



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년09월09일
(11) 등록번호 10-1551782
(24) 등록일자 2015년09월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 1/16 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7016938
- (22) 출원일자(국제) 2012년12월21일
심사청구일자 2014년06월20일
- (85) 번역문제출일자 2014년06월20일
- (65) 공개번호 10-2014-0103973
- (43) 공개일자 2014년08월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2012/008202
- (87) 국제공개번호 WO 2013/094218
국제공개일자 2013년06월27일
- (30) 우선권주장
JP-P-2011-282271 2011년12월22일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2002356750 A*
JP4616623 B2*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시카가이샤
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자
다카조 시게히로
일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이샤 치테키자 이산부 나이
오카베 세이지
일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이샤 치테키자 이산부 나이
- (74) 대리인
이철

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 최우준

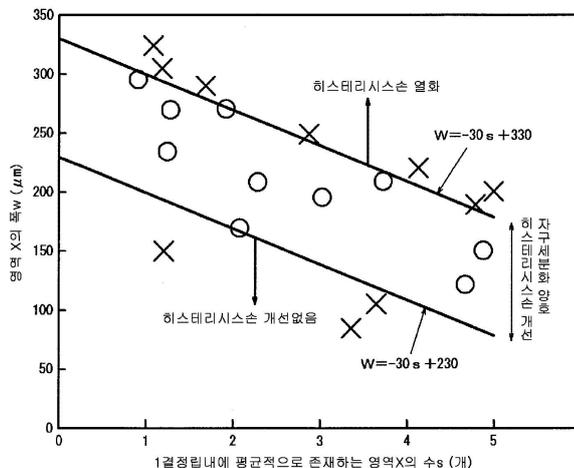
(54) 발명의 명칭 방향성 전자 강판 및 그의 제조 방법

(57) 요약

종래 얻려된, 레이저 조사나 전자빔 조사에 수반되는 히스테리시스손의 증대를 효과적으로 억제하여, 히스테리시스손 및 보자력이 낮은 방향성 전자 강판의 제공을 과제로 한다. 해결 수단으로서, 강판의 한쪽의 폭단부(幅端部)로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 자구(magnetic domain)를 압연 방향으로 분단 하도록 형성된 환류 자구 영역(closure domain region) X를 갖는 방향성 전자 강판에 있어서, 관두께를 t(mm)로 하고, 당해 영역 X의 폭을, 강판의 표면 및 이면으로부터 비터법으로 측정하여 작은 쪽의 값을 w(μm)로 하고, 또한 1결정립(one crystal grain) 내에 평균적으로 존재하는 당해 영역 X의 수를 s(개)로 했을 때, 다음식 (1)의 관계를 만족시킨다.

$$-(500t-80) \times s + 230 \leq w \leq -(500t-80) \times s + 330 \quad \dots (1)$$

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

강관의 한쪽의 폭단부(幅端部)로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 직선 형상 또는 곡선 형상으로, 압연 방향으로 주기적으로, 자구(magnetic domain)를 압연 방향으로 분단하도록 형성된 환류 자구 영역(closure domain region) X를 갖는 방향성 전자 강관(electrical steel sheet)에 있어서, 관두께를 t(mm)로 하고, 당해 영역 X의 폭을, 강관의 표면 및 이면에 있어서 각각 비터법으로 측정하고, 그 중 보다 작은 쪽의 값을 w(μm)로 하고, 또한 1결정립(one crystal grain) 내에 평균적으로 존재하는 당해 영역 X의 수를 s(개)로 했을 때, 이들 w, s 및 t가 다음식 (1)

$$-(500t-80) \times s + 230 \leq w \leq -(500t-80) \times s + 330 \quad \cdots (1)$$

의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강관.

청구항 2

제1항에 기재된 방향성 전자 강관의 제조 방법으로서, 강관 표면에 레이저 또는 전자빔을 조사할 때에 있어서, 강관의 평균 결정 입경에 따라서, 압연 방향의 주기적인 조사 간격 L, 조사 에너지 E 및 빔 지름 a 중 적어도 어느 하나를 조정하여, 강관의 한쪽의 폭단부로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 직선 형상 또는 곡선 형상으로, 압연 방향으로 주기적으로, 자구를 압연 방향으로 분단하는 환류 자구 영역 X를 형성하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강관의 제조 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 변압기의 철심 등의 용도에 제공하기에 적합한 히스테리시스손(hysteresis loss) 및 보자력이 낮은 방향성 전자 강관(electrical steel sheet) 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 에너지의 효율적 사용을 배경으로 하여, 변압기 메이커 등에 있어서, 자속(磁束) 밀도가 높고, 철손(iron loss)이 낮고, 나아가서는 소음이 작은 전자 강관이 요구되고 있다.

[0003] 자속 밀도는, 강관의 결정(crystal) 방위를 고스(Goss) 방위로 집적시킴으로써 향상이 가능하며, 예를 들면 특허문헌 1에는, 1.97T를 초과하는 자속 밀도 B₈을 갖는 방향성 전자 강관의 제조 방법이 나타나 있다.

[0004] 한편, 철손은, 소재의 고(高)순도화, 고배향성, 관두께 저감, Si, Al 첨가 및 자구(magnetic domain) 세분화에 의해 개선이 가능하다(예를 들면 비특허문헌 1). 이 외, 특허문헌 2에는, 어닐링 분리제(annealing separator)를 조정함으로써, 보자력을 저하하여, 철손에 유리한 방향성 전자 강관을 제조하는 방법이 나타나 있다.

[0005] 또한, 소음은, 환류 자구(closure domain)라고 불리는 외부 자계 방향에 대하여 직각을 향하고 있는 자기 모멘트를 갖는 영역을 축소시킴으로써, 저감하는 것이 가능하다. 환류 자구를 저감하는 방법으로서, 특허문헌 3에 기재되어 있는 방법이 있고, 그 중에서도 「결정립의 <100> 방향을 압연 방향으로 정돈시킨다」는 것은, 자속 밀도 B₈의 향상 및 히스테리시스손의 저감에도 유효하다고 생각되어, 지금까지 수많은 보고가 이루어지고 있다.

[0006] 그러나, 한편, 결정립의 <100> 방향을 압연 방향으로 정돈시키면, 정자기(magnetostatic) 에너지가 낮아지기 때문에, 자구폭이 넓어져, 와전류손(eddy current loss)이 높아지는 것이 알려져 있다.

[0007] 그래서, 와전류손을 저감하는 방법으로서, 피막 장력의 향상이나 열변형의 도입에 의한 자구 세분화 기술이 이용되고 있다.

[0008] 특허문헌 4에 나타나는 바와 같은 피막 장력을 향상시키는 방법은, 환류 자구를 소실시키는 효과도 있기 때문에, 소음 저감에도 유리하기는 하지만, 부여하는 장력에는 한계가 있다.

- [0009] 한편, 열변형의 도입에 의한 자구 세분화는, 레이저나 전자빔 조사 등에 의해 행해지고 있으며, 아주 큰 와전류손의 개선 효과가 있다.
- [0010] 예를 들면, 특허문헌 5에는, 전자빔 조사에 의해 $W_{17/50}$ 이 0.8W/kg을 하회하는 철손을 갖는 전자 강판의 제조 방법이 나타나 있으며, 전자빔 조사는 매우 유용한 저(低)철손화 수법인 것을 알 수 있다.
- [0011] 또한, 특허문헌 6에는, 레이저 조사에 의해, 철손을 저감하는 방법이 나타나 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 일본등록특허공보 제4123679호
- (특허문헌 0002) 일본등록특허공보 제3386727호
- (특허문헌 0003) 일본등록특허공보 제4585101호
- (특허문헌 0004) 일본공고특허공보 평2-8027호
- (특허문헌 0005) 일본공고특허공보 평7-65106호
- (특허문헌 0006) 일본공고특허공보 평3-13293호
- (특허문헌 0007) 일본등록특허공보 제4091749호
- (특허문헌 0008) 일본등록특허공보 제4344264호

비특허문헌

- [0013] (비특허문헌 0001) 「연자성 재료의 최근의 진보」, 제155·156회 니시야마 기념 기술 강좌, 사단법인 일본철강 협회, 1995년 2월 10일 발행

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 그런데, 레이저나 전자빔 등을 조사하면, 자구가 세분화되어 와전류손이 낮아지는 한편, 히스테리시스손이 증대한다.
- [0015] 예를 들면, 특허문헌 7에도 나타나 있는 바와 같이, 「강판에 레이저를 조사하면 피막의 증발 반력, 또는 급가열·급랭에 의해 표층에 응력 변형이 발생한다. 이 변형을 근원으로 하여 그 폭과 거의 동일한 정도의 폭을 갖는 환류 자구가 발생하고, 여기에서의 정자기 에너지를 최소화하도록 180° 자구가 세분화된다. 그 결과, 180° 자구폭에 비례한 와전류손이 감소하여 철손이 저하된다. 한편, 변형이 도입되면 히스테리시스손은 증대한다. 즉 레이저에 의한 철손 저감이란 도 11에 개략도에 나타내는 바와 같이 변형량의 증대에 수반되는 와전류손의 감소와 히스테리시스손의 증가 중에, 그들의 합인 철손을 최소화시키는 최적 응력 변형을 부여하는 것에 있다. 따라서, 와전류손을 충분히 저하시키고, 또한 히스테리시스손의 증대를 최대한 억제하는 것이 이상적이며, 그러한 방향성 전자 강판을 실현하는 것이 요망되고 있었다.」는 것이다.
- [0016] 또한, 특허문헌 8에는, 레이저 조사 등에 의해 강판에 발생하는 경화 영역이, 자벽(磁壁) 이동을 방해하고, 히스테리시스손을 높게 한다고 보고되어 있다.
- [0017] 또한, 이러한 환류 자구는, 자왜(magnetostriction)를 증대시킨다고 생각할 수 있으며, 따라서, 변압기의 철심으로 사용된 경우, 여자(excitation)시에 소음이 커져 버린다.
- [0018] 이러한 문제에 대하여, 특허문헌 8에는, 레이저 출력이나 스폿 지름비를 조정함으로써, 레이저 주사 방향과 직각 방향의, 레이저 조사에 의해 경화하는 영역을 0.6mm 이하로 축소시키고, 조사에 의한 히스테리시스손의 증대를 억제함으로써, 철손을 보다 저감하는 기술이 나타나 있다. 그러나, 그림에도 불구하고, 레이저나 전자빔을

조사함으로써 철손의 최소화를 도모하면, 적지 않게 히스테리시스손 및 소음이, 조사 전보다도 증대해 버린다는 문제가 있었다.

[0019] 본 발명은, 상기의 현상을 감안하여 개발된 것으로, 종래 염려된, 레이저 조사나 전자빔 조사에 수반되는 히스테리시스손의 증대를 효과적으로 억제하여, 히스테리시스손 및 보자력을 저감한 방향성 전자 강관을, 그의 유리한 제조 방법과 함께 제안하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0020] 그리고, 발명자들은, 상기의 과제를 해결하기 위해 예의 실험과 검토를 거듭한 결과, 레이저나 전자빔 등에 의한 자구 세분화 처리에 연구를 더함으로써, 와전류손을 저감시키면서, 히스테리시스손도 저감시킬 수 있는 것을 찾아냈다.

[0021] 상기의 자구 세분화 처리는, 강관에 환류 자구를 생성시키는 한편, 조사 전에 있었던 란셋(lancet) 자구라고 불리는 환류 자구를 소실시키는 역할도 갖는다. 란셋 자구란, 결정 방위(β각)가, 이상적인 <100> 방향으로부터 수 ° 어긋나 있는 경우에 발생하는 정자기 에너지를 저감하기 위해 생성하는, 판두께 방향으로 자기 모멘트를 갖는 영역이다.

[0022] 이러한 현상이 발생하는 상세한 메커니즘은 정확하지 않지만, 자구 세분화에 의해 새롭게 생성된 환류 자구가, 란셋 자구를 대신하여 정자기 에너지를 안정화했기 때문이거나, 또는 자구 세분화시에 강관에 형성된 내부 응력이, 란셋 자구를 불안정하게 하기 때문에, 란셋 자구가 소실되는 것이라고 생각할 수 있다.

[0023] 발명자들은, 레이저나 전자빔의 조사에 의해 생성되는 환류 자구에 대하여, 소실되는 환류 자구(란셋 자구)의 비율을 높게 함으로써, 히스테리시스손 및 보자력을 조사 전의 값보다도 더욱 저감할 수 있다는 신규 인식을 기초하여, 본 발명을 완성시킨 것이다.

[0024] 즉, 본 발명의 요지 구성은 다음과 같다.

[0025] 1. 강관의 한쪽의 폭단부(幅端部)로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 직선 형상 또는 곡선 형상으로, 압연 방향으로 주기적으로, 자구를 압연 방향으로 분단하도록 형성된 환류 자구 영역 X를 갖는 방향성 전자 강관에 있어서, 판두께를 t(mm)로 하고, 당해 영역 X의 폭을, 강관의 표면 및 이면(裏面)으로부터 비터법으로 측정하고, 그 중보다 작은 쪽의 값을 w(μm)로 하고, 또한 1결정립 내에 평균적으로 존재하는 당해 영역 X의 수를 s(개)로 했을 때, 이들 w, s 및 t가 다음식 (1)

[0026]
$$-(500t-80) \times s + 230 \leq w \leq -(500t-80) \times s + 330 \dots (1)$$

[0027] 의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강관.

[0028] 2. 상기 1에 기재된 방향성 전자 강관의 제조 방법으로서, 강관 표면에 레이저 또는 전자빔을 조사할 때에 있어서, 강관의 평균 결정 입계에 따라서, 압연 방향의 주기적인 조사 간격 L, 조사 에너지 E 및 빔 지름 a 중 적어도 어느 하나를 조정하여, 강관의 한쪽의 폭단부로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 직선 형상 또는 곡선 형상으로, 압연 방향으로 주기적으로, 자구를 압연 방향으로 분단하는 환류 자구 영역 X를 형성하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강관의 제조 방법.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 자구 세분화시에 있어서, 환류 자구를 적절하게 도입함으로써, 와전류손의 개선에 더하여, 종래 어렵다고 여겨진 히스테리시스손의 개선도 동시에 달성할 수 있다.

[0030] 또한, 본 발명의 방향성 전자 강관은, 히스테리시스손이 낮을 뿐만 아니라, 1.7T 여자에 있어서의 보자력도 낮기 때문에, 변압기의 에너지 사용 효율이 향상되는 이점이 있다. 또한, 소음의 요인으로 여겨지는 환류 자구량이 매우 적으므로, 소음의 억제도 아울러 달성할 수 있기 때문에, 산업상 매우 유용하다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 환류 자구 영역 X의 형성 요령을 나타내는 도면이다.

도 2는 환류 자구 영역 X의 폭 w와 1결정립 내에 평균적으로 존재하는 영역 X의 갯수 s가 자구 세분화 및 히스테리시스손에 미치는 영향을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0033] 이하, 본 발명에 대해서 구체적으로 설명한다.
- [0034] 본 발명은, 방향성 전자 강관에 대하여 적용되는 것이다. 방향성 전자 강관으로서, 절연 피막 등이 코팅되어 있어도 좋고, 코팅이 부분적으로 박리되어 있어도, 또한 전체적으로 없어도 문제는 없다.
- [0035] 또한, 본 발명의 전자 강관은, 강관의 폭단부로부터 다른 한쪽의 폭단부까지, 직선 형상 또는 곡선 형상으로, 압연 방향으로 주기적으로, 자구를 압연 방향으로 분단하도록 형성된 환류 자구 영역 X를 갖는다. 여기에서, 폭방향으로는, 반드시 연속된 1개의 선으로 조사되어 있을 필요는 없고, 수 100mm마다 불연속이라도 좋다. 즉, 예를 들면 도 1에 나타내는 바와 같이, 도중에 단차가 부여되어 있어도 좋다. 단, 결정 입계는, 상기의, 자구를 압연 방향으로 분단하도록 형성된 환류 자구 영역에 포함시키지 않는다.
- [0036] 상기한 환류 자구 영역 X의 도입 전후의 철손 변화량을 고찰하면, 일반적으로, 자구 세분화에 대응하는 와전류손의 저감 및 환류 자구 증대에 의한 히스테리시스손의 증가는, 영역 X의 폭 w가 커질수록, 또한 1결정립 내에 평균적으로 존재하는 영역 X의 갯수 s가 클수록 현저해진다고 생각할 수 있다.
- [0037] 그러나, 발명자들은, 상기한 s 및 w, 또한 관두께 t가, 어느 일정한 관계를 만족하면, 히스테리시스손이 개선되는 것을 찾아냈다.
- [0038] 여기에서, 1결정립 내에 평균적으로 존재하는 영역 X의 갯수 s는, 자기 측정을 행하는 시료 내에 존재하는 결정립 $i(i=1\sim N, N: 전(全)결정립 수)$ 에 대하여, 그 면적률 S_i 와 그 결정립 내에 존재하는 영역 X의 수 n_i 를 측정하고, $\sum(i=1, N) S_i \times n_i$ 로 정의했다. 피막이 부착된 채로는, 결정립 측정을 하기 어려운 경우에는, 결정립을 육안으로 인식할 수 있을 때까지, 염산이나 질산 등을 이용하여 피막을 박리해도 좋지만, 과도하게 하면 지철이 용출되어 버려, 영역 X의 폭이 피막이 있는 상태에서부터 변하기 때문에, 영역 X의 폭은 미리 피막이 부착된 상태에서 측정하는 편이 바람직하다. 또한, 영역 X의 폭은, 강관의 표면으로부터 관찰하는 경우와 이면으로부터의 경우에서 상이하기 때문에, 보다 작은 쪽의 값으로 정의하고, w로 했다. 단, 영역 X가 편면에서밖에 관찰되지 않는 경우에는, 그 편면에 있어서의 폭을 w로 했다. w가 폭방향에서 크게 변동하는 경우에는, 폭방향의 평균값을 채택하는 것으로 한다.
- [0039] 또한, 환류 자구 영역 X의 폭의 측정시에 있어서는, 비터법을 이용한다.
- [0040] 여기에서, 비터법이란, 자화(磁化)의 변화가 큰 부분으로 끌어 당겨지기 쉬운 자성 콜로이드에 의해, 자벽 등을 관찰하는 수법이다.
- [0041] 발명자들은, 상기한 w와 s를 적정화함으로써, 자구가 세분화되어 와전류손이 저감되고, 게다가 조사 전보다도 히스테리시스손이 개선되는 조건을 실험적으로 구했다.
- [0042] 도 2에, 전자빔 조사에 의한 w와 s가 자구 세분화 및 히스테리시스손에 미치는 영향에 대해서 조사한 결과를 나타낸다.
- [0043] 동(同) 도에 나타낸 바와 같이, 자구가 세분화되고, 히스테리시스손이 조사 전과 비교하여 낮아지는 조건은, 다음식 (1)
- [0044]
$$-(500t-80) \times s + 230 \leq w \leq -(500t-80) \times s + 330 \dots (1)$$
- [0045] 로 규정할 수 있는 것이 분명해졌다.
- [0046] 또한, $w < -(500t-80) \times s + 230$ 의 경우는, 조사에 의해 원래 강관에 존재하고 있던 환류 자구가 저감되지 않아, 히스테리시스손의 개선 효과가 불충분하고, 한편 $-(500t-80) \times s + 330 < w$ 의 경우는, 조사에 의해 증가하는 환류 자구가 지나치게 많아 히스테리시스손의 개선을 요망할 수 없다.
- [0047] 예를 들면, 상기 관두께 t가 0.22mm인 경우, 히스테리시스손이 조사 전과 비교하여 낮아지는 조건은, 다음식 (2)
- [0048]
$$-30 \times s + 230 \leq w \leq -30 \times s + 330 \dots (2)$$
- [0049] 로 규정할 수 있다. $w < -30 \times s + 230$ 의 경우는, 조사에 의해 원래 강관에 존재하고 있던 환류 자구가 저감되지

않아, 히스테리시스손의 개선 효과가 불충분하고, 한편 $-30 \times s + 330 < w$ 의 경우는, 조사에 의해 증가하는 환류 자구가 지나치게 많아 히스테리시스손의 개선을 요망할 수 없다.

[0050] 또한, 히스테리시스손이 저감되는 w 의 범위는, 판두께 t 가 커질수록 좁아지는 것이 분명해졌다. 이것은, 판두께 t 가 작은 경우에는, 자벽 에너지가 낮기 때문에 레이저나 전자빔을 조사하면 용이하게 자구 세분화가 발생하여, 정자기 에너지가 감소하는 것에 기인한다고 추정되고, 원래 정자기 에너지를 저감하기 위해 생성되어 있던 란셋 자구는 존재할 필요가 없어져, 소실된다고 생각할 수 있다. 그 때문에, 가능한 한 큰 히스테리시스손 저감 효과를 얻는 관점에서는, 판두께 t 가 0.27mm 이하인 것이 바람직하다.

[0051] 또한, 발명자들은, s 가 클수록, 히스테리시스손이 과도하게 높아지는 경향에 있는 것을 찾아냈다. 상세한 메커니즘은 불명하지만, 원래 입자(grain) 내에 존재하는 환류 자구는, s 가 작은 단계에서 거의 소실되어 버리기 때문에, s 가 더욱 커져도, 환류 자구를 줄이는 효과는 매우 결여되는 한편, 열영향 영역이 확대함으로써, 히스테리시스손이 증대하기 때문이라고 추정된다. 한편, s 가 지나치게 작으면 히스테리시스의 개선 효과가 불충분해진다.

[0052] 따라서, 1결정립 내에 평균적으로 존재하는 영역 X 의 갯수 s 는, 0.3~10개 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0053] 또한, 환류 자구 영역 X 의 폭 w 는, 30~320 μ m 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0054] 또한, 발명자들은, 강판 표면에 레이저 또는 전자빔을 조사할 때에 있어서, 강판의 평균 결정 입경에 따라서, 압연 방향의 주기적인 조사 간격 L , 조사 에너지 E 및 빔 지름 a 중 적어도 어느 것을 조정하여, 상기 영역 X 를 형성함으로써, 상기와 같은 히스테리시스손 및 보자력이 낮은 방향성 전자 강판을 제조할 수 있는 것을 찾아냈다.

[0055] 예를 들면, 강판의 압연 방향의 평균 결정 입경 D 를, i 번째의 결정립의 압연 방향 최대 길이를 d_i 로 하여, $D = \sum(i=1, N)S_i \times d_i$ 라고 정의하면, 충분한 수의 결정립이 있으면,

[0056] $s = [D/L]$ or $[D/L+1]$, 단, $[]$ 는 그 중의 값을 초과하지 않는 최대의 정수

[0057] 로 나타낼 수 있다.

[0058] 따라서, 이 s 가, 상기식 (1)을 충족하도록, 영역 X 의 폭 w 및 조사 간격 L 을 조정해 주면 좋다. 영역 X 의 폭 w 는, 조사 에너지 E 나 빔 지름 a 와의 상관성이 높고, E 가 높아질수록 w 가 커지고, 또한 동일 에너지 조사의 경우 a 가 작아질수록 w 가 커지기 때문에, 미리 테스트 조사를 행하여 w 와 E , a 와의 관계를 실험적으로 도출해 두면, E , a 의 조정에 의해, w 를 제어하는 것이 가능하다.

[0059] 또한, 히스테리시스손은, 측정 편차가 0.002W/kg 정도 있기 때문에, 조사에 의해 히스테리시스손이 내려간다고 인정하는 변화량을 (조사 전의 히스테리시스손-조사 후의 히스테리시스손) $\geq 0.003W/kg$ 으로 했다.

[0060] 영역 X 의 도입에는, 불펜이나 나이프 등에 의한 스크라이빙이나, 열·빛·입자선 조사 등을 생각할 수 있지만, 불펜이나 나이프 등으로 스크라이빙한 경우, 변형의 도입이 많아져, 히스테리시스손이 증대하기 쉬운 점에서, 레이저 조사, 전자빔 조사, 플라즈마염 조사 등과 같은 열·빛·입자선 조사가 바람직하다.

[0061] 실시예

[0062] (실시예 1)

[0063] 본 실험에 이용한 재료는, 판두께가 실측값으로 0.22mm, 압연 방향의 자속 밀도 B_0 이 1.85~1.95T이고, 지철의 표면에, Mg_2SiO_4 를 주성분으로 하는 유리 형상 피막 및 그 위에 무기물의 처리액을 베이킹(baking)한 피막(인산염계 코팅)의 2층의 피막을 갖는 방향성 전자 강판이다.

[0064] 환류 자구 영역 X 를 도입하는 수법으로서, 전자빔 조사, 레이저 조사를 이용했다. 각 조사시에 있어서는, 전자빔 조사부, 레이저 조사부가, 강판의 압연 직각 방향으로 강판을 가로지르도록, 전 판폭에 걸쳐 직선 형상으로 주사했다.

[0065] 전자빔 조사의 경우에는, 주사선에 따라, 조사 시간이, 장시간(s_1)과 단시간(s_2)을 반복하도록 하여 행하고, 이 반복의 거리 주기(도트 피치)는 0.05~0.6mm로 했다. 또한, 통상, s_2 는 s_1 에 대하여 충분히 짧아 무시할 수 있기 때문에, s_1 의 역수를 조사 주파수로 해도 좋고, 10~250kHz로 했다. 또한, 주사 속도는 4~80m/s, 압연 방

향의 반복 간격은 3~50mm로 했다. 또한, 전자빔의 조사시에 있어서는, 수렴 코일(converging coil) 중심으로 부터 피(被)조사재까지의 최단 거리를 700mm, 가공실 내의 압력을 2Pa 이하로 했다.

[0066] 한편, 레이저 조사의 경우는, 연속 조사(도트 피치: 0) 또는 단속적(斷續的)으로 펄스 조사(펄스 간격: 0.3mm)로 하고, 주사 속도는 10m/s, 압연 방향의 반복 간격은 3~50mm로 했다. 레이저는, 연속 조사의 경우는 파이버 레이저를, 펄스 조사의 경우는 YAG 레이저를 각각 이용하여, 모두 파장: 1064nm로 했다.

[0067] 상기의 방법에 의해 환류 자구 영역 X를 도입한 후, 마그넷 뷰어(magnet viewer)(시그마하이케미컬사 제조 MV-95)를 이용한 비터법에 의해, 영역 X의 폭을 표리면으로부터 측정하여, w를 구했다. 이어서, 철손을 측정했다. 그 후, 35%의 염산수: 5L를 20L의 물로 희석한 수용액에 47% 불화 수소수: 500mL를 혼합한 수용액과, 67.5% 황산수: 500mL를 10L의 물로 희석한 수용액에 의해, 피막을 박리했다.

[0068] 피막을 박리한 시료의 각 결정립 내에 있는 영역 X의 수를, 마그넷 뷰어를 이용하여 관찰하고, s를 측정했다.

[0069] 표 1에, 환류 자구 영역 X의 폭 w 및 환류 자구 영역 X의 수 s를 나타낸다.

[0070] 또한, 표 1에는, 조사 전의 히스테리시스손 $Wh_{17/50}$, 조사 후의 히스테리시스손의 개선량 $\Delta Wh_{17/50}$ (조사 전의 값-조사 후의 값) 및 와전류손의 개선량 $\Delta We_{17/50}$ (조사 전의 값-조사 후의 값)에 대해서 조사한 결과도 아울러 나타낸다.

[0071] 또한, 표 1에는, 조사 전의 보자력 Hc 및 조사 후의 보자력 개선량 ΔHc (조사 전의 값-조사 후의 값)에 대한 조사 결과도 병기한다.

[0072] 또한, 표 1에는, 피막에 의한 부여 장력을 기호 A, B, C로 나타냈지만, A는 10MPa 초과~15MPa 이하, B는 5MPa 초과~10MPa 이하, C는 5MPa 이하인 경우이다.

표 1

No.	영역 X의 도입 방법	피막 장력	w (μm)	s (개)	조각식의 적할 여부	히스테리시스손 $W_{h17/50}$ (W/kg)	히스테리시스손 개선량 $\Delta W_{h17/50}$ (W/kg)	외전류손 개선량 $\Delta W_{e17/50}$ (W/kg)	보자력 Hc (A/m)	보자력 개선량 ΔHc (A/m)	비고
1	전자빔	A	325	1.1	x	0.306	-0.003	0.065	5.74	0.22	비교예
2	전자빔	A	305	1.2	x	0.300	-0.002	0.060	5.54	0.31	비교예
3	전자빔	A	295	1.0	o	0.283	0.003	0.064	5.48	0.37	발명예
4	전자빔	B	270	1.3	o	0.261	0.004	0.076	5.58	0.26	발명예
5	전자빔	A	235	1.3	o	0.286	0.008	0.071	5.78	0.38	발명예
6	전자빔	A	290	1.7	x	0.294	-0.003	0.072	5.73	0.21	비교예
7	전자빔	C	270	2.0	o	0.284	0.011	0.078	5.59	0.52	발명예
8	전자빔	A	210	2.3	o	0.292	0.012	0.105	5.57	0.45	발명예
9	전자빔	A	250	2.9	x	0.305	-0.004	0.095	5.67	0.28	비교예
10	전자빔	A	195	3.1	o	0.278	0.006	0.085	5.54	0.28	발명예
11	전자빔	A	220	4.2	x	0.294	-0.015	0.086	6.17	-0.17	비교예
12	전자빔	A	210	3.8	o	0.288	0.003	0.075	5.48	0.25	발명예
13	전자빔	A	200	5.0	x	0.278	-0.021	0.114	6.36	-0.46	비교예
14	전자빔	A	190	4.8	x	0.276	-0.014	0.116	6.12	-0.29	비교예
15	레이저	A	150	4.9	o	0.246	0.004	0.062	5.40	0.21	발명예
16	레이저	C	170	2.1	o	0.255	0.010	0.062	5.62	0.50	발명예
17	레이저	A	150	1.2	x	0.251	-0.001	0.043	5.56	0.15	비교예
18	레이저	A	105	3.7	x	0.267	0.000	0.053	5.68	0.16	비교예
19	레이저	A	120	4.7	o	0.262	0.004	0.066	5.48	0.21	발명예
20	레이저	A	85	3.4	x	0.273	0.001	0.041	5.72	0.20	비교예
21	전자빔	A	265	1.8	o	0.285	0.013	0.132	5.30	0.65	발명예
22	전자빔	A	255	2.2	o	0.287	0.012	0.138	5.23	0.69	발명예

※ 피막 장력 A: 10초과~15MPa, B: 5 초과~10MPa, C: 5MPa 이하

[0073]

[0074]

표 1에 나타난 바와 같이, 어느 경우도, 외전류손은 저감되고, 자구가 세분화되어 있는 것이 판명되었지만, 히스테리시스손은, 상기 (1)식을 만족하는 경우에 한하여 개선되어 있는 것을 알 수 있다. 또한,보자력 Hc도 저감되고, 적은 외부 자장으로 여자할 수 있는 것을 알 수 있다.

[0075]

또한, 히스테리시스손 개선량 $\Delta W_{h17/50}$ 및보자력 개선량 ΔHc 는, 피막 장력이 낮을수록 커지는 경향에 있는 것이 판명되었다. 이 이유는, 전자빔 또는 레이저 조사 전의 란셋 자구는, 피막 장력이 높을수록 저감되어 있기 때문에, 피막 장력이 높은 경우에는 조사에 의한 개선량이 적어진 것이라고 생각할 수 있다.

[0076]

(실시에 2)

[0077]

관두께 실측값으로, 각각 0.18mm, 0.19mm, 0.24mm인 방향성 전자 강관을 이용한 것 이외에는, 실시에 1과 동일한 조건에 의해 전자빔 조사를 행했다.

[0078] 그 결과를 표 2에 나타낸다.

표 2

No.	영역 X의 도입 방법	판두께 (mm)	피막 장력	w (μm)	s (개)	조각식의 적합 여부	히스테리시스손 Wh _{17/50} (W/kg)	히스테리시스손 개선량 ΔWh _{17/50} (W/kg)	외전류손 개선량 ΔWe _{17/50} (W/kg)	보자력 Hc (A/m)	보자력 개선량 ΔHc(A/m)	비교
23	전자빔	0.18	A	280	2.5	○	0.304	0.018	0.207	602	0.77	발명예
24	전자빔	0.18	A	210	5.0	○	0.295	0.010	0.222	621	0.61	발명예
25	전자빔	0.19	A	345	5.0	x	0.298	0.002	0.263	6.12	0.32	비교예
26	전자빔	0.19	A	260	1.3	○	0.280	0.012	0.136	5.59	0.66	발명예
27	전자빔	0.19	A	260	2.5	○	0.286	0.013	0.201	5.89	0.39	발명예
28	전자빔	0.19	A	220	4.0	○	0.284	0.007	0.194	6.12	0.11	발명예
29	전자빔	0.24	A	270	1.4	○	0.286	0.004	0.120	5.22	0.04	발명예
30	전자빔	0.24	A	270	2.2	x	0.273	-0.012	0.142	5.27	-0.13	비교예
31	전자빔	0.24	A	270	3.3	x	0.272	-0.018	0.162	5.40	-0.18	비교예
32	전자빔	0.24	A	210	5.0	x	0.268	-0.028	0.174	5.42	-0.23	비교예

※ 피막 장력 A: 10초과~15MPa, B: 5초과~10MPa, C: 5MPa 이하

[0079]

[0080] 표 2에 나타낸 바와 같이, 판두께가 0.22mm 이외의 경우에 있어서도 동일하게, (2)식을 만족함으로써, 히스테리시스손 및 보자력이 개선되어, 각각 낮은 값이 되는 것을 알 수 있다.

[0081] (실시예 3)

[0082] 또한, 자구 세분화를 시행한 폭 100mm의 강관을 이용하여, 3상3각의 적층 철심형의 변압기를 모의한, 외경 500mm 사각형의 모델 트랜스를 제작하여, 소음 평가를 실시했다.

[0083] 이 모델 트랜스는, 적층 두께: 약 15mm, 철심 중량: 약 20kg이 되도록 경사 절단한 강관을 적층하여 제작했다. 3상은 120° 위상을 어긋나게 하여 여자를 행하고, 1.7T, 50Hz 여자의 경우에 있어서의 소음 측정을 행했다.

소음은 철심 표면으로부터 20cm 떨어진 위치(2개소)에서 마이크 측정하고, A 스케일 보정(JIS C 1509)을 행한 dBA 단위로 나타냈다.

[0084] 표 3에 측정 결과를 나타낸다.

표 3

기호	변압기 소음 (dBA)		비고
	조사 전	조사 후	
13	36	38	비교예
22	35	34	발명예
27	34	33	발명예

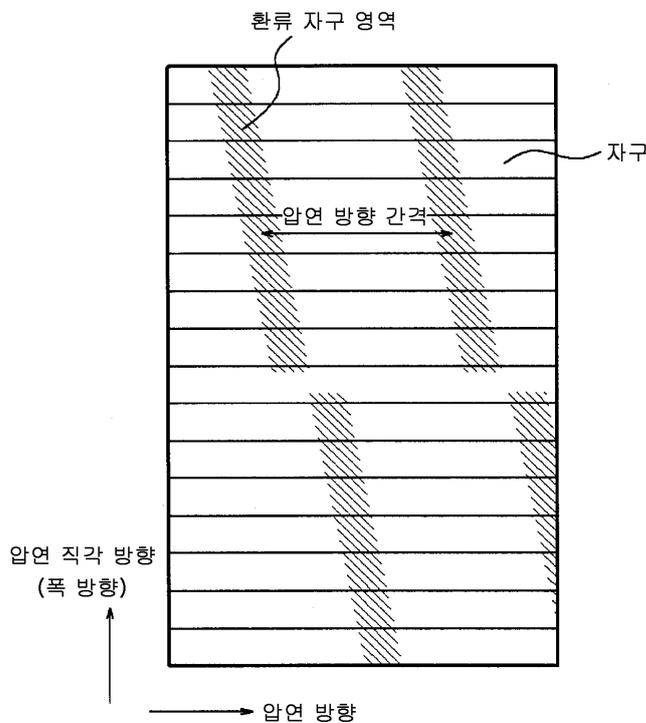
[0085]

[0086] 비교예로서 나타낸 No.13의 강관을 이용한 경우에는, 자구 세분화 처리 후에 소음이 증대했다. 이것은, 강관에 과도한 환류 자구가 형성되어, 자기 변형이 커졌기 때문이라고 추정된다.

[0087] 한편, 발명예로서 나타낸 No.22 및 No.27의 강관을 이용한 경우에는, 자구 세분화 처리 후에 소음이 저하되는 것을 알 수 있다. 조사에 의해 도입하는 환류 자구 X는, 란셋 자구와 동일하게 자기 변형을 증대시키는 요인이 되지만, 조사에 의한 환류 자구의 도입량 이상으로 란셋 자구의 감소량이 많기 때문에, 양자의 총합으로서는 자기 변형 저감에 유리한 상태가 된 것이라고 생각할 수 있다.

도면

도면1



도면2

