 장력 코팅을 부여하였다.

[0109] 그 후, 가속 전압 : 50 kV, 빔 전류 : 2.0 mA, 빔 주사 속도 : 15 m/초, 빔 직경 : 0.18 mm, 압연 방향의 조사 간격 : 6.0 mm, 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치 : 0.5 mm 압연 방향과 교차하는 각도 : 80 도의 조사 조건으로 점상으로 전자 빔을 조사하는 자구 세분화 처리를 실시하여 제품으로 하고, 철손 및 피막 장력을 측정하였다.

[0110] 이어서, 각 제품을 사각 (斜角) 전단하여, 750 kVA 의 삼상 트랜스포머를 조립하고, 50 Hz, 1.7 T 에서 여자시킨 상태에서의 철손 및 소음을 측정하였다. 본 트랜스포머에 있어서의 소음의 설계치는 62 dB 이다.

[0111] 상기한 철손 및 소음의 측정 결과를 표 2 에 병기한다.

**표 1**

성분 조성(질량%, C,O,N,Al,Se,S는 질량ppm)								
C	S	Mn	Ni	O	N	Al	Se	S
500	2.85	0.1	0.01	25	70	260	110	30

[0112]

표 2

No.	어닐링 분리제 도포량 (g/m <sup>2</sup> )	어닐링 분리제 도포 후의 권취 장력 (N/mm <sup>2</sup> )	700 °C 까지의 냉각 속도 (°C/h)	강판에 부여한 장력		조사 피치/열변형 도열 영역의 스톱 직경 (B/A)	제품 W <sub>17/50</sub> (W/kg)	트랜스 소음 (dBA)	기타	비고
				압연 장력 (MPa)	압연 직각 방향 장력 (MPa)					
1	14	20	20	—	—	1.6	—	—	비교에	
2	4	40	35	1.8	1.2	1.6	0.69	68	비교에	
3	7	40	35	2.4	1.5	1.6	0.69	68	비교에	
4	11	40	10	3.3	3.3	1.6	0.66	61	비교에	
5	16	40	30	4.0	4.2	1.6	0.66	61	비교에	
6	13	70	40	4.2	3.5	1.6	0.66	61	비교에	
7	13	70	110	1.5	1.8	1.6	0.69	69	비교에	
8	8	70	25	1.3	2.1	1.6	0.69	69	비교에	
9	13	70	2	4.2	3.8	1.6	0.66	61	비교에	
10	16	170	25	1.6	2.2	1.6	0.69	69	비교에	
11	7	170	25	1.0	1.2	1.6	0.69	70	비교에	
12	14	170	80	0.8	1.0	1.6	0.69	70	비교에	

[0113]

[0114]

표 2 에 나타낸 바와 같이, 전자 빔에 의한 자구 세분화 처리를 실시하고, 본 발명의 범위를 만족하는 방향성 전기 강판을 사용한 경우, 실기 트랜스포머의 소음은 낮아 설계치를 만족하는 특성이 얻어졌다. 또, 철손 특성의 열화도 억제되었다.

[0115]

이에 비하여, No. 2, 3, 8, 11 은 어닐링 분리제의 도포량이 본 발명의 범위 외, No. 10, 11, 12 는 권취 장력이 본 발명의 범위 외, No. 7, 12 는 냉각 속도가 본 발명의 범위 외로 되어, 강판에 부여한 장력이 본 발명을 만족하지 못하고, 그 모두가 소음의 설계치를 만족하지 못하였다.

[0116]

[실시예 2]

[0117]

표 1 에 나타내는 성분 조성이 되는 강 슬래브를 연속 주조로 제조하여, 1430 °C 로 가열 후, 열간 압연에 의해 판두께 : 1.6 mm 의 열연판으로 한 후, 1000 °C 에서 10 초의 열연판 어닐링을 실시하였다. 이어서, 냉간 압연에 의해 중간 판두께 : 0.55 mm 로 하고, 산화도 PH<sub>2</sub>O/PH<sub>2</sub> = 0.37, 온도 : 1100 °C, 시간 : 100 초의 조건으로 중간 어닐링을 실시하였다. 그 후, 염산 산세에 의해 표면의 서브 스케일을 제거한 후, 재차 냉간 압연을 실시하여, 판두께 : 0.23 mm 의 냉연판으로 하였다.

[0118]

이어서, 산화도 PH<sub>2</sub>O/PH<sub>2</sub> = 0.45, 균열 온도 : 850 °C 에서 150 초 유지하는 탈탄 어닐링을 실시한 후, MgO 를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 도포하였다. 이 때, 어닐링 분리제의 도포량은 12 g/m<sup>2</sup>, 권취 장력은 60 N/mm<sup>2</sup> 로 하였다. 그 후, 2 차 재결정과 순화를 목적으로 한 최종 마무리 어닐링을 1180 °C, 60 h 의 조건으로

로 실시하였다. 이 2 차 재결정 어닐링의 냉각 과정에 있어서 700 °C 까지의 평균 냉각 속도를 15 °C/h 로 하였다. 이어서, 50 % 의 콜로이드 실리카와 인산마그네슘으로 이루어지는 장력 코팅을 부여하였다.

[0119] 그 후, 전자 빔 및 레이저로 자구 세분화 처리를 실시하여 제품으로 하고, 철손 및 피막 장력을 측정하였다. 또한, 전자 빔·레이저 모두, 빔 직경 및 압연 방향과 교차하는 방향의 조사 피치, 또 빔 전류치 및 주사 속도에 대해서는 표 3 에 나타내는 바와 같이 변화시켰다. 그 밖의 조건은 각각 이하와 같다.

[0120] a) 전자 빔 : 가속 전압 : 150 kV, 압연 방향의 조사 간격 : 5 mm, 압연 방향과 교차하는 각도 : 90 도

[0121] b) 레이저 : 파장 : 0.53 μm 의 펄스 레이저, 빔 주사 속도 : 300 mm/초, 레이저 출력 : 15 W, 압연 방향의 조사 간격 : 5 mm

[0122] 이어서, 각 제품을 사각 전단하여, 500 kVA 의 삼상 트랜스포머를 조립하고, 50 Hz, 1.7 T 에서 여자시킨 상태에서 철손 및 소음을 측정하였다. 본 트랜스포머에 있어서의 소음의 설계치는 55 dB 이다.

[0123] 상기한 철손 및 소음의 측정 결과를 표 3 에 병기한다.

표 3

No.	빔의 종류	빔 직경 A(mm)	압연 방향과 직교하는 방향의 조사 피치 B (mm)	B/A'	빔 전류치 (mA)	주사 속도 (m/s)	조사 피치/ 열변형도인 영역의 스폿 직경 (B/A)	강판에 부여한 장력		제품 W <sub>17/90</sub> (W/kg)	트랜스 소음 (dBA)	비고
								압연 장력 (MPa)	압연 직각 장력 (MPa)			
1	전자 빔	0.07	0.45	6.4	1.5	20	2.3	3.5	4.2	0.66	54	발명에
2	전자 빔	0.07	0.45	6.4	0.5	20	5.6	3.6	4.2	0.71	54	비교예
3	전자 빔	0.1	0.15	1.5	1.5	20	1.6	3.5	4.2	0.66	54	발명에
4	전자 빔	0.1	0.15	1.5	5.0	5	0.3	3.5	4.2	0.71	54	비교예
5	전자 빔	0.2	0.05	0.25	2.0	25	1.3	3.6	4.3	0.71	54	비교예
6	레이저	0.2	0.05	0.25	-	-	1.3	3.5	4.2	0.71	54	비교예
7	전자 빔	0.05	0.26	5.2	2.2	20	3.5	3.5	4.1	0.68	54	발명에
8	레이저	0.05	0.26	5.2	-	-	3.5	3.2	4.2	0.72	54	비교예
9	전자 빔	0.2	1.50	7.5	2.0	10	6	3.6	4.0	0.74	54	비교예
10	레이저	0.2	1.50	7.5	-	-	6	3.5	4.2	0.74	54	비교예
11	전자 빔	0.25	0.35	1.4	1.5	20	1.75	3.8	3.8	0.68	54	발명에
12	전자 빔	0.55	0.25	0.45	3.5	10	0.4	3.9	3.7	0.72	54	비교예
13	전자 빔	0.55	1.2	2.2	1.5	15	2.0	3.5	4.1	0.72	54	비교예
14	전자 빔	0.55	4.0	7.3	2.5	10	6.6	3.5	4.2	0.72	54	비교예

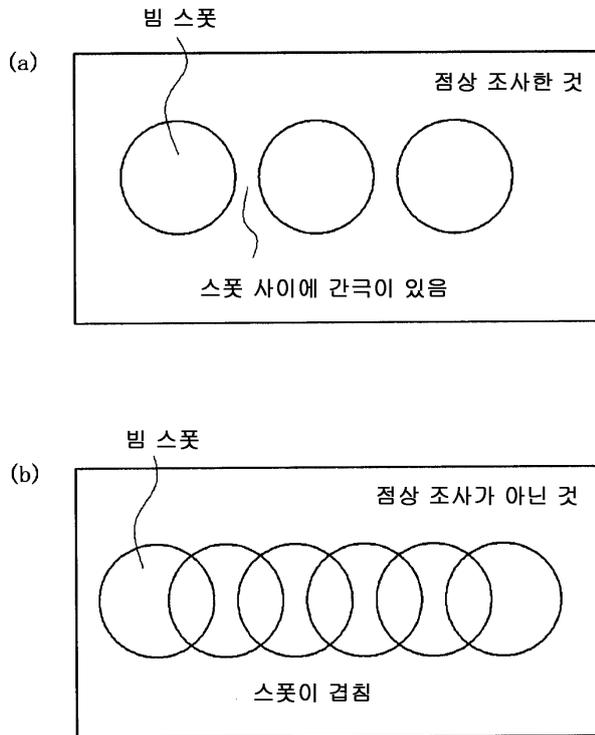
[0124] 표 3 에 나타낸 바와 같이, 전자 빔에 의한 자구 세분화 처리를 실시하고, 본 발명의 범위를 만족하는 방향성 전기 강판을 사용한 경우, 실기 트랜스포머의 소음은 낮아 설계치를 만족하는 특성이 얻어졌다. 또, 철손 특성의 열화도 억제되었다.

[0126]

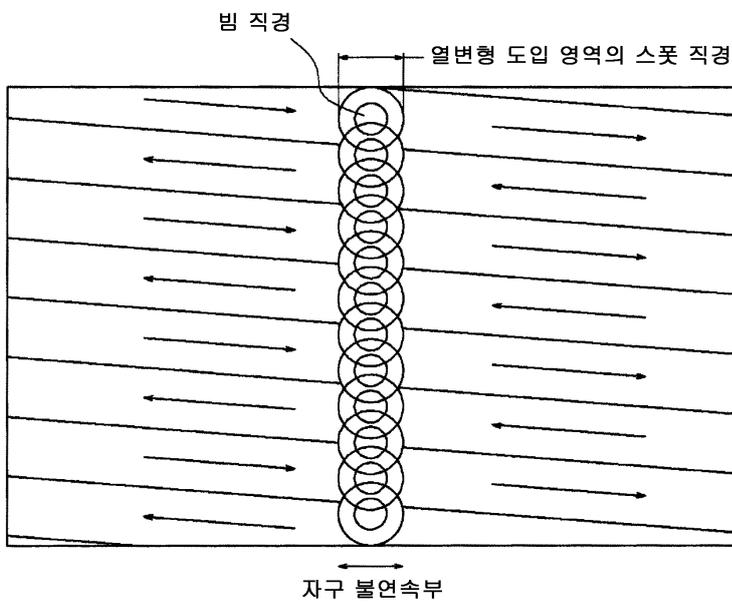
이에 비하여, 레이저로 자구 세분화를 실시한 No. 6, 8, 10 의 비교예, 또 전자 빔에 의한 자구 세분화 처리를 실시했지만, 열변형 도입 영역의 스폿 직경 A 나 빔 직경 A', 이들과 조사 피치 B 의 관계 등이 본 발명의 범위 외인 No. 2, 4, 5, 9, 12, 13, 14 의 비교예는, 그 모두가 철손성이 떨어졌다.

도면

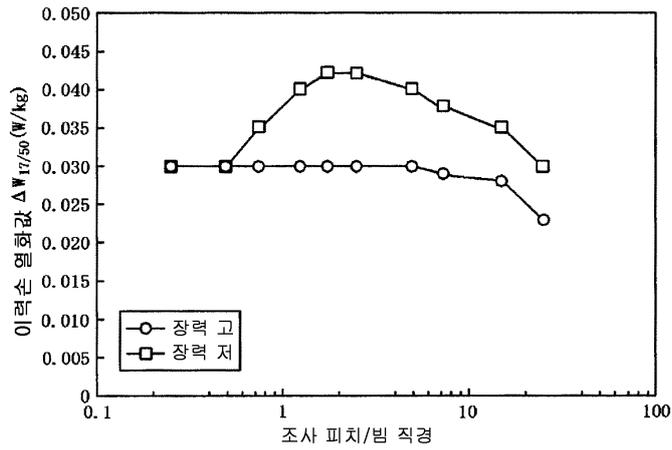
도면1



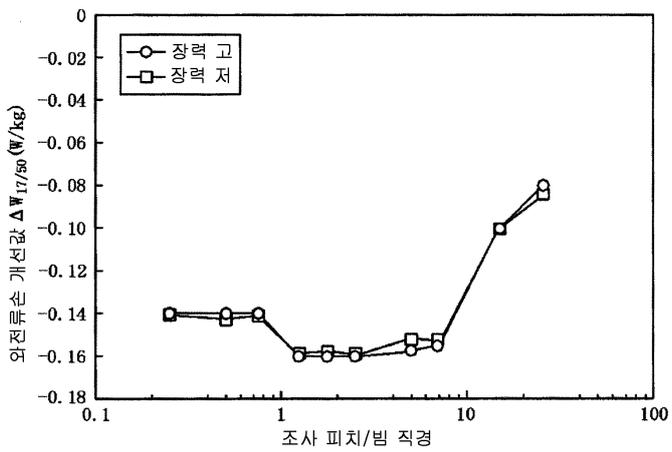
도면2



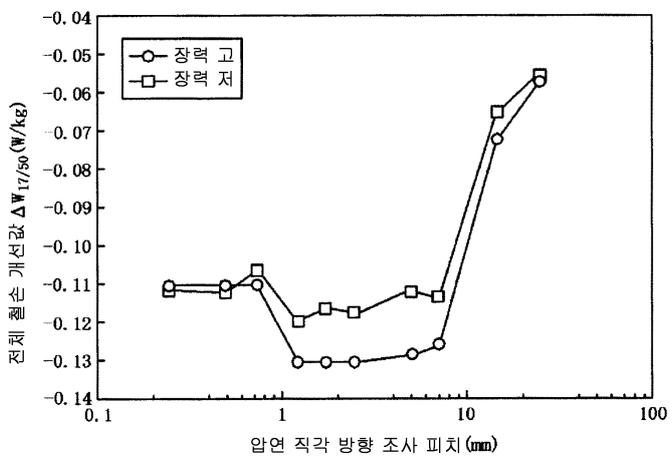
도면3



도면4



도면5



도면6

