



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0122819
(43) 공개일자 2017년11월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C21D 8/12 (2006.01) B23K 26/364 (2014.01)
C21D 10/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C25F 3/06 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C21D 8/1277 (2013.01)
B23K 26/364 (2015.10)
- (21) 출원번호 10-2017-7027696
(22) 출원일자(국제) 2016년04월19일
심사청구일자 2017년09월28일
(85) 번역문제출일자 2017년09월28일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2016/062375
(87) 국제공개번호 WO 2016/171129
국제공개일자 2016년10월27일
(30) 우선권주장
JP-P-2015-086302 2015년04월20일 일본(JP)

- (71) 출원인
신닛테츠스미킨 카부시키카이사
일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 2조메 6방 1고
- (72) 발명자
하마무라 히데유키
일본 1008071 도쿄도 치요다구 마루노우치 2조메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시키카이사 내
사카이 다츠히코
일본 1008071 도쿄도 치요다구 마루노우치 2조메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시키카이사 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
양영준, 최인호, 성재동

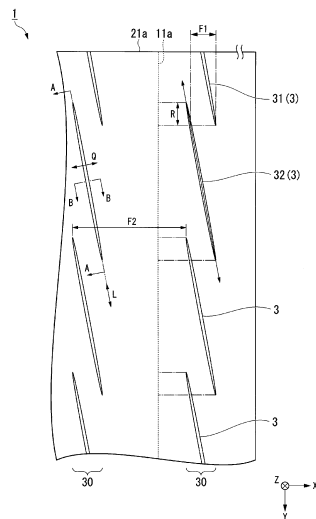
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 방향성 전자 강판

(57) 요약

압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방향이 판두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자 강판이며, 상기 판두께 방향으로부터 상기 강판 표면을 본 경우에, 판폭 방향에 대하여 상기 홈이 복수 배치되어 구성되는 홈군을 갖고, 상기 홈군을 구성하는 상기 홈이, 상기 압연 방향과 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈과 겹치도록 배치되고, 상기 홈군이 상기 압연 방향에 대하여 간격을 갖고 복수 배치되어 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C21D 10/005 (2013.01)

C22C 38/60 (2013.01)

C25F 3/06 (2013.01)

H01F 1/16 (2013.01)

(72) 발명자

모기 히사시

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메

6방 1고 신타테즈스미킨카부시키카이사 내

다카하시 후미아키

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메

6방 1고 신타테즈스미킨카부시키카이사 내

이마이 히로후미

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메

6방 1고 신타테즈스미킨카부시키카이사 내

오쿠무라 슌스케

일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2초메

6방 1고 신타테즈스미킨카부시키카이사 내

명세서

청구범위

청구항 1

압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방향이 판두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자 강판에 있어서,

상기 판두께 방향으로부터 상기 강판 표면을 본 경우에, 판폭 방향에 대하여 상기 홈이 복수 배치되어 구성되는 홈군을 갖고,

상기 홈군을 구성하는 상기 홈이, 상기 압연 방향과 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈과 겹치도록 배치되고,

상기 홈군이 상기 압연 방향에 대하여 간격을 갖고 복수 배치되고,

상기 강판의 상기 판폭 방향의 단부를 기준 단부로 해서, 상기 홈군의 복수의 상기 홈 중 인접하는 홈을 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로 제1 홈, 제2 홈이라 하고,

상기 홈군을 구성하는 각 홈에서의 상기 홈 긴 쪽 방향의 2개의 홈단을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로 제1 홈단, 제2 홈단이라 하고,

상기 투영면에 투영된 상기 제1 홈의 윤곽을 제1 홈 긴 쪽 투영선이라 하고,

상기 투영면에 투영된 상기 제2 홈의 윤곽을 제2 홈 긴 쪽 투영선이라 하고,

상기 홈군을 구성하는 복수의 상기 홈의 윤곽에 있어서의 평균 깊이를 단위 μm 로 홈군 평균 깊이 D_A 라 하고,

상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향으로의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 점을 제1 점이라 하고,

상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향으로의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 점을 제2 점이라 했을 때,

상기 투영면에 있어서, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제1 점과 상기 기준 단부 사이의 거리가, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제2 점과 상기 기준 단부 사이의 거리보다 짧고,

상기 제2 홈의 상기 제1 홈단과 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단 사이의 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상기 판두께 방향의 깊이의 합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 오버랩 영역에 포함되는 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 임의의 점을 P1이라 하고,

상기 오버랩 영역에 포함되는 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 점 중, 상기 기준 단부로부터의 거리가 상기 점 P1과 동일한 점을 P2라 했을 때,

상기 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈의 상기 강판 표면으로부터 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 점 P1까지의 상기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈의 상기 강판 표면으로부터 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 점 P2까지의 상기 판두께 방향의 깊이의 합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상인 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 3

압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방향이 판두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖

는 강판을 구비하는 방향성 전자 강판이며,

상기 판두께 방향으로부터 상기 강판 표면을 본 경우에, 판폭 방향에 대하여 상기 홈이 복수 배치되어 구성되는 홈군을 갖고,

상기 홈군을 구성하는 상기 홈이, 상기 압연 방향과 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈과 겹치도록 배치되고,

상기 홈군이 상기 압연 방향에 대하여 간격을 갖고 복수 배치되고,

상기 강판의 상기 판폭 방향의 한쪽 단부를 기준 단부로 해서, 상기 홈군의 복수의 상기 홈 중 인접하는 홈을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로, 제1 홈, 제2 홈이라 하고,

상기 홈군을 구성하는 각 홈에서의 상기 홈 긴 쪽 방향의 2개의 홈단을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로, 제1 홈단, 제2 홈단이라 하고,

상기 투영면에 투영된 상기 제1 홈의 윤곽을 제1 홈 긴 쪽 투영선이라 하고,

상기 투영면에 투영된 상기 제2 홈의 윤곽을 제2 홈 긴 쪽 투영선이라 하고,

상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제1 홈 평균 깊이 D_1 이라 하고,

상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제2 홈 평균 깊이 D_{11} 라 하고,

상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.05 \times D_{11}$ 가 되는 점을 제3 점이라 하고,

상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.05 \times D_1$ 이 되는 점을 제4 점이라 했을 때,

상기 투영면에서, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제3 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_a 가, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제4 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_b 보다 짧고,

상기 제2 홈의 상기 제1 홈단과 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단 사이의 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향의 깊이의 합계 깊이가 $0.25 \times (D_1 + D_{11})$ 이상인

것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.95 \times D_1$ 이 되는 점을 제5 점이라 하고,

상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.95 \times D_{11}$ 가 되는 점을 제6 점이라 했을 때,

상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제5 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_c 는, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제6 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_d 보다 짧은 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강판에서는 상기 홈에 접하는 결정립의 입경이 $5\mu\text{m}$ 이상인 것을 특징으로 하는 방향성 전자 강판.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 방향성 전자 강판에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2015년 4월 20일에 일본에 출원된 일본특허출원 제2015-086302호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0003] 종래부터, 변압기의 철심(코어)용 강판으로서, 특정한 방향에 우수한 자기 특성을 발휘하는 방향성 전자 강판이 알려져 있다. 이 방향성 전자 강판은, 냉간 압연 처리와 어닐링 처리의 조합에 의해, 결정립의 자화 용이축과 압연 방향이 일치하도록 결정 방위가 제어된 강판이다. 방향성 전자 강판의 철손은 가능한 한 낮은 것이 바람직하다.

[0004] 철손은, 와전류손과 히스테리시스손으로 분류된다. 또한, 와전류손은, 고전적 와전류손과 이상 와전류손으로 분류된다. 고전적 와전류손을 저감시키기 위해서, 상기와 같이 결정 방위가 제어된 강판(지철)의 표면에 절연 피막이 형성된 방향성 전자 강판이 일반적으로 알려져 있다. 이 절연 피막은, 전기적 절연성뿐만 아니라, 장력 및 내열성 등을 강판에 부여하는 역할도 담당하고 있다. 또한, 최근에는, 강판과 절연 피막 사이에 글라스 피막이 형성된 방향성 전자 강판도 알려져 있다.

[0005] 한편, 이상 와전류손을 저감시키기 위한 방법으로서, 압연 방향으로 교차하는 방향으로 연장되는 변형을, 압연 방향을 따라 소정 간격으로 형성함으로써, 180° 자구의 폭을 좁게 하는(180° 자구의 세분화를 행하는) 자구 제어법이 알려져 있다. 이 자구 제어법은, 비파괴적인 수단에 의해 변형을 방향성 전자 강판의 강판에 부여하는 비파괴적 자구 제어법과, 예를 들어 강판의 표면에 홈을 형성하는 등의 파괴적 자구 제어법으로 분류된다.

[0006] 방향성 전자 강판을 사용해서 변압기용 권취 코어를 제조하는 경우, 방향성 전자 강판이 코일 형상으로 감기는 것에 기인해서 발생하는 변형 스트레인을 제거하기 위해서, 응력 제거 어닐링 처리를 실시할 필요가 있다. 비파괴적 자구 제어법에 의해 변형이 부여된 방향성 전자 강판을 사용해서 권취 코어를 제조하는 경우, 응력 제거 어닐링 처리의 실시에 의해 변형이 소실되므로, 자구 세분화 효과(즉 이상 와전류손의 저감 효과)도 소실된다.

[0007] 이 외에, 파괴적 자구 제어법에 의해 홈이 부여된 방향성 전자 강판을 사용해서 권취 코어를 제조하는 경우, 응력 제거 어닐링 처리의 실시에 의해 홈이 소실되지 않으므로, 자구 세분화 효과를 유지할 수 있다. 따라서, 감기 코어에 대해서는, 이상 와전류손을 저감시키기 위한 방법으로서 파괴적 자구 제어법이 일반적으로 채용되고 있다.

[0008] 예를 들어, 특허문헌 1에 개시된 바와 같이, 레이저 조사에 의해 강판에 변형을 부여하는 방법이 실용되어 있다. 이 외에, 방향성 전자 강판의 압연 방향으로 대략 수직, 또한 압연 방향으로 일정 주기로 10 내지 30 μ m 정도의 깊이의 홈을 형성하면, 철손이 저감된다. 이것은, 홈의 공극에서의 투자율의 변화에 따라 홈 주변에 자극이 발생하고, 이 자극을 근원으로 180° 자벽의 간격이 좁아져서, 철손이 개선되기 때문이다.

[0009] 전자 강판에 홈을 형성하는 방법에는, 예를 들어 전해 에칭에 의해 방향성 전자 강판의 강판 표면에 홈을 형성하는 전해 에칭법(하기 특허문헌 2 참조), 기계적으로 기어를 방향성 전자 강판의 강판 표면에 프레스함으로써, 강판 표면에 홈을 형성하는 기어 프레스법(하기 특허문헌 3 참조), 레이저 조사에 의해 강판(레이저 조사부)을 용융 및 증발시키는 레이저 조사법(하기 특허문헌 4 참조)을 들 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 일본특허공고 소58-26406호 공보

(특허문헌 0002) 일본특허공고 소62-54873호 공보

(특허문헌 0003) 일본특허공고 소62-53579호 공보

(특허문헌 0004) 일본특허공개 제2003-129135호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 자구 세분화를 위한 홈을 압연 방향으로 교차하는 방향으로 형성할 때, 일방향을 따라 통관하는 강판의 한쪽 측 연부로부터 다른 쪽 측연부에 걸쳐서 1개 홈을 형성하기 위해서는, 홈 형성 속도를 빠르게 하거나, 강판의 통관 속도를 늦추거나 할 필요가 있다. 그러나, 홈 형성 속도에는 기술적으로 상한이 존재하고, 또한 강판의 통관 속도에는 공업 생산적으로 하한이 존재한다. 그 때문에, 복수의 홈 형 성 장치를 사용하여, 일방향을 따라 통 관하는 강판의 한쪽 측연부로부터 다른 쪽 측연부에 걸쳐서 복수의 홈을 형성하는 경우가 있다. 그러나, 강판 의 한쪽 측연부로부터 다른 쪽 측연부에 걸쳐서 복수의 홈을 형성한 경우, 방향성 전자 강판의 철손 특성이 안 정적으로 향상되지 못한다고 하는 문제가 있었다.
- [0012] 본 발명은, 상기 과제를 감안하여 이루어져서, 공업 생산성이 우수하고, 또한 철손을 개선시킬 수 있는 방향성 전자 강판을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명은, 상기 과제를 해결하여 관련된 목적을 달성하기 위해서, 이하의 수단을 채용한다.
- [0014] (1) 본 발명의 제1 형태에 따른 방향성 전자 강판은, 압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방 향이 판두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 판 두께 방향으로부터 상기 강판 표면을 본 경우에, 판폭 방향에 대하여 상기 홈이 복수 배치되어 구성되는 홈군을 갖고, 상기 홈군을 구성하는 상기 홈이, 상기 압연 방향과 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈과 겹치도록 배 치되고, 상기 홈군이 상기 압연 방향에 대하여 간격을 갖고 복수 배치된다.
- [0015] 이 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 강판의 상기 판폭 방향의 단부를 기준 단부로 해서, 상기 홈군의 복수의 상기 홈 중 인접하는 홈을 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로 제1 홈, 제2 홈이라 하고, 상기 홈군을 구성 하는 각 홈에서의 상기 홈 긴 쪽 방향의 2개의 홈단을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로 제1 홈단, 제2 홈단이라 하고, 상기 투영면에 투영된 상기 제1 홈의 윤곽을 제1 홈 긴 쪽 투영선이라 하고, 상기 투영면에 투 영된 상기 제2 홈의 윤곽을 제2 홈 긴 쪽 투영선이라 하고, 상기 홈군을 구성하는 복수의 상기 홈의 윤곽에 있 어서의 평균 깊이를 단위 μm 로 홈군 평균 깊이 D_A 라 하고, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향으로의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 점을 제1 점이라 하고, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방 향으로의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 점을 제2 점이라 했을 때, 상기 투영면에 있 어서, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제1 점과 상기 기준 단부 사이의 거리가, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제2 점과 상기 기준 단부 사이의 거리보다 짧고, 상기 제2 홈의 상기 제1 홈단과 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단 사이의 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상 기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상기 판두께 방 향의 깊이의 합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상이다.
- [0016] (2) 상기 (1)에 기재된 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 오버랩 영역에 포함되는 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상 의 임의의 점을 P1이라 하고, 상기 오버랩 영역에 포함되는 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 점 중, 상기 기준 단부로부터의 거리가 상기 점 P1과 동일한 점을 P2라 했을 때, 상기 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈의 상기 강판 표면으로부터 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 점 P1까지의 상기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈 의 상기 강판 표면으로부터 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 점 P2까지의 상기 판두께 방향의 깊이의 합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상이어도 된다.
- [0017] (3) 본 발명의 제2 형태에 따른 방향성 전자 강판은, 압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방 향이 판두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자 강판이며, 상기 판두께 방향으로부터 상기 강판 표면을 본 경우에, 판폭 방향에 대하여 상기 홈이 복수 배치되어 구성되는 홈군을 갖고, 상기 홈군을 구성하는 상기 홈이, 상기 압연 방향과 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈과 겹치도록 배 치되고, 상기 홈군이 상기 압연 방향에 대하여 간격을 갖고 복수 배치되어 있다.
- [0018] 이 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 강판의 상기 판폭 방향의 한쪽 단부를 기준 단부로 해서, 상기 홈군의 복

수의 상기 홈 중 인접하는 홈을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로, 제1 홈, 제2 홈이라 하고, 상기 홈군을 구성하는 각 홈에서의 상기 홈 긴 쪽 방향의 2개의 홈단을, 상기 기준 단부로부터 가까운 순서대로, 제1 홈단, 제2 홈단이라 하고, 상기 투영면에 투영된 상기 제1 홈의 윤곽을 제1 홈 긴 쪽 투영선이라 하고, 상기 투영면에 투영된 상기 제2 홈의 윤곽을 제2 홈 긴 쪽 투영선이라 하고, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제1 홈 평균 깊이 D_1 이라 하고, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제2 홈 평균 깊이 D_{11} 라 하고, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.05 \times D_{11}$ 가 되는 점을 제3 점이라 하고, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.05 \times D_1$ 이 되는 점을 제4 점이라 했을 때, 상기 투영면에서, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제3 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_a 가, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제4 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_b 보다 짧고, 상기 제2 홈의 상기 제1 홈단과 상기 제1 홈의 상기 제2 홈단 사이의 오버랩 영역에 있어서, 상기 제1 홈에 있어서의 상기 강판 표면으로부터의 상기 판두께 방향의 깊이와, 상기 제2 홈에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향의 깊이의 합계 깊이가 $0.25 \times (D_1 + D_{11})$ 이상이다.

[0019] (4) 상기 (3)에 기재된 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제2 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.95 \times D_1$ 이 되는 점을 제5 점이라 하고, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선의 상기 제1 홈단에 있어서의 상기 강판 표면으로부터 상기 판두께 방향을 향해서 깊이가 $0.95 \times D_{11}$ 가 되는 점을 제6 점이라 했을 때, 상기 제1 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제5 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_c 는, 상기 제2 홈 긴 쪽 투영선 상의 상기 제6 점과 상기 기준 단부 사이의 거리 L_d 보다 짧아도 된다.

[0020] (5) 상기 (1) 내지 (4) 중 어느 하나에 기재된 방향성 전자 강판에 있어서, 상기 강판에서는 상기 홈에 접하는 결정립의 입경이 $5\mu\text{m}$ 이상이어도 된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 상기 형태에 따르면, 철손에 우수한 방향성 전자 강판을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 강판 표면에 형성되는 홈을 도시하는 모식도이다.
 도 2는 도 1의 A-A선에 있어서의 홈의 단면 형상을 도시하는 도면이다.
 도 3은 도 1에 도시하는 B-B선에 있어서의 홈의 단면 형상을 도시하는 도면이다.
 도 4는 홈 윤곽의 정의에 관한 설명도이다.
 도 5는 홈 윤곽의 정의에 관한 설명도이다.
 도 6은 제1 각도의 정의에 관한 설명도이다.
 도 7은 제1 각도의 정의에 관한 설명도이다.
 도 8은 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 인접하는 홈의 홈 긴 쪽 투영선을 도시하는 도면이다.
 도 9는 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 인접하는 홈끼리의 홈 깊이의 합계값의 분포를 나타내는 그래프이다.
 도 10은 도 8과 비교해서 오버랩 영역의 폭이 다른 경우의 인접하는 홈의 홈 긴 쪽 투영선을 도시하는 도면이다.
 도 11은 도 10에 도시하는 경우의 인접하는 홈끼리의 홈 깊이의 합계값의 분포를 나타내는 그래프이다.
 도 12는 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 제조 프로세스를 나타내는 흐름도이다.
 도 13은 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 제조 프로세스의 홈 가공 공정에 있어서의 레이저 조사에 관한 설명도이다.

도 14는 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 제조 프로세스의 홈 가공 공정에 있어서의 레이저 조사에 관한 설명도이다.

도 15는 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 제조 프로세스의 홈 가공 공정에 있어서의 레이저 조사에 관한 설명도이다.

도 16은 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판의 제조 프로세스의 홈 가공 공정에 있어서의 레이저 조사에 관한 설명도이다.

도 17은 본 실시 형태에 있어서의 레이저법에 의한 홈 가공 공정에 있어서 레이저 빔 조사의 출력과 시간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 18은 실시예 1의 방향성 전자 강판의 강판 표면에 형성되는 홈을 도시하는 도면이다.

도 19는 본 실시 형태의 변형예에 있어서의 방향성 전자 강판의 홈군의 인접하는 홈의 홈 긴 쪽 투영선을 도시하는 도면이다.

도 20은 본 실시 형태의 변형예에 있어서의 방향성 전자 강판의 홈군의 인접하는 홈의 홈 긴 쪽 투영선을 도시하는 도면이다.

도 21은 본 실시 형태의 변형예에 있어서의 방향성 전자 강판의 홈군의 인접하는 홈의 홈 긴 쪽 투영선을 도시하는 도면이다.

도 22는 본 실시 형태의 변형예에 있어서의 방향성 전자 강판의 인접하는 홈끼리의 홈 깊이의 합계값의 분포를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 적합한 실시 형태에 대해서 설명한다. 단, 본 발명은 본 실시 형태에 개시된 구성에만 한정되지 않고, 본 발명의 취지를 이탈하지 않는 범위에서 다양한 변경이 가능하다. 또한, 하기하는 수치 한정 범위에는, 하한값 및 상한값이 그 범위에 포함된다. 단, 하한값에 「초과」라고 나타내는 수치 한정 범위에는 하한값이 포함되지 않고, 상한값에 「미만」이라고 나타내는 수치 한정 범위에는 상한값이 포함되지 않는다.

[0024] 도 1은 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 평면도이다. 도 2는 도 1의 A-A선에 있어서의 화살표로 본 단면도이다. 또한, 도면에 있어서, 방향성 전자 강판(1)의 압연 방향을 X, 방향성 전자 강판(1)의 관폭 방향(동일 평면 내에서 압연 방향으로 직교하는 방향)을 Y, 방향성 전자 강판(1)의 관두께 방향(XY 평면에 직교하는 방향)을 Z라 정의한다. 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 강판 표면(2a)에, 자구 세분화를 위한 홈(3)을 갖는다. 도 1은 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판을 관두께 방향 Z에서 보았을 때(이하, 「평면에서 볼 때」라고 기재하는 경우가 있다)의 홈(3)을 도시하는 모식도이다.

[0025] 도 1에 도시한 바와 같이, 관두께 방향 Z로부터 홈(3)을 본 경우(홈(3)을 평면에서 본 경우)에, 홈(3)의 연장 방향(도 1에 도시하는 화살표 L)을 홈 긴 쪽 방향 L이라고 한다. 홈(3)을 평면에서 본 경우에, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L에 직교하는 방향(도 1에 도시하는 화살표 Q)을 홈폭 방향 Q라고 한다. 실제의 방향성 전자 강판의 강판 표면(2a) 및 홈(3)은, 표면이 균일하게 형성되는 것은 아니지만, 발명의 특징을 설명하기 위해서 도 1 내지 도 3, 도 5 내지 도 8, 도 18 내지 도 20에서는 모식적으로 도시하고 있다. 또한, 홈(3)은, 관두께 방향 Z에서 본 경우(홈(3)을 평면에서 본 경우)에, 활형상의 형상을 가져도 된다. 단, 본 실시 형태에서는, 설명의 편의상, 직선형상을 갖는 홈(3)을 예시한다.

[0026] 방향성 전자 강판(1)은 냉간 압연 처리와 어닐링 처리의 조합에 의해 결정립의 자화 용이축과 압연 방향 X가 일치하도록 결정 방위가 제어된 강판(지철)(2)을 구비하고, 강판(2)의 표면(강판 표면(2a))에 홈(3)을 갖는다.

[0027] 강판(2)은 화학 성분으로서, 질량 비율로, Si: 0.8% 내지 7%, C: 0% 초과 내지 0.085%, 산 가용성 Al: 0% 내지 0.065%, N: 0% 내지 0.012%, Mn: 0% 내지 1%, Cr: 0% 내지 0.3%, Cu: 0% 내지 0.4%, P: 0% 내지 0.5%, Sn: 0% 내지 0.3%, Sb: 0% 내지 0.3%, Ni: 0% 내지 1%, S: 0% 내지 0.015%, Se: 0% 내지 0.015%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함한다.

[0028] 상기 강판(2)의 화학 성분은, 결정 방위를 {110}<001> 방위에 집적시킨 후, 즉 Goss 집합 조직에 제어 후의 바람직한 화학 성분이다. 상기 원소 중, Si 및 C가 기본 원소이며, 산 가용성 Al, N, Mn, Cr, Cu, P, Sn, Sb,

Ni, S, 및 Se가 선택 원소이다. 상기 선택 원소는, 그 목적에 따라 함유시키면 되므로 하한값을 제한할 필요가 없고, 하한값이 0%여도 된다. 또한, 이들 선택 원소가 불순물로서 함유되어도, 본 실시 형태의 효과는 손상되지 않는다. 상기 강판(2)은, 상기 기본 원소 및 선택 원소의 잔부가 Fe 및 불순물을 포함해도 된다. 또한, 불순물이란, 강판(2)을 공업적으로 제조할 때, 원료로서의 광석, 스크랩, 또는 제조 환경 등으로부터 불가피하게 혼입되는 원소를 의미한다.

[0029] 또한, 전자 강판에서는 2차 재결정 시에 순화 어닐링을 거치는 것이 일반적이다. 순화 어닐링에 있어서는 인히비터 형성 원소의 계 밖으로의 배출이 일어난다. 특히 N, S에 대해서는 농도의 저하가 현저해서, 50ppm 이하가 된다. 통상의 순화 어닐링 조건이면, 9ppm 이하, 나아가 6ppm 이하, 순화 어닐링을 충분히 행하면, 일반적인 분석으로는 검출할 수 없는 정도(1ppm 이하)로까지 도달한다.

[0030] 상기 강판(2)의 화학 성분은, 강의 일반적인 분석 방법에 의해 측정하면 된다. 예를 들어, 강판(2)의 화학 성분은, ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 사용해서 측정하면 된다. 구체적으로는, 피막 제거 후의 강판(2)의 중앙의 위치로부터 한 변이 35mm인 정사각형의 시험편을 채취하여, ICP 발광 분석 장치(예를 들어, 가부시키가이샤 시마즈 세이사쿠쇼 제조 ICPS-8100)에 의해 미리 작성한 검량선에 기초한 조건으로 측정함으로써 특정할 수 있다. 또한, C 및 S는 연소-적외선 흡수법을 사용하고, N은 불활성 가스 용해-열전도도법을 사용하여 측정하면 된다.

[0031] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 홈(3) 및 강판 표면(2a) 위에 절연 피막(도시하지 않음)을 가져도 된다.

[0032] 또한, 강판 표면(2a)과 절연 피막 사이에는 글라스 피막(도시하지 않음)을 구비해도 된다. 글라스 피막은, 예를 들어 포르스테라이트(Mg_2SiO_4), 스피넬($MgAl_2O_4$) 및 근청석($Mg_2Al_4Si_5O_{16}$) 등의 복합 산화물에 의해 구성되어 있다. 상세는 후술하지만, 글라스 피막은, 방향성 전자 강판(1)의 제조 프로세스의 하나인 마무리 어닐링 공정에 있어서, 강판(2)에 들러붙음이 발생하는 것을 방지하기 위해서 형성되는 피막이다. 따라서, 글라스 피막은, 방향성 전자 강판(1)의 구성 요소로서 필수 요소는 아니다. 절연 피막은, 예를 들어 콜로이드실리카 및 인산염을 함유하고, 전기적 절연성뿐만 아니라, 장력, 내식성 및 내열성 등을 강판(2)에 부여하는 역할을 담당하고 있다.

[0033] 또한, 방향성 전자 강판(1)의 글라스 피막 및 절연 피막은, 예를 들어 다음 방법에 의해 제거할 수 있다. 글라스 피막 또는 절연 피막을 갖는 방향성 전자 강판(1)을, NaOH: 10질량% + H_2O : 90질량%의 수산화나트륨 수용액에, 80℃에서 15분간 침지한다. 계속해서, H_2SO_4 : 10질량% + H_2O : 90질량%의 황산 수용액에, 80℃에서 3분간, 침지한다. 그 후, HNO_3 : 10질량% + H_2O : 90질량%의 질산 수용액에 의해, 상온에서 1분간 약침지하여 세정한다. 마지막으로, 온풍의 블로어로 1분간 약건조시킨다. 또한, 상기 방법에 의해 방향성 전자 강판(1)으로부터 글라스 피막 또는 절연 피막을 제거한 경우, 강판(2)의 홈(3)의 형상이나 거칠기는, 글라스 피막 또는 절연 피막을 형성하기 전과 동일한 것이 확인되고 있다.

[0034] 홈(3)은, 도 1에 도시한 바와 같이, 압연 방향 X와 교차하는 방향으로 연장되고, 또한 깊이 방향이 판두께 방향 Z가 되도록 형성되어 있다. 방향성 전자 강판(1)은, 판두께 방향 Z로부터 강판 표면(2a)을 본 경우에, 판폭 방향 Y에 대하여 복수 배치된 홈(3)으로 구성된 홈군(30)을 갖는다. 그리고, 홈군(30)을 구성하는 홈(3)은, 압연 방향 X와 직교하는 투영면(도 1의 파선(11a)으로 나타내는 단면)에서 보았을 때, 인접하는 홈끼리가 겹치도록 배치된다.

[0035] 이 구성에 의해, 방향성 전자 강판(1)은, 판폭 방향 Y에 있어서 복수의 홈(3)을 형성한 경우에, 판폭 방향 Y에 홈(3)이 형성된 상태를 확보하여, 절손을 개선시킬 수 있다.

[0036] 강판의 판폭 방향 Y의 한쪽 단부를 기준 단부(21a)로 했을 때, 홈군(30)을 구성하는 복수의 홈(3)은, 기준 단부(21a)로부터 가까운 순서대로 제1 홈(31), 제2 홈(32), 제n 홈(3n)과 복수 형성되어 있다. 이 제1 홈(31), 제2 홈(32), 제n 홈(3n)은, 도 1에 도시한 바와 같이, 압연 방향 X와 직교하는 투영면 상에서 인접하는 홈(3)끼리의 단부가 겹치도록 배치된다.

[0037] 또한, 홈군(30)은, 도 1에 도시한 바와 같이, 다른 홈군(30)과 압연 방향 X가 이격하도록 배치되어 있는 것이 바람직하다.

[0038] 홈(3)은, 도 2에 도시한 바와 같이, 홈 긴 쪽 방향 L에 있어서의 양 단부에 있어서, 깊이가 강판 표면(2a)으로부터 홈(3)의 저부(4)를 향해서 깊어지도록 경사진 경사부(5)가 형성되어 있다. 이와 같이, 홈 긴 쪽 방향 L의

양 단부에 경사부(5)를 갖는 경우, 이하와 같이 인접하는 홈(3)의 단부끼리가 오버랩되도록 배치하면, 효과적으로 철손을 개선시킬 수 있다.

[0039] 이하의 설명에 있어서의 용어를 정의한다.

[0040] (홈 평균 깊이 D)

[0041] 홈(3)의 깊이란, 강판 표면(2a)의 높이로부터 홈(3)의 표면(저부(4))까지의 판두께 방향 Z의 길이를 말한다. 홈 평균 깊이 D는 이하와 같이 측정하면 된다. 판두께 방향 Z로부터 홈(3)을 본 경우(홈(3)을 평면에서 본 경우)에, 관찰 범위를 홈(3)의 일부로 설정한다. 관찰 범위는, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L에 있어서의 단부를 제외한 영역(즉, 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역)으로 설정하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 관찰 범위는, 홈 긴 쪽 방향 L의 대략 중앙부에서, 홈 긴 쪽 방향 L의 길이가 $30\mu\text{m}$ 내지 $300\mu\text{m}$ 정도가 되는 관찰 영역으로 하면 된다. 이어서, 레이저 현미경을 사용해서 관찰 범위 내의 높이 분포(홈 깊이 분포)를 얻고, 이 관찰 범위 내에서의 최대 홈 깊이를 구한다. 마찬가지로의 측정을, 관찰 범위를 바꾸어서 적어도 3 영역 이상, 보다 바람직하게는 10 영역에서 행한다. 그리고, 각 관찰 영역에 있어서의 최대 홈 깊이의 평균값을 산출하고, 이것이 홈 평균 깊이 D라 정의된다. 본 실시 형태에 있어서의 홈(3)의 홈 평균 깊이 D는, 자구 세분화의 효과를 바람직하게 얻기 위해서, 예를 들어 $5\mu\text{m}$ 이상 $100\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하고, $10\mu\text{m}$ 초과 $40\mu\text{m}$ 이하이면 더욱 바람직하다.

[0042] 또한, 강판 표면(2a)과 홈(3)의 표면 사이의 거리를 측정하기 위해서는, 판두께 방향 Z에 있어서의 강판 표면(2a)의 위치(높이)를 미리 측정해 둘 필요가 있다. 예를 들어, 각 관찰 범위 내의 강판 표면(2a)에 있어서의 복수 개소의 각각에 대해서, 레이저 현미경을 사용해서 판두께 방향 Z의 위치(높이)를 측정하고, 그것들의 측정 결과의 평균값을 강판 표면(2a)의 높이로 해서 이용해도 된다. 또한, 본 실시 형태에서는, 후술하는 바와 같이 홈 평균 폭 W를 측정할 때에 홈 짧은 쪽 단면을 사용하므로, 이 홈 짧은 쪽 단면으로부터 강판 표면(2a)을 측정해도 된다. 또한, 레이저 현미경으로 강판 샘플을 관찰할 때에는, 이 강판 샘플의 2개의 판면(관찰면 및 그 이면)이 대략 평행한 것이 바람직하다.

[0043] (평균 홈폭 W)

[0044] 홈(3)의 폭이란, 홈 긴 쪽 방향 L에 직교하는 단면(홈폭 방향 단면 혹은 홈 짧은 쪽 단면)에서 홈(3)을 본 경우의 홈 짧은 쪽 방향 Q의 홈 개구부의 길이를 말한다. 평균 홈폭 W는 이하와 같이 측정하면 된다. 홈 평균 깊이 D와 마찬가지로, 판두께 방향 Z로부터 홈(3)을 본 경우(홈(3)을 평면에서 본 경우)에, 관찰 범위를 홈(3)의 일부로 설정한다. 관찰 범위는 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L에 있어서의 단부를 제외한 영역(즉, 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역)으로 설정하는 것이 바람직하다.

[0045] 예를 들어, 관찰 범위는, 홈 긴 쪽 방향 L의 대략 중앙부에서, 홈 긴 쪽 방향 L의 길이가 $30\mu\text{m}$ 내지 $300\mu\text{m}$ 정도가 되는 관찰 영역으로 하면 된다. 이어서, 레이저 현미경을 사용해서 관찰 범위 내의 임의의 1군데(예를 들어, 관찰 영역에서의 최대 홈 깊이의 위치)에서, 홈 긴 쪽 방향 L에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면을 얻는다. 이 홈 짧은 쪽 단면에 나타나는 강판 표면(2a) 및 홈(3)의 윤곽 곡선으로부터 홈 개구부의 길이를 구한다.

[0046] 구체적으로는, 상기 홈 짧은 쪽 단면에 나타나는 강판 표면(2a) 및 홈(3)의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선 MCL에 저역 필터(컷오프값 λ_s)를 적용해서 단면 곡선을 얻은 후, 그 단면 곡선에 대역 필터(컷오프값 λ_f , λ_c)를 적용하여, 단면 곡선으로부터 긴 파장 성분과 짧은 파장 성분을 제거하면, 도 3에 도시한 바와 같이, 홈 짧은 쪽 단면에서의 홈(3)의 윤곽을 이루는 굴곡 곡선 WWC가 얻어진다. 굴곡 곡선은, 윤곽의 형상 그 자체를 매끄러운 선으로 단순화하기에 적합한 윤곽 곡선의 일종이다.

[0047] 도 3에 도시한 바와 같이, 홈 짧은 쪽 단면에서의 홈(3)의 굴곡 곡선 WWC 상에서, 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 따라 홈(3)의 표면까지의 깊이가, 홈(3)의 홈 평균 깊이 D에 대하여 $0.05 \times D$ 가 되는 2개의 점(제3 점(33), 제4 점(34)) 사이를 연결하는 선분의 길이(홈 개구부) W_n 를 구한다.

[0048] 마찬가지로의 측정을, 관찰 범위를 바꾸어서 적어도 3 영역 이상, 보다 바람직하게는 10 영역에서 행한다. 그리고, 각 관찰 영역에서의 홈 개구부의 평균값을 산출하고, 이것이 평균 홈폭 W라 정의된다. 본 실시 형태에 있어서의 홈(3)의 평균 홈폭 W는, 자구 세분화의 효과를 바람직하게 얻기 위해서, 예를 들어 $10\mu\text{m}$ 이상 $250\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하다.

[0049] 또한, 강판 표면(2a)으로부터 $0.05 \times D$ 가 되는 깊이를 측정하기 위해서는, 판두께 방향 Z에 있어서의 강판 표면(2a)의 위치(높이)를 미리 측정해 둘 필요가 있다. 예를 들어, 각 홈 짧은 쪽 단면 내의 굴곡 곡선 상의 강판

표면(2a)에 있어서의 복수 개소의 각각에 대해서, 판두께 방향 Z의 위치(높이)를 측정하고, 그것들의 측정 결과의 평균값을 강판 표면(2a)의 높이로 해서 이용해도 된다.

[0050] (제1 각도 θ)

[0051] 홈(3)의 제1 각도 θ 란, 강판 표면(2a)과 홈(3)의 단부가 이루는 각도를 말한다. 제1 각도 θ 는 이하와 같이 측정하면 된다. 판두께 방향 Z로부터 홈(3)을 본 경우(홈(3)을 평면에서 본 경우)에, 관찰 범위를 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 단부를 포함하는 일부로 설정한다. 판두께 방향 Z로부터 홈(3)을 평면에서 볼 때, 홈 긴 쪽 방향 L을 따라 복수(n개)의 가상선 L_1 내지 L_n 을 관찰 범위 내로 가상적으로 설정한다(도 6 참조). 관찰 범위는 홈(3)의 단부를 포함하는 영역(즉, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 시작으로부터 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역까지를 포함하는 영역)으로 설정하는 것이 바람직하다. 이어서, 레이저 현미경(레이저식 표면 거칠기 측정기) 등을 사용하여, 관찰 범위 내의 홈(3)의 높이 분포(홈 깊이 분포)를 가상선 L_1 을 따라 측정하면, 도 4에 도시한 바와 같이, 홈(3)의 단부 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선 MCL1이 가상선 L_1 을 따르는 형태로 얻어진다.

[0052] 상기와 같이 가상선 L_1 에 대해서 얻어진 측정 단면 곡선 MCL1에 저역 필터(컷오프값 λ_s)를 적용해서 단면 곡선을 얻은 후, 그 단면 곡선에 대역 필터(컷오프값 λ_f , λ_c)를 적용하여, 단면 곡선으로부터 긴 파장 성분과 짧은 파장 성분을 제거하면, 도 5에 도시한 바와 같이, 홈(3)의 단부 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽을 이루는 굴곡 곡선 LWC1이 가상선 L_1 을 따르는 형태로 얻어진다.

[0053] 도 5에 도시한 바와 같이, 굴곡 곡선 LWC1을 사용하여, 가상선 L_1 을 따르는 복수(n개)의 위치의 각각에 있어서, 강판 표면(2a)과 홈(3)의 윤곽(즉 굴곡 곡선 LWC1) 사이의 판두께 방향 Z의 거리(깊이 d_1 내지 d_n : 단위는 μm)가 얻어진다. 또한, 이들 깊이 d_1 내지 d_n 의 평균값(홈 깊이 D_1)이 얻어진다. 마찬가지로 측정 방법에 의해, 다른 가상선 L_2 내지 L_n 의 각각에 대해서도, 홈 단부의 홈 깊이 D_2 내지 D_n 이 얻어진다.

[0054] 또한, 강판 표면(2a)으로부터의 깊이 d_1 내지 d_n 을 측정하기 위해서는, 판두께 방향 Z에 있어서의 강판 표면(2a)의 위치(높이)를 미리 측정해 둘 필요가 있다. 예를 들어, 관찰 범위 내의 강판 표면(2a)에 있어서의 복수 개소의 각각에 대해서, 레이저 현미경을 사용해서 판두께 방향 Z의 위치(높이)를 측정하고, 그것들의 측정 결과의 평균값을 강판 표면(2a)의 높이로 해서 이용해도 된다.

[0055] 본 실시 형태에서는, 상기 가상선 L_1 내지 L_n 중, 홈 긴 쪽 방향 L을 따라 또한 홈의 평균 깊이가 최대가 된다고 하는 조건을 만족시키는 가상선을 홈 기준선 BL로서 선택한다. 예를 들어, 도 6에 도시한 바와 같이, 가상선 L_1 내지 L_n 의 각각에 대해서 얻어진 홈 깊이 D_1 내지 D_n 중, 홈 깊이 D_2 가 최대인 경우, 가상선 L_2 가 홈 기준선 BL로 정의된다.

[0056] 도 7에 도시한 바와 같이, 홈 기준선 BL에 기초하는 굴곡 곡선 상에서, 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.05 \times D$ 가 되는 제1 점(51)과, 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.50 \times D$ 가 되는 제2 점(52)을 연결하는 직선을 홈단 직선(3E)이라 한다. 그리고, 홈(3)의 제1 각도 θ 는, 홈단 직선(3E)의 강판 표면(2a)에 대한 경사 각도라 정의한다.

[0057] 또한, 제1 각도 θ 를 측정하기 위해서는, 강판 표면(2a)을 직선 근사해 둘 필요가 있다.

[0058] 예를 들어, 홈 기준선 BL에 기초하는 굴곡 곡선 상에서, 홈(3)을 제외한 강판 표면(2a)만의 영역을 직선 근사하면 된다. 이 직선 근사한 강판 표면(2a)과 홈단 직선(3E)의 경사 각도를 측정하면 된다. 마찬가지로 방법에 의해, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L에 있어서의 양 단부에 있어서, 홈단 직선(3E)과 강판 표면(2a)이 이루는 경사 각도(제1 각도 θ)를 구한다.

[0059] (홈 긴 쪽 투영선 LWP)

[0060] 압연 방향 X와 직교하는 면을 투영면이라 하고, 이 투영면에 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽을 투영한 경우, 투영면에 투영된 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽을 홈 긴 쪽 투영선 LWP라 정의한다. 홈 긴 쪽 투영선 LWP는 이하와 같이 측정하면 된다. 판두께 방향 Z로부터 홈(3)을 평면에서 보았을 때, 관찰 범위로서, 홈(3)의 전체를 포함하는 영역, 또는 홈(3)의 단부를 포함하는 영역(즉, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 시작으로부터 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역까지를 포함하는 영역)을 설정한다. 이 관찰 범위 내에, 홈 긴 쪽 방향 L을 따르는 복수의 가상선을 가상적으로 설정한다. 가상선 L_1 내지 L_n 은, 판두께 방향 Z에는 임의의 높이로 설정할 수 있는 것으로 한다. 그리고, 상기 홈 기준선 BL에서 설명한 방법과 동일한 방법에 의해, 홈 깊이가 최대가 되는 가상선을 선

택한다. 선택한 가상선을 따른 홈 깊이 분포를 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 전체의 윤곽(굴곡 곡선)으로서 상기 투영면에 투영했을 때 얻어지는 곡선을 홈 긴 쪽 투영선 LWP라 한다. 또한, 상기 관찰 범위로서, 인접하는 2개의 홈의 전체를 포함하는 영역, 또는 인접하는 2개의 홈이 중첩되는 단부를 포함하는 영역(즉, 한쪽 홈의 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역, 인접하는 2개의 홈의 홈단이 겹치는 영역, 및 다른 쪽 홈의 홈 바닥의 형상이 안정되어 있는 영역을 포함하는 영역)을 설정하는 것이 바람직하다. 홈군(30)을 구성하는 각 홈에 있어서의 홈 긴 쪽 방향 L의 2개의 홈단을, 기준 단부(21a)로부터 가까운 순서대로, 제1 홈단, 제2 홈단이라 한다. 도 8에는, 제1 홈(31)의 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 제1 홈단(31a) 및 제2 홈단(31b)과, 제2 홈(32)의 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 제1 홈단(32a) 및 제2 홈단(32b)을 모식적으로 도시한다. 또한, 인접하는 홈끼리의 판폭 방향 Y에 있어서의 위치 관계를 설명하기 위해서, 도 8에서는, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 복수의 홈(3) 중, 판폭 방향 Y에 인접하는 2개의 홈(31, 32)만을 추출해서 기재하고 있다.

[0061] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 도 1에 도시한 바와 같이, 판폭 방향 Y에 인접하는 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)과, 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)이, 판폭 방향 Y에서 오버랩되도록 배치된다. 도 8에서는, 판폭 방향 Y에 인접하는 제1 홈(31) 및 제2 홈(32)은, 판두께 방향 Z에서 보았을 때, 단부가 겹치지 않는 배치를 예시했다. 그러나, 제1 홈(31) 및 제2 홈(32)은, 판두께 방향 Z에서 보았을 때, 단부가 겹쳐 있어도 된다. 예를 들어, 제1 홈(31) 및 제2 홈(32)이, 판두께 방향 Z에서 보았을 때, 단부가 완전히 겹쳐 있는 것이라면, 1개의 홈이라고 간주할 수 있다.

[0062] 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2에 있어서의 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)의 판폭 방향 Y의 위치는, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1에 있어서의 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)의 판폭 방향 Y의 위치보다 기준 단부(21a) 측에 위치하도록, 인접하는 홈끼리가 판폭 방향 Y로 겹쳐진다. 도 8에 도시한 바와 같이, 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)과 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a) 사이가 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이 판폭 방향 Y에 있어서 오버랩되는 영역 R이다.

[0063] 방향성 전자 강판(1)에 있어서, 판폭 방향 Y로 복수의 홈을 형성하고, 또한 인접하는 홈(31, 32)끼리가 서로 오버랩됨으로써, 경사부(5)를 갖는 홈(31, 32, ..., 3n)을 사용해도, 철손을 낮게 억제할 수 있다. 즉, 내청성을 향상시키기 위해서, 홈 긴 쪽 방향 L의 양 단부에 경사부가 형성된 홈(3)에서도, 복수의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 배치하고, 또한 인접하는 서로의 홈의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시켜서 배치함으로써, 균일한 깊이의 홈을 판폭 방향 Y로 1개 형성한 경우와 마찬가지로 철손을 개선시킬 수 있다.

[0064] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 이하의 조건을 더 만족시키면, 방향성 전자 강판의 철손을 보다 개선할 수 있다.

[0065] 판폭 방향 Y에 인접하는 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 압연 방향 X의 이격 거리(도 1에 도시하는 거리 F1)는, 압연 방향 X에 인접하는 홈군(30)끼리의 압연 방향 X의 이격 거리(도 1에 도시하는 거리 F2)보다 작게 설정되어 있다. 판폭 방향 Y로 형성된 복수의 홈(31, 32, ..., 3n)의 홈군 평균 깊이를 D_A 라 했을 때, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 제2 홈단(31b)에 있어서, 강판 표면(2a)으로부터 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽까지의 판두께 방향 Z의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 위치(제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 점)를 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)의 $0.05 D_A$ 위치(제2 점)라 칭한다. 마찬가지로, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 제1 홈단(32a)에 있어서, 강판 표면(2a)으로부터 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽까지의 판두께 방향 Z의 깊이가 $0.05 \times D_A$ 가 되는 위치(제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상의 점)를 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)의 $0.05 D_A$ 위치(제1 점)라 칭한다. 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)의 $0.05 D_A$ 위치(제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상의 제1 점)와 강판(2)의 기준 단부(21a) 사이의 거리는, 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)의 $0.05 D_A$ 위치(제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 제2 점)와 강판(2)의 기준 단부(21a) 사이의 거리보다 짧아지도록, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이 배치된다. 내청성을 향상시키기 위해서, 홈 긴 쪽 방향 L의 양 단부에 경사부(5)를 형성한 홈(3)에서도, 복수의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 배치하고, 또한 인접하는 서로의 홈(31, 32)의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시킴으로써, 각 홈(31, 32, ..., 3n)의 단부가 알아도, 균일한 깊이의 홈을 판폭 방향 Y로 1개 형성한 경우와 마찬가지로 철손을 개선시킬 수 있다.

[0066] 추가로, 이하의 조건을 만족시키면, 방향성 전자 강판(1)의 철손을 보다 개선할 수 있다.

[0067] 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)과 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b) 사이의 오버랩 영역 R에 포함되는 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 임의의 점을 P1이라 하고, 오버랩 영역 R에 포함되는 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상의 점 중, 기준 단부(21a)로부터의 거리가 점 P1과 동일한 점(즉 판폭 방향 Y의 위치가 점 P1과 동일한 점)을 P2라 한다. 본 실시 형태에서는, 오버랩 영역 R에 있어서, 제1 홈(31)의 강판 표면(2a)으로부터 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 점 P1까지의 판두께 방향 Z의 깊이와, 제2 홈(32)의 강판 표면(2a)으로부터 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상

의 점 P2까지의 관두께 방향 Z의 깊이의 합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상이다. 즉, 점 P1 및 P2가 오버랩 영역 R 내의 어느 위치에 존재하더라도, 상기 「합계 깊이가 $0.5 \times D_A$ 이상이다」라고 하는 조건이 만족된다. 도 8 및 도 9에 도시한 바와 같이, 오버랩 영역 R에 있어서, 기준 단부(21a)로부터의 거리가 동일한 각 점 P(P1, P2)에 있어서의 제1 홈(31)의 깊이와 제2 홈(32)의 깊이를 가산한다. 이 점 P에 있어서의 제1 홈(31)의 깊이와 제2 홈(32)의 깊이의 합계값이, 판폭 방향 Y에 형성된 복수의 홈의 깊이의 홈군 평균 깊이 D_A 에 대하여, $0.5 \times D_A$ 이상이 되도록 홈(3)이 배치된다.

[0068] 도 8에, 투영면에 홈 긴 쪽 방향 L의 윤곽을 투영한 홈 긴 쪽 투영선을 좌표 상에 나타낸다. 도 9는 제1 홈(31)의 제1 홈단(31a)으로부터 제2 홈(32)의 제2 홈단(32b)까지의 영역의 판폭 방향 Y의 위치와 합계 홈 깊이의 관계를 나타낸 그래프이다. 홈 긴 쪽 투영선은 직선으로 간략화해서 나타낸다. 제1 홈(31)과 제2 홈(32)은, 각각의 홈단으로부터 상기 실시 형태에서 설명한 저부(4)의 영역까지 서로 오버랩되어 있다.

[0069] 이 때문에, 도 8에 도시한 바와 같이, 오버랩 영역 R에서는, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이는, 최대 판폭 방향 Y의 홈군 평균 깊이 D_A 의 대략 2배가 되고, 합계 홈 깊이의 최솟값은 판폭 방향 Y의 홈군 평균 깊이 D_A 와 대략 동일해진다.

[0070] 도 8에 나타내는 예에 비해, 인접하는 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 오버랩 영역 R의 폭이 다른 예를 도 10 및 도 11에 도시한다. 도 10에 도시하는 예의 경우, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 각각의 경사부(5)의 영역이 오버랩된다. 즉, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1과 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2가, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 각각의 경사부(5)의 위치에 있어서 교차하도록 오버랩되어 있다. 도 11에 도시한 바와 같이, 오버랩 영역 R에서는, 기준 단부(21a)로부터의 거리가 동일한 각 점 P(P1, P2)에 있어서의 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이의 최솟값은, 판폭 방향 Y의 홈군 평균 깊이 D_A 보다 작아진다. 오버랩 영역 R의 합계 깊이의 최솟값과, 이 홈군(30)을 갖는 방향성 전자 강관의 도달 철손은 상관 관계가 있다. 또한, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이 상기 조건을 만족하도록 오버랩되어 있으면, 홈(31, 32)의 홈 단부에 있어서의 경사 각도(제1 각도 θ)는, 철손 특성에 영향을 미치지 않는다.

[0071] 즉, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 오버랩 영역 R에 있어서, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 깊이의 합계값이 $0.5 \times D_A$ 이상이면, 오버랩 영역 R에서는, 오버랩되어 있지 않은 영역인 저부(4)의 깊이에 비해 손색이 없는 깊이를 확보한다. 이에 의해, 판폭 방향 Y에 있어서, 홈 부분의 깊이의 급격한 감소에 의한 자구 세분화 효과의 저하를 억제하여, 철손을 개선시킬 수 있다.

[0072] 보다 바람직하게는, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 오버랩 영역 R에 있어서, 판폭 방향 Y 상의 점 P(P1, P2)에 있어서의 제1 홈(31)의 깊이와 제2 홈(32)의 깊이의 합계가, 판폭 방향 Y로 형성된 복수의 홈의 깊이의 평균값(홈군 평균 깊이) D_A 에 대하여, $0.7 \times D_A$ 이상이 되도록 인접하는 홈이 배치되면, 철손을 개선하기 위해서 바람직한 판폭 방향 Y에 있어서의 홈의 깊이(오버랩 영역 R에 있어서 2개의 홈(31, 32)의 합계 홈 깊이)가 충분히 얻어져서, 철손을 개선시킬 수 있다. 판폭 방향 Y 상의 점 P(P1, P2)에 있어서의 제1 홈(31)의 깊이와 제2 홈(32)의 깊이의 합계의 상한값은 제한이 없지만, 자속 밀도의 저하를 고려하면, 홈군 평균 깊이 D_A 의 2배 이하여도 된다. 또한, 판폭 방향 Y 상의 점 P(P1, P2)에 있어서의 제1 홈(31)의 깊이와 제2 홈(32)의 깊이의 합계가, 홈군 평균 깊이 D_A 의 2배 이하로 하면, 판폭 방향 Y에 있어서의 홈의 깊이의 변동량이 작게 억제되므로, 더 효과적으로 철손을 안정되게 개선할 수 있다.

[0073] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강관(1)은, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 양 단부(제1 홈단(31a, 32a), 제2 홈단(31b, 32b))가 강관 표면(2a)에 대하여 수직이면, 이론상은 오버랩 영역 R이 없어도 충분한 철손이 얻어질 것으로 생각된다.

[0074] 단, 강관 표면(2a)에 대하여 수직인 단부면을 갖는 홈을 확실하게 형성하는 것은 어려운 경우가 있다. 또한, 강관 표면(2a)에 대한 깊이가 $10\mu\text{m}$ 를 초과하는 홈을 형성하는 경우, 홈(3)의 단부 형상의 변화가 커지는 경향이 있고, 홈(3)의 형성 후에, 강관 표면(2a)에 전기 절연성을 부여하기 위한 코팅을 행할 때, 홈(3)의 단부의 구석 구석까지 코트제를 도포하기 어려운 경우가 있다. 또한, 홈(3)의 단부의 형상이 변화가 커져 홈(3)의 단부에 있어서의 코트제의 밀착성도 충분하지 않은 개소가 발생하여, 코트제의 균일한 도포가 어려워 내청성이 과제가 되는 경우가 있다. 이러한 경우에는, 홈(3)의 양 단부에 경사지게 해도 된다. 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강관(1)은, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 단부에 경사면을 형성함으로써, 홈(3)의 단부 형상을 안정시켜서 내

청성을 향상시키고, 또한 적어도 홈(3)의 단부 경사면을 판폭 방향 Y의 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 및 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2에 있어서 오버랩시킴으로써, 철손과 내청성을 양호하게 유지할 수 있기 때문에, 바람직하다.

[0075] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 이하의 조건을 더 만족시키면, 내청성의 향상과, 철손의 개선의 양쪽을 실현시킬 수 있다.

[0076] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)에 구비하는 홈(3)은, 도 2에 도시한 바와 같이, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L에 있어서의 홈단(31a, 31b)에 있어서, 홈단 직선(3E)과 강판 표면(2a)이 이루는 각도(제1 각도 θ)와, 홈 평균 깊이 D를 평균 홈폭 W로 계산한 애스펙트비 A의 관계가 이하의 식 (1)을 만족하도록, 홈(3)의 단부가 경사져 있다.

[0077]
$$\theta < -21 \times A + 77 \dots (1)$$

[0078] 경사부(5)의 경사 각도를 나타내는 제1 각도 θ 는, 홈 평균 깊이 D를 평균 홈폭 W로 계산해서 얻어지는 애스펙트비 $A=D/W$ 에 기초하여 규정된다. 일반적으로, 홈 평균 깊이 D가 클수록, 홈 깊이에 영향을 받는 철손이 개선되고, 평균 홈폭 W가 작을수록, 강부 제거에 의해 열화되는 자속 밀도의 열화량을 작게 억제하고, 또한 철손을 개선시킬 수 있다. 즉, 애스펙트비 A가 클수록, 자기 특성을 바람직하게 제어할 수 있다. 한편, 애스펙트비 A가 클수록, 코팅액이 홈 내부에 침입하기 어려워지기 때문에, 내청성이 악화된다. 특히, 홈(3)의 홈 단부에서, 내청성이 악화된다. 따라서, 자기 특성과 내청성을 양립시키기 위해서는, 애스펙트비 A와 제1 각도 θ 를 맞춰서 제어할 필요가 있다. 구체적으로는, 홈(3)의 제1 각도 θ 가 상기 식 (1)의 범위를 벗어나면, 애스펙트비에 대한 홈(3)의 홈 단부의 경사 각도가 크기 때문에, 홈(3)의 홈 단부에서 글라스 피막 또는 절연 피막이 홈(3)을 피복하기 어려워진다. 그 결과, 홈(3)의 홈 단부에서 녹이 발생하기 쉬워진다.

[0079] 즉, 녹의 발생을 억제하기 위해서, 홈 평균 깊이 D가 깊을수록, 홈 단부에 있어서의 경사 각도(제1 각도 θ)를 작게 할 필요가 있다. 또한, 녹의 발생을 억제하기 위해서, 평균 홈폭 W가 좁을수록, 홈 단부에 있어서의 경사 각도(제1 각도 θ)를 작게 할 필요가 있다. 그리고, 홈 평균 깊이 D와 평균 홈폭 W와 제1 각도 θ 의 관계가 식 (1)을 만족할 때, 홈(3)에 있어서 자기 특성 개선과 내청성이 양립하는 효과를 발휘한다.

[0080] 또한, 식 (1)은, 홈(3)의 홈 평균 깊이 D가 $5\mu\text{m}$ 이상인 경우에 적합한 범위이다. 홈(3)의 홈 평균 깊이 D가 $5\mu\text{m}$ 미만이면, 홈(3)의 단부의 형상의 변동이 작아, 내청성의 문제가 발생하기 어렵다. 그 반면에, 홈(3)의 홈 평균 깊이 D가 $5\mu\text{m}$ 미만이면 애당초 홈을 형성하는 것에 의한 자구의 세분화가 충분해지지 않을 경우가 있다. 홈(3)의 깊이의 상한은 특별히 한정되지 않는다. 그러나, 방향성 전자 강판의 판두께 방향 Z의 두께에 대하여, 홈(3)의 홈 평균 깊이 D가 30% 이상이 되면, 자성 재료인 방향성 전자 강판 즉 강판의 양이 저하되어, 자속 밀도가 저하될 우려가 있다. 예를 들어, 권취 트랜스 용도의 방향성 전자 강판의 일반적인 두께가 0.35mm 이하인 점을 고려하면, 홈(3)의 평균 깊이 D의 상한값은 $100\mu\text{m}$ 로 하면 된다. 홈(3)은 방향성 전자 강판의 편면에만 형성되어 있어도 되고, 양면에 형성되어 있어도 된다.

[0081] 상기 식 (1)에 더하여, 이하의 식 (2)를 만족시키면, 녹의 발생을 보다 고정밀도로 억제하는 것이 가능하게 되기 때문에, 바람직하다.

[0082]
$$\theta < 32 \times A^2 - 55 \times A + 73 \dots (2)$$

[0083] 또한, 홈 평균 깊이 D가 $15\mu\text{m}$ 이상 $30\mu\text{m}$ 이하의 범위인 경우, 홈(3)의 홈단의 제1 각도 θ 는, 홈 평균 깊이 D 및 평균 홈폭 W에 대하여 이하의 식 (3)을 만족시키면, 내청성을 향상시키는 점에서, 더 바람직하다.

[0084]
$$\theta \leq 0.12 \times W - 0.45 \times D + 57.39 \dots (3)$$

[0085] 또한, 평균 홈폭 W가 $30\mu\text{m}$ 보다 크고, $100\mu\text{m}$ 이하인 경우, 홈(3)의 홈단의 제1 각도 θ 는, 홈 평균 깊이 D 및 평균 홈폭 W에 대하여 이하의 식 (4)를 만족시키면, 내청성을 향상시키는 점에서, 더 바람직하다.

[0086]
$$\theta \leq -0.37 \times D + 0.12 \times W + 55.39 \dots (4)$$

[0087] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)에서는, 홈 평균 깊이 D가 $15\mu\text{m}$ 이상 $30\mu\text{m}$ 이하에서도, 제1 각도 θ 가 상기 식 (3)을 만족하도록 홈(3)을 형성하면, 글라스 피막 또는 절연 피막이 불균일없이 피복 가능하여, 자기 특성과 내청성을 양립시킬 수 있다.

[0088] 마찬가지로, 평균 홈폭 W가 $30\mu\text{m}$ 초과 $100\mu\text{m}$ 이하에서도, 제1 각도 θ 가 상기 식 (4)를 만족시키면, 자기 특성과 내청성을 양립할 수 있다. 방향성 전자 강판에 복수의 홈을 형성하는 경우, 모든 홈에 있어서, 상술한 조건을 만족시키면, 고품질의 방향성 전자 강판이 얻어진다. 단, 홈의 단부가 방향성 전자 강판의 판폭 방향 Y의

양 단부면에 도달하고 있는 경우, 그 홈의 단부에서는 경사부가 형성되지 않기 때문에, 상술한 조건이 적용되지 않는 것은 말할 필요도 없다.

- [0089] 홈(3)에는, 평균 두께가 0 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 글라스 피막과, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 절연 피막이 배치되어도 된다. 또한, 강판 표면(2a)에는, 평균 두께가 $0.5\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 글라스 피막과, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 절연 피막이 배치되어도 된다. 또한, 홈(3)에 있어서의 글라스 피막의 평균 두께가, 강판 표면(2a) 상의 글라스 피막의 평균 두께보다 얇아도 된다.
- [0090] 또한, 홈(3)에 글라스 피막이 존재하지 않는 구성(즉 홈(3)에 있어서의 글라스 피막의 평균 두께가 0인 구성)을 채용함으로써, 대향하는 홈의 벽간 거리(홈폭)를 보다 좁게 하는 것이 가능하게 되므로, 홈(3)에 의한 자구 세분화 효과(즉 이상 와전류손의 저감 효과)를 보다 향상시킬 수 있다.
- [0091] 또한, 본 실시 형태에서는, 글라스 피막이 필수 구성 요소는 아니다. 따라서, 강판(2) 및 절연 피막만으로 구성된 방향성 전자 강판에 대해서도, 상기 실시 형태를 적용함으로써, 내청성 향상의 효과를 얻을 수 있다. 강판(2) 및 절연 피막만으로 구성된 방향성 전자 강판에서는, 홈(3)에, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 절연 피막이 형성되고, 강판 표면(2a)에, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하의 절연 피막이 형성되어 있어도 된다.
- [0092] 본 실시 형태에서는, 강판(2)에 있어서, 홈(3)에 접하는 결정립(2차 재결정립)의 입경이 평균으로 $5\mu\text{m}$ 이상인 것이 바람직하다. 또한, 홈(3)에 접하는 결정립의 입경 상한은 특별히 한정되지 않지만, 이 상한을 $100 \times 10^3 \mu\text{m}$ 이하로 해도 된다. 홈(3) 주변에, 홈(3)의 형성에 유래하는 용융 재응고 영역이 존재하는 경우, 홈(3)에 접하는 결정립의 입경은 미세가 된다.
- [0093] 이 경우, 최종적으로 결정 방위가 $\{110\}<001>$ 방위로부터 이탈할 가능성이 높아져서, 바람직한 자기 특성이 얻지 못하게 될 가능성이 높아진다. 따라서, 홈(3) 주변에는, 용융 재응고 영역이 존재하지 않는 것이 바람직하다. 홈(3)의 주변에 용융 재응고 영역이 존재하지 않는 경우에는, 홈(3)에 접하는 결정립(2차 재결정립)의 입경이 평균으로 $5\mu\text{m}$ 이상이 된다. 또한, 홈(3)에 접하는 결정립의 입경 상한은 특별히 한정되지 않지만, 이 상한을 $100 \times 10^3 \mu\text{m}$ 이하로 해도 된다.
- [0094] 또한, 결정립의 입경은, 원 상당 직경을 의미한다. 결정립의 입경은, 예를 들어 ASTM E112 등의 일반적인 결정립 직경 측정법에 의해 구하면 되고, 또는 EBSD(Electron Back Scattering Diffraction Pattern)법에 의해 구해도 된다. 또한, 홈(3)에 접하는 결정립은, 상기 홈 짧은 쪽 단면 또는 판두께 방향 Z에 수직한 단면에서 관찰하면 된다. 상기 용융 재응고 영역을 갖지 않은 홈은, 예를 들어 후술하는 제조 방법에 의해 얻는 것이 가능하다.
- [0095] 특히, 홈 짧은 쪽 단면으로 홈(3)을 본 경우에, 강판(2)에 있어서의 홈(3)의 하부에 존재하는 결정립(2차 재결정립)의 판두께 방향 입경이 $5\mu\text{m}$ 이상 또한 강판(2)의 판두께 이하인 것이 바람직하다. 이 특징은, 강판(2)에 있어서의 홈(3)의 하부에, 결정립의 판두께 방향 입경이 $1\mu\text{m}$ 정도의 미세 입자층(용융 재응고 영역)이 존재하지 않는 것을 의미한다.
- [0096] 이어서, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 제조 방법을 설명한다. 도 12는 방향성 전자 강판(1)의 제조 프로세스를 나타내는 흐름도이다. 도 12에 도시한 바와 같이, 최초의 주조 공정 S01에서는, 질량 비율로, Si: 0.8% 내지 7%, C: 0% 초과 내지 0.085%, 산 가용성 Al: 0% 내지 0.065%, N: 0% 내지 0.012%, Mn: 0% 내지 1%, Cr: 0% 내지 0.3%, Cu: 0% 내지 0.4%, P: 0% 내지 0.5%, Sn: 0% 내지 0.3%, Sb: 0% 내지 0.3%, Ni: 0% 내지 1%, S: 0% 내지 0.015%, Se: 0% 내지 0.015%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하는 화학 성분을 갖는 용강이 연속 주조기에 공급되어, 슬래브가 연속적으로 만들어진다. 계속해서, 열간 압연 공정 S02에서는, 주조 공정 S01에서 얻어진 슬래브에 대하여, 소정의 온도 조건(예를 들어 1150 내지 1400℃)에서 가열된 후, 그 슬래브에 대하여 열간 압연이 실시된다. 이에 의해, 예를 들어 1.8 내지 3.5mm의 두께를 갖는 열연 강판이 얻어진다.
- [0097] 계속해서, 어닐링 공정 S03에서는, 열간 압연 공정 S02에서 얻어진 열연 강판에 대하여, 소정의 온도 조건(예를 들어 750 내지 1200℃에서 30초 내지 10분간 가열한다고 하는 조건) 하에서 어닐링 처리가 실시된다.
- [0098] 계속해서, 냉간 압연 공정 S04에서는, 어닐링 공정 S03에서 어닐링 처리가 실시된 열연 강판의 표면에 필요에 따라서 산세 처리가 실시된 후, 열연 강판에 대하여 냉간 압연이 실시된다. 이에 의해, 예를 들어 0.15 내지 0.35mm의 두께를 갖는 냉연 강판이 얻어진다.

- [0099] 계속해서, 탈탄 어닐링 공정 S05에서는, 냉간 압연 공정 S04에서 얻어진 냉연 강판에 대하여, 소정의 온도 조건(예를 들어 700 내지 900℃에서 1 내지 3분간 가열한다고 하는 조건)에서 또한 습윤 분위기 중에서 열처리(즉, 탈탄 어닐링 처리)가 실시된다. 이러한 탈탄 어닐링 처리가 실시되면, 냉연 강판에 있어서, 탄소가 소정량 이하로 저감되어, 1차 재결정 조직이 형성된다. 또한, 탈탄 어닐링 공정 S05에서는, 냉연 강판의 표면에, 실리카(SiO_2)를 주성분으로 해서 함유하는 산화물층이 형성된다.
- [0100] 계속해서, 어닐링 분리제 도포 공정 S06에서는, 마그네시아(MgO)를 주성분으로 해서 함유하는 어닐링 분리제가, 냉연 강판의 표면(산화물층의 표면)에 도포된다. 계속해서, 마무리 어닐링 공정 S07에서는, 어닐링 분리제가 도포된 냉연 강판에 대하여, 소정의 온도 조건(예를 들어 1100 내지 1300℃에서 20 내지 24시간 가열한다고 하는 조건) 하에서 열처리(즉, 마무리 어닐링 처리)가 실시된다. 이러한 마무리 어닐링 처리가 실시되면, 2차 재결정이 냉연 강판에 발생함과 함께, 냉연 강판이 순화된다. 그 결과, 상술한 강판(2)의 화학 조성을 갖고, 결정립의 자화 용이축과 압연 방향 X가 일치하도록 결정 방위가 제어된 냉연 강판(즉 방향성 전자 강판(1)의 홈(3)을 형성하기 전의 상태 강판(2))이 얻어진다.
- [0101] 또한, 상기와 같은 마무리 어닐링 처리가 실시되면, 실리카를 주성분으로 해서 함유하는 산화물층이, 마그네시아를 주성분으로 해서 함유하는 어닐링 분리제와 반응하여, 강판(2) 표면에 포르스테라이트(Mg_2SiO_4) 등의 복합 산화물을 포함하는 글라스 피막(도시하지 않음)이 형성된다. 마무리 어닐링 공정 S07에서는, 강판(2)이 코일 형상으로 감긴 상태에서 마무리 어닐링 처리가 실시된다. 마무리 어닐링 처리 중에 강판(2)의 표면에 글라스 피막이 형성됨으로써, 코일 형상으로 감긴 강판(2)에 들리불음이 발생하는 것을 방지할 수 있다.
- [0102] 절연 피막 형성 공정 S08에서는, 강판 표면(2a)에 대하여, 예를 들어 콜로이드실리카 및 인산염을 함유하는 절연 코팅액이, 글라스 피막 상으로부터 도포된다. 그 후, 소정의 온도 조건(예를 들어 840 내지 920℃) 하에서 열처리가 실시됨으로써, 글라스 피막의 표면에 절연 피막이 형성된다.
- [0103] 계속해서, 홈 가공 공정 S09에서는, 글라스 피막 및 절연 피막이 형성된 강판 표면(2a)에, 홈(3)을 형성한다. 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 레이저법, 프레스 기계법, 에칭법 등의 방법에 의해 홈을 형성할 수 있다. 이하, 홈 형성 공정 S09에 있어서, 레이저법, 프레스 기계법, 에칭법 등을 사용한 경우의 홈(3)의 형성 방법을 설명한다.
- [0104] (레이저법에 의한 홈의 형성 방법)
- [0105] 레이저법에 의해 홈을 형성하는 방법에 대해서 설명한다.
- [0106] 홈 가공 공정 S09에서는, 글라스 피막이 형성된 강판의 표면(편면만)에 대하여 레이저광을 조사함으로써, 강판(2)의 표면에, 압연 방향 X에 교차하는 방향으로 연장되는 복수의 홈(3)이, 압연 방향 X로 소정 간격으로 형성된다.
- [0107] 도 12에 도시한 바와 같이, 홈 가공 공정 S09에서는, 레이저 광원(도시 생략)으로부터 출사된 레이저광 YL이, 광 파이버(9)를 통해서 레이저 조사 장치(10)로 전송된다. 레이저 조사 장치(10)는, 폴리곤 미러와 그 회전 구동 장치(모두 도시 생략)를 내장하고 있다. 레이저 조사 장치(10)는, 폴리곤 미러의 회전 구동에 의해, 레이저광 YL을 강판(2)의 표면을 향해서 조사함과 함께, 레이저광 YL을 강판(2)의 판폭 방향 Y와 대략 평행하게 주사한다.
- [0108] 레이저광 YL의 조사와 동시에, 공기 또는 불활성 가스 등의 어시스트 가스(25)가, 레이저광 YL이 조사되는 강판(2)의 부위로 분사된다. 불활성 가스는, 예를 들어 질소 또는 아르곤 등이다. 어시스트 가스(25)는, 레이저 조사에 의해 강판(2)으로부터 용융 또는 증발한 성분을 제거하는 역할을 담당하고 있다. 어시스트 가스(25)의 분사에 의해, 레이저광 YL이 안정적으로 강판(2)에 도달하기 위해서, 홈(3)이 안정적으로 형성된다. 또한, 어시스트 가스(25)의 분사에 의해, 상기 성분이 강판(2)에 부착되는 것을 억제할 수 있다. 이상의 결과, 레이저광 YL의 주사 라인을 따라 홈(3)이 형성된다.
- [0109] 강판(2)이 압연 방향 X와 일치하는 통관 방향을 따라 반송되면서, 강판(2)의 표면에 대하여 레이저광 YL이 조사된다. 여기서, 홈(3)이 압연 방향 X를 따라 소정의 간격 PL로 형성되도록, 폴리곤 미러의 회전 속도는, 강판(2)의 반송 속도에 대하여 동기 제어된다. 그 결과, 도 13에 도시한 바와 같이, 강판(2)의 표면에, 압연 방향 X와 교차하는 복수의 홈(3)이, 압연 방향 X를 따라 소정 간격 PL로 형성된다.
- [0110] 레이저 광원으로서, 예를 들어 파이버레이저를 사용할 수 있다. YAG 레이저, 반도체 레이저, 또는 CO_2 레이

저 등의 일반적으로 공업용으로 사용되는 고출력레이저를 레이저 광원으로 사용하여 사용해도 된다. 또한, 홈(3)을 안정적으로 형성할 수 있지만 하면, 펄스 레이저, 또는 연속파 레이저를 레이저 광원으로 사용하여 사용해도 된다. 레이저 광원 YL의 조사 조건으로서, 예를 들어 레이저 출력을 200W 내지 2000W에, 레이저광 YL의 압연 방향 X에 있어서의 집광 스폿 직경(즉 레이저 출력의 86%를 포함하는 직경, 이하 86% 직경으로 생략 기재)을 $10\mu\text{m}$ 내지 $1000\mu\text{m}$ 에, 레이저광 YL의 관폭 방향 Y에 있어서의 집광 스폿 직경(86% 직경)을 $10\mu\text{m}$ 내지 $4000\mu\text{m}$ 에, 레이저 주사 속도를 1m/s 내지 100m/s 에, 레이저 주사 피치(간격 PL)를 4mm 내지 10mm 로 설정하는 것이 바람직하다.

[0111] 도 14에 도시한 바와 같이, 본 실시 형태의 홈 가공 공정 S09에서는, 압연 방향 X에 평행한 통관 방향 TD를 따라 반송되는 강관(2)을 평면에서 보았을 때, 레이저광 YL의 레이저 주사 방향 SD(관폭 방향 Y에 평행한 방향)에 대하여 각도 $\theta 2$ 의 기울기를 갖는 방향으로부터, 레이저광 YL을 추종하도록 어시스트 가스(25)가 분사된다. 또한, 도 15에 도시한 바와 같이, 통관 방향 TD를 따라 반송되는 강관(2)을 관폭 방향 Y(레이저 주사 방향 SD)에서 보았을 때, 강관 표면(2a)에 대하여 각도 $\theta 3$ 의 기울기를 갖는 방향으로부터, 레이저광 YL을 추종하도록 어시스트 가스(25)가 분사된다. 각도 $\theta 2$ 는 90° 이상 180° 이하의 범위로 설정되는 것이 바람직하고, 각도 $\theta 3$ 은 1° 이상 85° 이하의 범위로 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 어시스트 가스(25)의 유량을, 매분 10 내지 1000리터의 범위로 설정하는 것이 바람직하다.

[0112] 또한, 강관(2)의 통관 분위기에 존재하는, $0.5\mu\text{m}$ 이상의 직경을 갖는 입자의 수량이, 1CF(큐빅피트)당 10개 이상 10000개 미만이 되도록 분위기 제어를 행하는 것이 바람직하다.

[0113] 방향성 전자 강관의 전체폭에 걸치는 레이저 빔의 주사는, 도 13에 도시하는 바와 같이 1대의 주사 장치에 의해 행해져도 되고, 도 16에 도시하는 바와 같이 복수대의 주사 장치에 의해 행해져도 된다. 광원이 1대인 경우, 이 광원으로부터 출사된 레이저 빔을 분할해서 레이저 빔으로 하면 된다. 복수대의 레이저 조사 장치(10)를 사용하는 경우, 도 16에 도시한 바와 같이, 복수대의 레이저 조사 장치(10)는 압연 방향 X를 따라 소정 간격으로 배치된다. 또한, 압연 방향 X에서 보았을 때, 각 레이저 조사 장치(10)의 레이저 주사 라인이 서로 겹치지 않도록, 각 레이저 조사 장치(10)의 관폭 방향 Y에 있어서의 위치가 설정되어 있다.

[0114] 이러한 레이저 조사 방법을 채용함으로써, 복수의 홈(3)을 강관 표면(2a)에 형성할 수 있다. 복수대의 주사 장치를 사용함으로써 관폭 방향 Y로 조사 영역을 복수로 분할하는 것이 가능하게 되기 때문에, 레이저 빔 1개당 요하는 주사 및 조사의 시간이 단축된다. 따라서, 특히 고속의 통관 설비에 적합하다. 복수대의 주사 장치가 사용되는 경우, 각 주사 장치에 입사해 오는 레이저 빔의 광원인 레이저 장치는 1대만 설치되어 있어도 되고, 주사 장치마다 1대씩 설치되어 있어도 된다.

[0115] 미러의 일면에 의해 레이저 빔이 방향성 전자 강관 상에 주사되어, 방향성 전자 강관 상에 소정의 길이(예를 들어, 300mm)의 홈이 대략 폭 방향으로 형성된다. 압연 방향 X에 인접하는 홈의 간격, 즉 압연 방향 X(반송 방향)의 조사 피치 PL은, 라인 속도 VL 및 조사 속도의 조정에 의해 변경 가능하다. 이와 같이, 레이저 조사 장치를 사용하여, 방향성 전자 강관에 레이저 빔을 조사해서 압연 방향 X로 일정한 주사 간격 PL(조사 피치, 홈 간격)로 홈을 형성한다. 즉, 방향성 전자 강관의 표면에 레이저 빔을 집광해서 주사하면서 조사하여, 방향성 전자 강관의 반송 방향으로 대략 수직인 방향(반송 방향과 교차하는 방향, 반송 방향에 수직인 벡터를 포함하는 방향)으로 연장되는 소정의 길이의 홈을 반송 방향으로 소정의 간격으로 형성한다. 홈(3)은, 예를 들어 방향성 전자 강관의 반송 방향에 대략 수직인 방향에 대하여 플러스 45° 내지 마이너스 45° 의 범위 내에서 형성된다.

[0116] 스캔 양 단부에서는, 미러의 동작과 동기시켜서 레이저의 출력을 시간 변화시킴으로써 홈(3)의 깊이를 변화시키고, 홈(3)의 단부(31a, 31b)를 경사지게 한다. 즉, 도 17에 도시한 바와 같이, 스캔 방향에 있어서, 홈(3)의 단부가 되는 위치에서 레이저의 출력이 변화되도록 설정한다. 예를 들어, 홈(3)의 홈폭이 $100\mu\text{m}$, 홈 깊이가 $20\mu\text{m}$, 조사 피치 3mm , 강관 상에서의 스캔 속도가 30m/s 인 경우, 홈 단부의 제1 각도 θ 를 60° 이하로 하기 위해서는, 1개의 홈 형성 개시 시와 형성 종료 시에 있어서, 레이저의 출력에 변화를 주는 시간 ΔT 를 0.0004ms 이상으로 한다. 이에 의해, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L의 단부에 있어서 상술한 제1 각도 θ 로 경사진 홈(3)이 형성된다.

[0117] 레이저 빔의 조사는, 예를 들어 도 13에 도시한 바와 같이, 광원인 레이저 장치로부터 출사된 레이저 빔을, 주사 장치가, 방향성 전자 강관의 압연 방향 X로 거의 수직인 관폭 방향 Y로 소정의 간격 PL로 주사함으로써 행해진다. 이때, 공기 또는 불활성 가스 등의 어시스트 가스가 방향성 전자 강관의 레이저 빔이 조사되는 부위로 분사된다. 이들 결과, 방향성 전자 강관의 표면 레이저 빔이 조사된 부분에 홈이 형성된다. 압연 방향 X는 통관 방향과 일치하고 있다.

- [0118] 레이저 빔의 조사를 행할 때의 방향성 전자 강판의 온도는 특별히 한정하지 않는다. 예를 들어, 실온 정도의 방향성 전자 강판에 대하여 레이저 빔의 조사를 행할 수 있다. 레이저 빔을 주사하는 방향은 판폭 방향 Y와 일치할 필요는 없다. 그러나, 작업 효율 등의 관점 및 압연 방향 X로 긴 직사각형으로 자구를 세분하는 점에서, 주사 방향과 판폭 방향 Y가 이루는 각은 0° 내지 90° 의 범위이고, 45° 이내인 것이 바람직하다. 주사 방향과 판폭 방향 Y가 이루는 각은 20° 이내인 것이 보다 바람직하고, 10° 이내인 것이 한층 더 바람직하다.
- [0119] (프레스 기계법에 의한 홈의 형성 방법)
- [0120] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 홈(3)을 프레스 기계법에 의해 제조하는 방법에 대해서 설명한다. 프레스 기계법에 의해 방향성 전자 강판에 홈(3)을 형성하는 경우, 홈(3)의 형상에 대응시킨 치형을 사용해서 공지의 프레스 기계 방법에 의해 홈을 형성한다. 즉, 치형의 길이 방향에 있어서의 단부에 제1 각도 θ 와 동일한 각도의 경사부를 형성한 치형을 사용해서 홈(3)이 형성된다.
- [0121] (전해 에칭법에 의한 홈의 형성 방법)
- [0122] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 홈을 전해 에칭법에 의해 제조하는 방법에 대해서 설명한다.
- [0123] 절연 피막 형성 공정 S08 후의 방향성 전자 강판(1)의 표면에, 홈의 형상에 대응하는 부분을 개구시킨 에칭 레지스트층을 인쇄 등에 의해 형성한다. 에칭 레지스트층의 개구는, 홈 단부에 대응하는 개소에서는, 홈 긴 쪽 방향 L의 중앙부에 비하여 양 단부의 개구폭이 좁아지도록 짧은 쪽 방향의 개구폭이 서서히 작아지도록 경사진 에칭 레지스트를 형성한다. 예를 들어, 홈 평균 깊이 D가 $20\mu\text{m}$, 홈 짧은 쪽 방향 Q의 홈폭이 $50\mu\text{m}$, 또한 제1 각도 θ 를 55° 이하로 하기 위해서는, 에칭 레지스트의 개구는, 홈 짧은 쪽 방향 Q의 개구폭을 $100\mu\text{m}$ 이상으로 설정하고, 홈 단부에 대응해서 경사지는 개소의 홈 긴 쪽 방향 L의 길이가 $14\mu\text{m}$ 가 되도록 형성된다. 이 결과, 에칭 레지스트의 개구폭이 좁게 설정된 홈 단부에는 경사부(5)가 형성된다. 그 후, 에칭액(NaCl 등)을 사용해서, 액온 30°C 에서 20초 에칭 처리를 실시한다. 계속해서, 방향성 전자 강판으로부터 에칭 레지스트를 박리함으로써, 강판 표면(2a)에 홈(3)을 형성한다.
- [0124] 홈 가공 공정 S09에서 홈(3)을 형성한 후, 다시 상기 절연 피막 형성 공정과 마찬가지로 처리를 행한다(재절연 피막 형성 공정 S10). 얻어지는 절연 피막의 두께는, 2 내지 $3\mu\text{m}$ 이다. 이상에 의해 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판이 얻어진다.
- [0125] 상기과 같이 제조된 방향성 전자 강판(1)의 강판(2)은, 화학 성분으로서, 질량 분율로, Si: 0.8% 내지 7%, C: 0% 초과 내지 0.085%, 산 가용성 Al: 0% 내지 0.065%, N: 0% 내지 0.012%, Mn: 0% 내지 1%, Cr: 0% 내지 0.3%, Cu: 0% 내지 0.4%, P: 0% 내지 0.5%, Sn: 0% 내지 0.3%, Sb: 0% 내지 0.3%, Ni: 0% 내지 1%, S: 0% 내지 0.015%, Se: 0% 내지 0.015%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함한다.
- [0126] 또한, 상기 실시 형태에서는, 강판 표면(2a)에 절연 피막이 형성된 후에, 레이저 조사에 의해 강판 표면(2a)에 홈(3)을 형성한다고 하는 제조 프로세스를 채용하는 경우를 예시했다. 이 경우, 레이저 조사 직후의 홈(3)은 외부에 노출되어 있으므로, 홈(3)의 형성 후에, 다시 절연 피막을 강판(2) 상에 형성할 필요가 있다. 단, 본 실시 형태에서는, 강판 표면(2a)에 절연 피막이 형성되기 전에, 강판 표면(2a)을 향해서 레이저광 YL을 조사함으로써, 강판 표면(2a)에 홈(3)을 형성하고, 그 후에, 절연 피막을 강판(2) 상에 형성한다고 하는 제조 프로세스를 채용해도 된다. 또는 본 실시 형태에서는, 강판(2)에 홈(3)이 형성된 후에, 글라스 피막 또는 절연 피막이 형성되어도 된다.
- [0127] 따라서, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판에는, 2차 재결정을 위한 고온 어닐링이 완료되고 또한 글라스 피막 및 절연 피막의 코팅이 완료된 방향성 전자 강판(1)이 포함되지만, 마찬가지로, 글라스 피막 및 절연 피막의 코팅이 완료되기 전의 방향성 전자 강판도 포함된다. 즉, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판을 사용하여, 후속 공정으로서, 글라스 피막 및 절연 피막의 형성을 행함으로써 최종 제품을 얻어도 된다. 또한, 상기한 바와 같이, 상기 피막 제거 방법을 행한 경우, 글라스 피막 또는 절연 피막을 제거한 후의 홈(3)의 형상이나 거칠기는, 글라스 피막 또는 절연 피막을 형성하기 전과 동일한 것이 확인되고 있다.
- [0128] 또한, 상기 실시 형태에서는, 마무리 어닐링 공정 S07 후에 홈 가공 공정(레이저 조사 공정) S09를 실시하는 경우를 예시했지만, 냉간 압연 공정 S04와 탈탄 어닐링 공정 S05 사이에 홈 가공 공정을 실시해도 된다. 즉, 냉간 압연 공정 S04로부터 얻어지는 냉연 강판에 대하여 레이저 조사 및 어시스트 가스 분사를 행함으로써, 냉연 강판의 강판 표면(2a)에 홈(3)을 형성한 후, 그 냉연 강판에 대하여 탈탄 어닐링을 실시해도 된다.
- [0129] 본 실시 형태에서는, 홈(3)의 연장 방향인 홈 긴 쪽 방향 L이, 압연 방향 X 및 판폭 방향 Y에 대하여 교차하는

방향인 예를 나타냈다. 그러나, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 홈(3)의 연장 방향은, 이것에 한정되지 않는다. 예를 들어, 홈(3)의 홈 긴 쪽 방향 L이 압연 방향 X에 대략 직교하고 있어도, 자기 특성 개선과 내청성을 양립시킬 수 있다.

[0130] 본 실시 형태에서는, 상술한 특징을 갖는 홈 형상으로 함으로써, 강판 표면(2a)에 $15\mu\text{m}$ 이상의 깊이 홈(3)에 있어서 내청성을 향상시킬 수 있다. 따라서, 방향성 전자 강판(1)에 형성되는 홈(3)의 수는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 판폭 방향 Y 및 압연 방향 X에 복수의 홈(3)을 형성해도 된다.

[0131] 본 실시 형태에서는, 평면에서 보았을 때의 홈(3)의 형상(홈(3)과 강판 표면(2a)의 경계 부분의 형상)이 긴 타원인 예를 도시했다. 그러나, 방향성 전자 강판(1)의 홈(3)의 형상은 이것에 한정되지 않는다. 예를 들어, 홈(3)은 홈 긴 쪽 방향 L의 단부에 경사부를 갖고, 상기 식 (1)의 관계를 만족시키지만 어떤 형상이어도 된다.

[0132] 도 3에서는, 홈 짧은 쪽 방향 Q에서 본 홈(3)의 형상이, 홈 짧은 쪽 방향 Q에서 홈폭 중심을 기준으로 해서 비대칭 형상인 예를 나타냈다. 그러나, 홈(3)의 형상은 이것에 한정되지 않는다.

[0133] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 홈 평균 깊이 D가 $10\mu\text{m}$ 이상 $50\mu\text{m}$ 이하인 경우에 보다 효과를 발휘한다.

[0134] 본 실시 형태에서는, 홈(3)의 연장 방향인 홈 긴 쪽 방향 L이, 압연 방향 X 및 판폭 방향 Y에 대하여 교차하는 방향인 예를 나타냈지만 이것에 한정되지 않고, 홈(3)은 압연 방향 X와 교차하는 방향으로 연장되는 구성이 된다. 예를 들어, 홈(3)의 연장 방향이 압연 방향 X에 대략 직교하는 방향이어도 홈(3)의 내청성을 억제할 수 있다.

[0135] 또한, 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 상기와 같이 판폭 방향 Y의 복수의 홈끼리 오버랩 영역을 형성함으로써, 경사면을 갖는 홈(31, 32, ..., 3n)을 사용해도, 철손을 낮게 억제할 수 있다. 즉, 본 실시 형태의 방향성 전자 강판(1)과 같이, 내청성을 향상시키기 위해서 홈 긴 쪽 방향 L의 양 단부에 경사면을 형성한 홈(3)이어도, 복수의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 배치하고, 또한 서로 인접하는 홈(3)의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시킴으로써, 각 홈(31, 32, ..., 3n)의 단부가 얹어, 균일한 깊이의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 1개 형성한 경우와 마찬가지로 철손을 개선시킬 수 있다.

[0136] (변형예)

[0137] 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)의 변형예를 나타낸다. 본 실시 형태에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 별도의 관점에서 이하와 같이 규정할 수도 있다.

[0138] 도 19에 도시한 바와 같이, 상기 투영면에 투영된 제1 홈(31)의 윤곽인 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제1 홈 평균 깊이 D_1 이라 한다. 투영면에 투영된 제2 홈(32)의 윤곽인 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향하는 깊이의 평균값을 단위 μm 로 제2 홈 평균 깊이 D_{II} 라 한다. 본 변형예에 따른 방향성 전자 강판(1)의 상기 오버랩 영역 R은, 상기 투영면에서, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 제1 홈단(32a)에 있어서의 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.05 \times D_{II}$ 가 되는 점(제3 점)과, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 제2 홈단(31b)에 있어서의 강판 표면(2a)으로부터 판두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.05 \times D_1$ 이 되는 점(제4 점) 사이의 거리로서도 규정할 수 있다.

[0139] 방향성 전자 강판(1)에 있어서, 복수의 홈(3)이 서로 판폭 방향 Y로 오버랩하도록 각 홈(3)을 형성함으로써, 각 홈(3)이 경사부(5)를 갖고 있어도, 철손을 낮게 억제할 수 있다. 즉, 내청성을 향상시키기 위해서 홈 긴 쪽 방향 L의 양 단부에 경사부(5)를 형성한 홈(3)이어도, 복수의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 배치하고, 또한 서로 인접하는 홈(3)의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시킴으로써, 균일한 깊이의 홈(3)을 판폭 방향 Y로 1개 형성한 경우와 마찬가지로 철손을 개선시킬 수 있다.

[0140] 본 변형예에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 이하의 조건을 더 만족시키면, 철손을 보다 바람직하게 개선할 수 있다. 구체적으로는, 상기 투영면에서, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상의 상기 제3 점과 기준 단부(21a) 사이의 거리 L_a 가, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 상기 제4 점과 기준 단부(21a) 사이의 거리 L_b 보다 짧다. 이 결과, 확실하게 인접하는 서로의 홈(3)의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시킬 수 있으므로, 철손을 바람직하게 개선할 수 있다.

- [0141] 본 변형예에 따른 방향성 전자 강판(1)은, 이하의 조건을 더 만족시키면, 철손을 보다 바람직하게 개선할 수 있다. 구체적으로는, 상기 투영면에서, 오버랩 영역 R 내에서 관두께 방향 Z로 평행해지는 기준선을 설정하고, 오버랩 영역 R 내의 어느 것의 기준선 상에서도, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 강판 표면(2a)으로부터 관두께 방향 Z를 향하는 깊이와, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 강판 표면(2a)으로부터 관두께 방향 Z를 향하는 깊이의 합계 깊이가, 단위 μm 로, $0.25 \times (D_I + D_{II})$ 이상이다. 이때($D_I=D_{II}=D_A$ 의 경우에는 $0.5 \times D_A$ 이상일 때), 확실하게 서로 인접하는 홈(3)의 양 단부를 판폭 방향 Y로 오버랩시킬 수 있으므로, 철손을 바람직하게 개선할 수 있다. 바꿔 말하면, 오버랩 영역 R에서, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 및 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 합계 깊이가, $0.25 \times (D_I + D_{II})$ 이상일 때($D_I=D_{II}=D_A$ 인 경우에는 $0.5 \times D_A$ 이상일 때), 상기과 같이 철손을 바람직하게 개선할 수 있다. 상기 합계 깊이를 $0.35 \times (D_I + D_{II})$ 이상으로 하는 것이 바람직하고, 상기 합계 깊이를 $0.45 \times (D_I + D_{II})$ 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0142] 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 제2 홈단(31b)에 있어서의 강판 표면(2a)으로부터 관두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.95 \times D_I$ 이 되는 점을 제5 점이라 하고, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 제1 홈단(32a)에 있어서의 강판 표면(2a)으로부터 관두께 방향 Z를 향해서 깊이가 $0.95 \times D_{II}$ 이 되는 점을 제6 점이라 한다. 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 상의 상기 제5 점과 기준 단부 사이의 거리 L_c 는, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2 상의 상기 제6 점과 기준 단부(21a) 사이의 거리 L_d 보다 짧아도 된다. 이 결과, 홈(3)의 형성에 의해 제거되는 강부를 저감할 수 있으므로, 자속 밀도의 열화량을 작게 억제하고 또한 철손을 개선시킬 수 있다. 또한, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 상기 거리 L_c 가, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 상기 거리 L_a 보다 짧아지도록 홈끼리가 오버랩되어도 마찬가지로 효과를 발휘한다.
- [0143] 도 19 내지 도 21에, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 오버랩 영역 R의 폭이 다른 예를 나타낸다. 구체적으로는, 도 19에는, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이, 각각의 경사부(5) 및 제1 홈(31)의 저부(4a)의 일부와 제2 홈(32)의 저부(4b)의 일부가 오버랩되어 있는 예를 나타낸다. 도 20에는, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이, 각각의 경사부(5)의 대부분이 서로 오버랩되는 예를 나타낸다. 즉, 도 20에 나타내는 예는, 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1과 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2가, 각각의 경사부(5)에서 교차하도록 오버랩되어 있다. 도 21에는, 도 20과 마찬가지로 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1과 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2이, 각각의 경사부(5)에서 교차하고, 또한 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1의 상기 거리 L_c 가, 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 상기 거리 L_a 보다 짧아지도록 홈끼리가 오버랩하는 예를 나타낸다. 또한, 도 22에, 도 21에 나타낸 제1 홈 긴 쪽 투영선 LWP1 및 제2 홈 긴 쪽 투영선 LWP2의 합계 깊이의 프로파일을 나타낸다. 도 22에 도시한 바와 같이, 도 21에 나타내는 예의 오버랩 영역 R에서는, 기준 단부(21a)로부터의 거리가 동일한 각 점 P에 있어서의 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이의 최솟값은, $0.5 \times (D_I + D_{II})$ 보다 작아진다($D_I=D_{II}=D_A$ 인 경우에는 홈군 평균 깊이 D_A 보다 작아진다). 오버랩 영역 R에서의 합계 깊이의 최솟값과, 홈군(30)을 갖는 방향성 전자 강판(1)의 철손 특성과의 사이에는, 상관 관계가 있다. 또한, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)이 상기 조건을 만족하도록 오버랩되어 있으면, 홈 단부에 있어서의 경사 각도(제1 각도 θ)는, 철손 특성에 영향을 미치지 않는다.
- [0144] 즉, 오버랩 영역 R에서, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이가, 오버랩되어 있지 않은 영역의 깊이에 비해 손색이 없는 깊이일 때($0.25 \times (D_I + D_{II})$ 이상일 때), 홈 깊이의 급격한 감소에 의한 자구 세분화 효과의 저하를 억제하여, 철손을 개선시킬 수 있다.
- [0145] 오버랩 영역 R에서는, 제1 홈(31)과 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이는, 최대 $D_I + D_{II}$ 가 된다($D_I=D_{II}=D_A$ 의 경우에는 홈군 평균 깊이 D_A 의 2배가 된다). 또한, 상기한 바와 같이, 합계 홈 깊이는, 최소라도 $0.25 \times (D_I + D_{II})$ 가 되는($D_I=D_{II}=D_A$ 인 경우에는 $0.5 \times D_A$ 가 되는) 것이 바람직하다. 제1 홈(31) 및 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이의 상한값은 특별히 제한되지 않지만, 상술한 바와 같이, 최대 $D_I + D_{II}$ 가 된다. 또한, 제1 홈(31) 및 제2 홈(32)의 합계 홈 깊이를, $0.75 \times (D_I + D_{II})$ 이하, $0.65 \times (D_I + D_{II})$ 이하로 하면, 합계 홈 깊이의 변동량이 작게 억제되므로, 더 효과적으로 철손을 안정되게 개선할 수 있다. 이들의 점은 도 21에 나타낸 방향성 전자 강판의 예에서도 마찬가지이다.
- [0146] 실시예
- [0147] 이하, 실시예에 의해 본 발명의 일 형태 효과를 더욱 구체적으로 설명하지만, 실시예에서의 조건은, 본 발명의 실시 가능성 및 효과를 확인하기 위해서 채용한 일 조건예이며, 본 발명은 이 일 조건예에 한정되지 않는다.

본 발명은, 본 발명의 요지를 일탈하지 않고, 본 발명의 목적을 달성하는 한, 다양한 조건을 채용할 수 있다.

- [0148] 질량 비율로, Si: 3.0%, 산 가용성 Al: 0.05%, C: 0.08%, N: 0.01%, Mn: 0.12%, Cr: 0.05%, Cu: 0.04%, P: 0.01%, Sn: 0.02%, Sb: 0.01%, Ni: 0.005%, S: 0.007%, Se: 0.001%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물을 포함하는 화학 성분을 갖는 슬래브를 준비했다. 이 슬래브에 대하여, 열간 압연 공정 S02를 실시하고, 2.3mm의 두께를 갖는 열간 압연재를 제작했다.
- [0149] 이어서, 열간 압연재에 대하여, 온도 1000℃에서 1분간의 조건으로 열처리를 행하였다(어닐링 공정 S03). 열처리 후에 산세 처리를 실시한 뒤에 냉간 압연을 실시하여(냉간 압연 공정 S04), 0.23mm의 두께를 갖는 냉간 압연재를 제작했다.
- [0150] 이 냉간 압연재에 대하여, 온도 800℃에서 2분간의 조건으로 탈탄 어닐링을 실시했다(탈탄 어닐링 공정 S05).
- [0151] 탈탄 어닐링 후의 냉간 압연재의 양면에, 마그네시아를 주성분으로 하는 어닐링 분리제를 도포했다(어닐링 분리제 도포 공정 S06). 어닐링 분리제를 도포한 냉간 압연재를 코일 형상으로 권취한 상태에서 로에 장입하여, 온도 1200℃에서 20시간 최종 마무리 어닐링 공정 S07을 실시하여, 표면에 글라스 피막이 형성된 강판 지철을 제작했다.
- [0152] 이어서, 글라스 피막 상에 인산 알루미늄을 주성분으로 하는 절연재를 도포하고, 온도 850℃, 1분간으로 베이킹을 행하여, 절연 피막을 형성했다(절연 피막 형성 공정 S08).
- [0153] 계속해서, 레이저법을 사용하여, 레이저 주사 피치(간격 PL)는 3mm로 설정하고, 빔 직경은 압연 방향 X로 0.1mm, 스캔 방향으로 0.3mm, 스캔 속도 30m/s로 설정하고, 홈 평균 깊이 D가 20 μ m, 평균 홈폭 W가 100 μ m, 애스펙트비 0.2, 제1 각도 θ 가 60°의 각 홈(31, 32, ..., 3n)을 강판 표면(2a)의 판폭 방향 Y로 복수 형성했다(홈 가공 공정 S09). 홈 가공 공정 S09 후, 다시 인산 알루미늄을 주성분으로 하는 절연재를 도포하고, 온도 850℃, 1분간으로 베이킹을 행하여, 절연 피막을 형성하여(재절연 피막 형성 공정 S10), 방향성 전자 강판을 얻었다.
- [0154] 최종적으로 얻어진 상기 방향성 전자 강판 중의 강판(홈이 형성된 강판)은, 주로 Si: 3.0% 함유하고 있었다.
- [0155] 각 홈(31, 32, ..., 3n)은, 판폭 방향 Y에 대한 경사 각도 θ_4 가 15°, 홈(31)의 홈단(31a)과 홈단(31b)을 연결하는 선과, 홈(31)의 옆에 위치하는 홈(32)의 홈단(32a)과 홈단(32b)을 연결하는 선끼리의 사이의 이격 거리 G가 1mm로 하고, 3mm 오버랩시켜서, 제1 홈(31)의 제2 홈단(32b)과, 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)은, 제1 홈(31)의 제2 홈단(32b)과, 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)을 연결하는 선분 m의 길이가 약 3.4mm, 선분 m의 판폭 방향 Y에 대한 각도 θ_5 가 약 150°가 되도록, 복수 배치했다(도 18 참조). 실시예 1의 방향성 전자 강판(100)의 투영면에 있어서의 홈 긴 쪽 투영선 LWP에 있어서, 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)은, 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)보다 기준 단부(21a) 측에 위치하여, 오버랩 영역 R을 갖는다. 실시예 1의 홈군 평균 깊이 D_A 는 20 μ m이고, 오버랩 영역 R 내에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값은 20 μ m이고, $0.5 \times D_A$ 이상이었다. 또한, 이 판폭 방향 Y로 복수 배치한 홈을, 압연 방향 X로 3mm의 피치로 이격시켜서 연속해서 형성했다.
- [0156] 실시예 1과 합계 홈 깊이의 최솟값이 다른 실시예 2 내지 실시예 4를 준비했다. 즉, 실시예 2는 오버랩 영역 R에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값이 10 μ m이고, 실시예 3은 동 최솟값이 15 μ m이고, 실시예 4는 동 최솟값이 25 μ m인 예이다.
- [0157] (비교예 1)
- [0158] 비교예 1에서는, 실시예 1의 방향성 전자 강판(100)과 동일한 형상의 홈을 오버랩 영역 R이 없도록 배치한 방향성 전자 강판을 준비했다. 즉, 홈 평균 깊이 D가 20 μ m, 평균 홈폭 W가 100 μ m, 애스펙트비 0.2, 제1 각도 θ 가 60°인 홈을 판폭 방향 Y에 대하여 복수 배치했지만, 비교예 1의 방향성 전자 강판의 투영면에 있어서의 홈 긴 쪽 투영선으로는, 오버랩 영역 R이 형성되지 않도록 배치했다. 홈 긴 쪽 투영선에 있어서, 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)은 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)보다 기준 단부(21a) 측에 위치하고, 제2 홈(32)의 제1 홈단(32a)과 제1 홈(31)의 제2 홈단(31b)을 연결하는 선분의 경사 각도는, 홈 긴 쪽 방향 L에 대하여 직각이고 또한 판폭 방향 Y에 대하여 75°가 되도록 배치했다. 즉, 합계 홈 깊이의 최솟값은 0 μ m이다.
- [0159] (비교예 2)
- [0160] 비교예 2에서는, 실시예 1과 마찬가지로 홈을 오버랩시켜서 배치하고 있지만, 오버랩 영역 R 내에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값이, $0.5 \times D_A$ 미만인 방향성 전자 강판을 준비했다. 즉, 비교예 2로서, 홈군 평균 깊이 D_A 가

20 μ m이고, 오버랩 영역 R 내에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값이 5 μ m인 방향성 전자 강판을 준비했다.

[0161] 실시예 1 내지 4 및 비교예 1, 2의 각 방향성 전자 강판으로부터 홈을 1개 이상 포함하는 한 변이 600mm인 정사각형의 시험편을 30매 준비했다.

[0162] 상기 윤곽의 특정 방법에 기초하여, 실시예 1 및 비교예 1, 2의 홈의 윤곽을 특정하였다. 먼저, 비접촉 레이저 거리계(키엔스사 제조 VK-9700)를 사용하여, 각 실시예 및 비교예의 홈에 대하여, 홈 긴 쪽 방향 L의 10개의 직선 L₁ 내지 L₁₀ 상의 이차원 높이 분포를 측정하였다. 측정 결과에 기초하여, 홈의 홈 긴 쪽 단면의 윤곽을 각각 10 패턴 얻었다. 10 패턴의 홈 긴 쪽 단면의 윤곽으로부터, 각각 홈 평균 깊이 D를 산출하고, 홈 평균 깊이 D가 가장 깊었던 홈 긴 쪽 단면의 윤곽을, 대표 패턴으로 해서 추출했다. 대표 패턴의 홈 평균 깊이 D를 표 1의 홈 깊이 D에 나타낸다.

[0163] 실시예 1의 복수의 홈군(30)에 대해서, 각각 홈군 평균 깊이 D_A, 오버랩 영역 R에 있어서의 각 점의 합계 홈 깊이를 측정하였다. 그 결과, 실시예 1의 홈군 평균 깊이 D_A는 20 μ m이고, 오버랩 영역 R 내에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값은 20 μ m이고, 모두 0.5×D_A 이상이였다. 오버랩 영역 R의 합계 홈 깊이의 최솟값과 도달 철손에는 상관이 있고, 실시예 1에서는 합계 깊이의 최솟값이 10 μ m 이상이 되도록 오버랩 영역 R을 형성하면, 도달 철손 0.75W/kg 이하로 할 수 있는 것이 명확해졌다. 또한, 실시예 1의 홈(3)의 제1 각도 θ 가 30°, 45° 인 경우와 실시예 1을 비교한 결과, 홈군(30)을 구성하는 인접하는 홈(3)끼리가 오버랩되고, 또한 합계 깊이의 최솟값이 0.5×D_A 이상이면, 홈(3)의 제1 각도 θ 가 30°, 45°, 60° 인 경우로, 철손은 거의 변화하지 않았다.

[0164] 실시예 1의 시험편 30매를, 최대 자속 밀도가 1.7T, 주파수가 50Hz인 조건 하에서 교류 여자했을 때의 철손 W_{17/50}(W/kg)을 측정하여, 평균값을 산출했다. 비교예 1의 시험편 30매도 마찬가지로 측정하여, 철손의 평균값을 산출했다. 실시예 1의 시험편 철손 평균값은 W_{17/50}=0.72(W/kg)이고, 비교예 1의 시험편 철손 평균값은 W_{17/50}=0.80(W/kg)이 되었다. 이 결과, 실시예 1의 방향성 전자 강판쪽이, 비교예 1의 방향성 전자 강판보다 철손이 우수하였다.

[0165] 실시예 1 내지 4 및 비교예 1, 2의 철손 개선에 대해서 비교했다. 비교 결과를 표 1에 나타낸다.

[0166] 철손 개선의 평가는, 실시예 1 내지 4 및 비교예 1, 2의 홈 가공을 행하기 전의 강판(절연 피막 형성 공정 S08 후의 강판)의 철손을 측정하고, 이것을 기준 철손으로 하여, 기준 철손에 대한 철손의 개선율을 구하였다. 그 결과, 철손 개선율은 실시예 2 및 실시예 3에서 양호한 결과가 얻어졌다. 또한, 실시예 1 및 실시예 4는, 철손 개선율이 20%로 매우 높은 결과가 얻어졌다. 비교예 1 및 비교예 2는, 실시예 1 내지 4의 방향성 전자 강판에 비하여 철손 개선율이 낮았다.

표 1

	홈군 평균 깊이 D _A (단위 : μ m)	오버랩 영역 R에 있어서의 합계 홈 깊이의 최솟값 (단위 : μ m)	철손 개선율 (단위 : %)
실시예 1	20	20	20
실시예 2	20	10	16
실시예 3	20	15	18
실시예 4	20	25	20
비교예 1	20	0	10
비교예 2	20	5	12

[0167]

[0168] (실시예 5 내지 18)

- [0169] 레이저법을 사용하여, 레이저 주사 피치(간격 PL)는 3mm로 설정하고, 빔 직경은 압연 방향 X로 0.1mm, 스캔 방향으로 0.3mm, 스캔 속도 30m/s로 설정하고, 홈 평균 깊이 D, 홈 긴 쪽 방향 L의 평균 홈폭 W, 및 제1 각도 θ 가 이하의 표 1에 나타내는 홈을 강판 표면(2a)에 형성한 방향성 전자 강판을 준비했다. 또한, 비교예로서, 홈 평균 깊이 D, 홈 긴 쪽 방향 L의 평균 홈폭 W, 및 제1 각도 θ 가 이하의 표 2에 나타내는 홈을 형성한 방향성 전자 강판을 준비했다.
- [0170] 홈 짧은 쪽 방향 Q의 단면에 있어서의 윤곽은, 동일한 비접촉 레이저 거리계를 사용하여, 홈 짧은 쪽 방향 Q의 20개의 직선에 있어서의 홈의 이차원 높이 분포를 측정하였다. 측정 결과에 기초하여, 홈의 홈 짧은 쪽 단면의 윤곽을 20 패턴 얻었다. 얻어진 20 패턴의 홈 짧은 쪽 단면의 윤곽에 있어서, 강판 표면(2a)으로부터 홈의 표면(윤곽 상)까지의 깊이를 측정하고, 홈 짧은 쪽 평균 깊이 D_s 를 산출했다. 홈 짧은 쪽 단면 형상에 있어서, 홈 짧은 쪽 평균 깊이 $D_s \times 0.05$ 의 지점을 2점 추출하고, 2점 간의 거리를 홈폭 W로서 측정하였다. 20 패턴 각각에서 얻어진 홈폭 W의 평균값을 평균 홈폭으로서 산출했다. 실시예 5 내지 18 및 비교예 3 내지 5에서 각각 얻어진 방향성 전자 강판의 평균 홈폭(단위 μm)을 표 2에 나타낸다.

표 2

	평균 깊이 $D_A(\mu m)$	오버랩 영역 R에 있어서의 합계 홈 깊이의 최소값 (μm)	철손 개선	평균 홈폭 $W(\mu m)$	에스펙트비 $A=D/W$	제1 각도 $\theta(^{\circ})$	$32 \times A^2 - 55 \times A + 73$	$21 \times A + 77$	녹 발생의 유무	내청성
실시에 5	10	10	양호	200	0.05	70.0	70.3	76.0	없음	우량
실시에 6	50	30	양호	200	0.25	56.0	61.3	71.8	없음	우량
실시에 7	10	10	양호	30	0.33	55.0	58.2	70.0	없음	우량
실시에 8	20	10	양호	50	0.40	54.0	56.1	68.6	없음	우량
실시에 9	15	15	양호	30	0.50	52.5	53.5	66.5	없음	우량
실시에 10	15	15	양호	20	0.75	48.0	49.8	61.3	없음	우량
실시에 11	50	30	양호	50	1.00	48.0	50.0	56.0	없음	우량
실시에 12	15	15	양호	300	0.05	73	70.3	76.0	있음	양호
실시에 13	50	30	양호	200	0.25	65	61.3	71.8	있음	양호
실시에 14	50	30	양호	150	0.33	60.5	58.2	70.0	있음	양호
실시에 15	10	10	양호	25	0.40	58	56.1	68.6	있음	양호
실시에 16	50	30	양호	100	0.50	56	53.5	66.5	있음	양호
실시에 17	15	15	양호	20	0.75	53	49.8	61.3	있음	양호
실시에 18	50	30	양호	50	1.00	51	50.0	56.0	있음	양호
비교예 3	20	0	불량	100	0.20	75	63.3	72.8	있음	불량
비교예 4	20	0	불량	50	0.40	70	56.1	68.6	있음	불량
비교예 5	20	5	불량	20	1.00	60	50.0	56.0	있음	불량

[0171]

[0172]

실시에 5, 6은, 상기 실시 형태에 기재된 식 (1) 및 식 (2)의 관계만을 만족시키는 예이다. 실시예 12 내지 18은, 상기 실시 형태에 기재된 식 (1)의 관계만을 만족시키는 예이다. 실시예 8 및 9는, 상기 실시 형태에 기재된 식 (1)로부터 식 (4)의 관계를 만족시키는 예이다. 실시예 7은, 상기 실시 형태에 기재된 식 (1), 식 (2) 및 식 (4)의 관계를 만족시키는 예이다. 실시예 10은, 상기 실시 형태에 기재된 식 (1), 식 (2), 및 식 (3)의 관계를 만족시키는 예이다. 또한, 비교예 3 내지 5는, 상기 식 (1)을 만족시키지 않는 방향성 전자 강판을 준비했다.

[0173]

내청성의 평가는, 상기 실시예 및 비교예의 각 방향성 전자 강판으로부터 홈을 1개 포함하는 한 변이 30mm인 정사각형의 시험편을 채취하고, 그 시험편을, 온도가 50℃, 습도가 95% 이상으로 유지된 실내에서 48시간 방치한 후, 각 시험편에 있어서의 녹의 발생 상황을 확인했다. 녹의 발생 유무는, 눈으로 보아 확인하였다. 그 외에, 내청성에 대해서는, 온도 50℃ 및 습도 91%의 분위기 중에 시험편을 1주일 방치하고, 그 전후에 있어서의 시험

편의 중량 변화에 기초하여 평가하였다. 녹이 발생하면 시험편의 중량이 증가하기 때문에, 중량 증가량이 적은 것일수록 내청성이 좋다고 판단하였다. 구체적으로는, 중량 증가량이 $1.0\text{mg}/\text{m}^2$ 이하인 시험편의 내청성을 "우량"이라 평가하고, 중량 증가량이 $5.0\text{mg}/\text{m}^2$ 이하인 시험편의 내청성을 "양호"라 평가하고, 중량 증가량이 $10.0\text{mg}/\text{m}^2$ 초과인 시험편의 내청성을 "불량"이라 평가하였다. 표 1에 나타낸 바와 같이, 실시예 5 내지 18의 방향성 전자 강판의 내청성을 검증한 결과, 적어도 식 (1)을 만족시키는 흠을 형성함으로써, 방향성 전자 강판의 내청성이 향상되는 것이 확인되었다.

[0174] 비교예 3 내지 5는 내청성의 평가는 불량으로 되었다.

[0175] 실시예 1 내지 18에서는, 강판 중의 흠에 접하는 결정립의 입경이 $5\mu\text{m}$ 이상이었다.

산업상 이용가능성

[0176] 본 발명의 상기 형태에 따르면, 지철의 표면에 복수의 흠이 형성된 방향성 전자 강판의 철손을 개선하고, 또한 내청성을 향상시키는 것이 가능하므로, 산업상 이용가능성을 충분히 갖는다.

부호의 설명

[0177] 1 : 방향성 전자 강판

2 : 강판

2a : 강판 표면

3 : 흠

X : 압연 방향

Y : 관폭 방향

Z : 관두께 방향

D : 흠 평균 깊이

D_A : 흠군 평균 깊이

Θ : 제1 각도

W : 평균 흠폭

51 : 제1 점

52 : 제2 점

3E : 흠단 직선

30 : 흠군

31 : 제1 흠

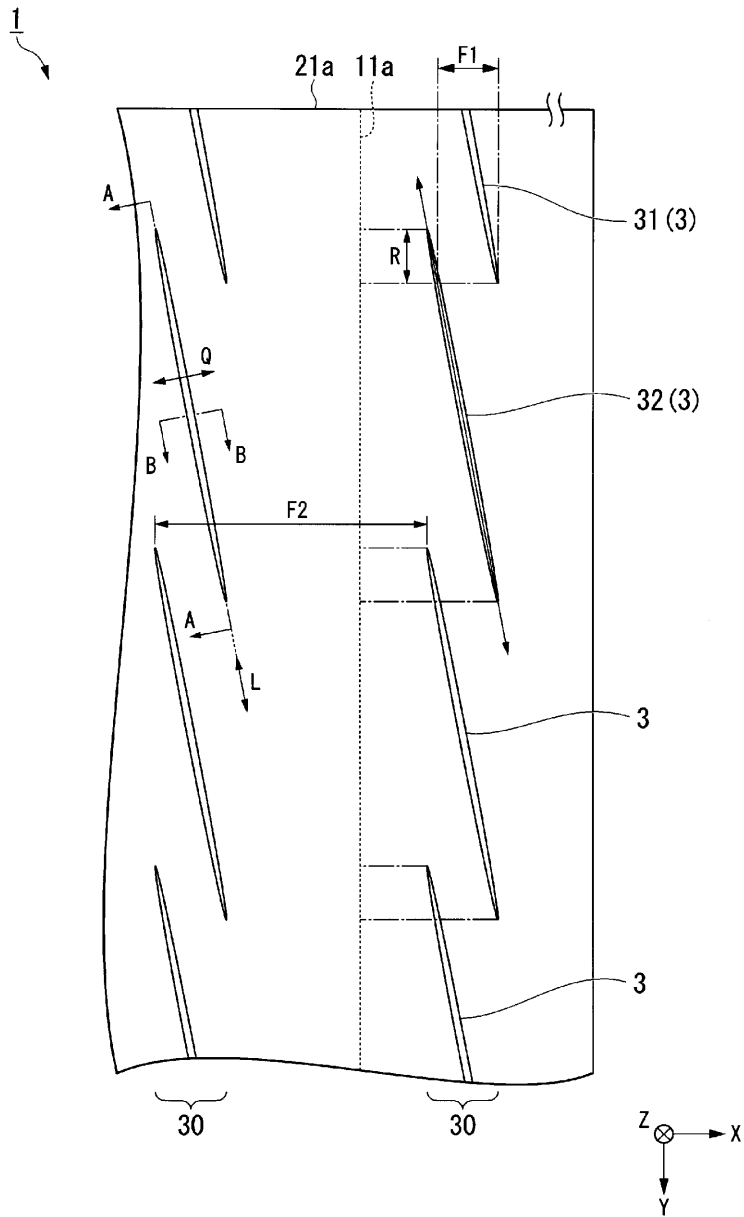
32 : 제2 흠

31a : 제1 흠단

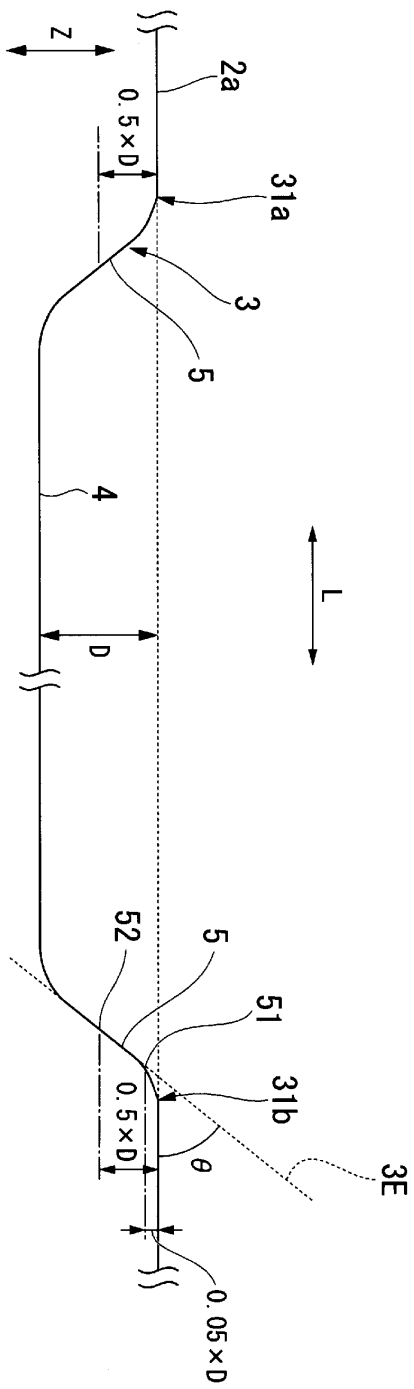
32b : 제2 흠단

도면

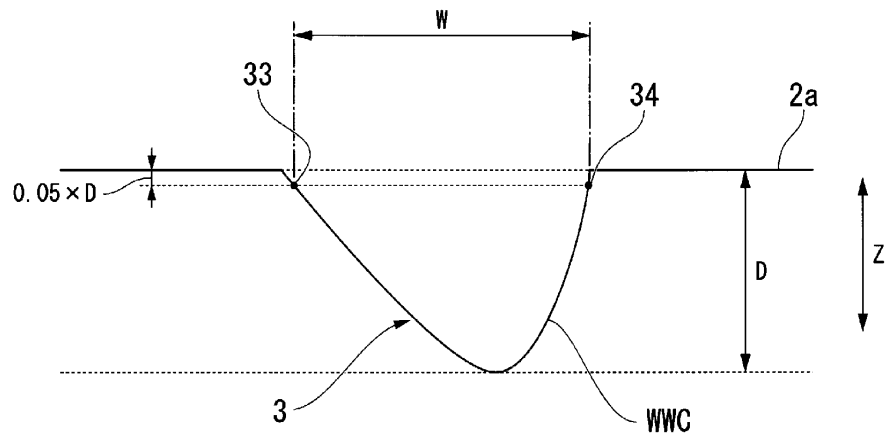
도면1



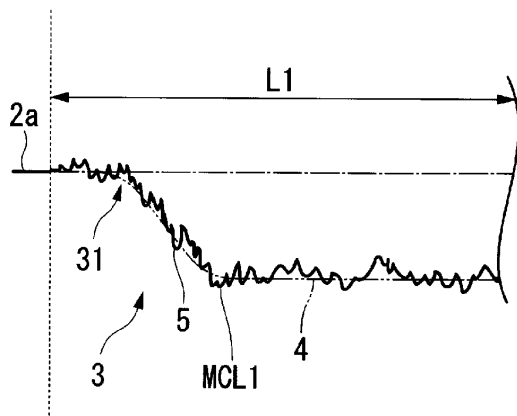
도면2



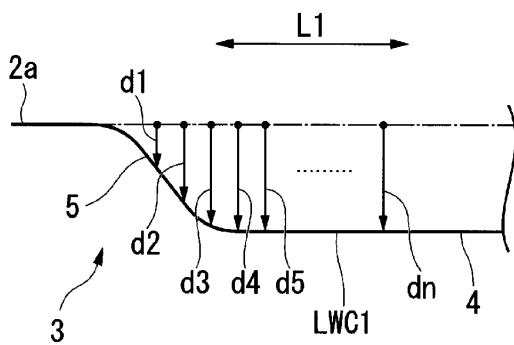
도면3



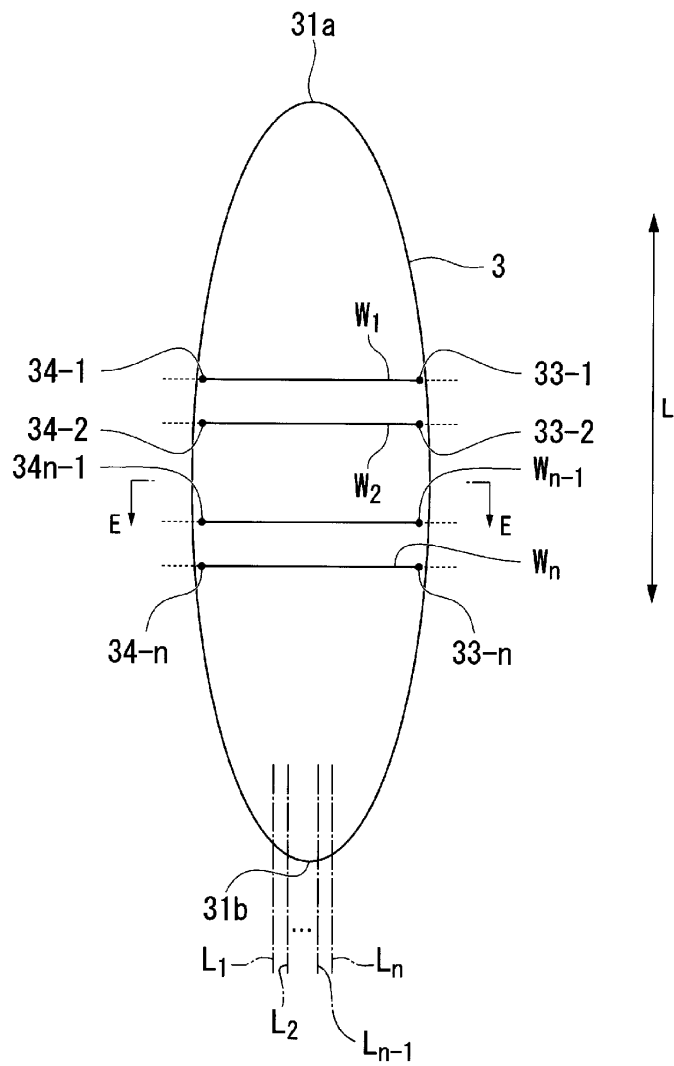
도면4



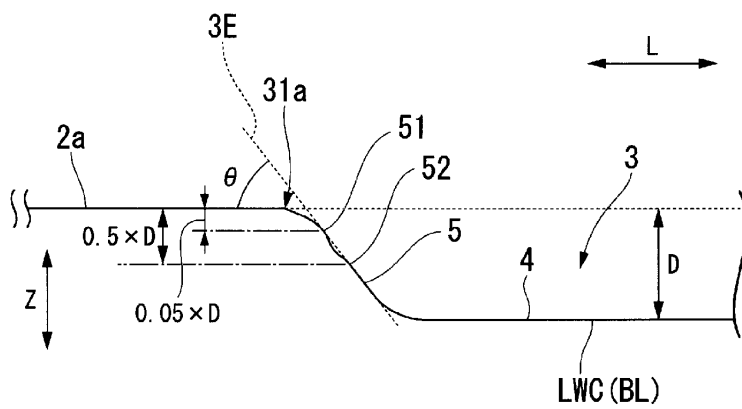
도면5



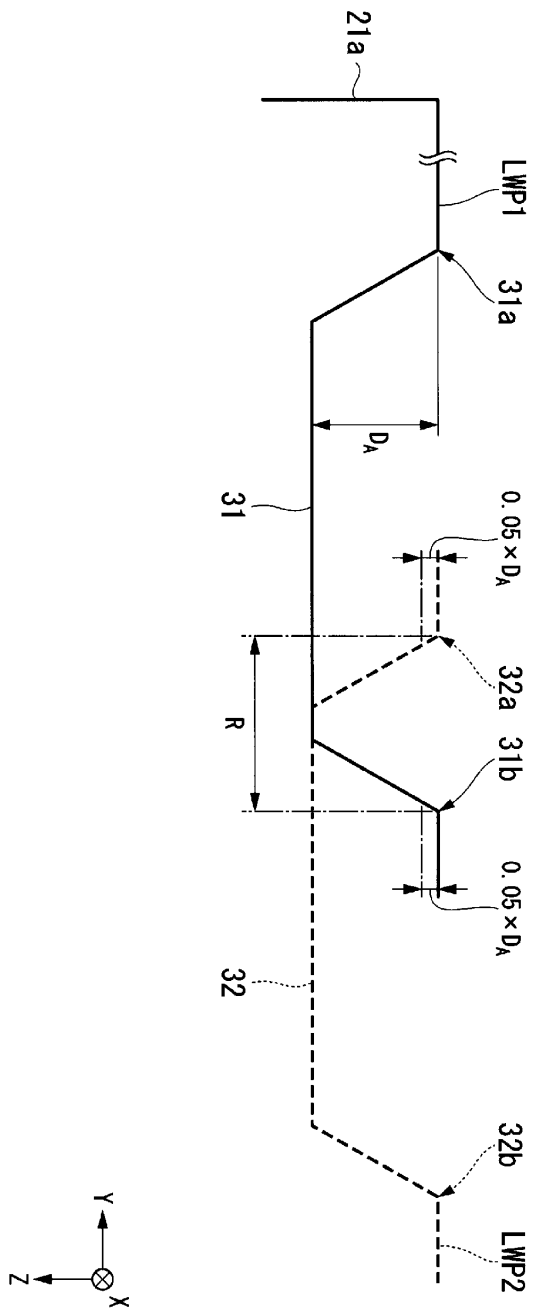
도면6



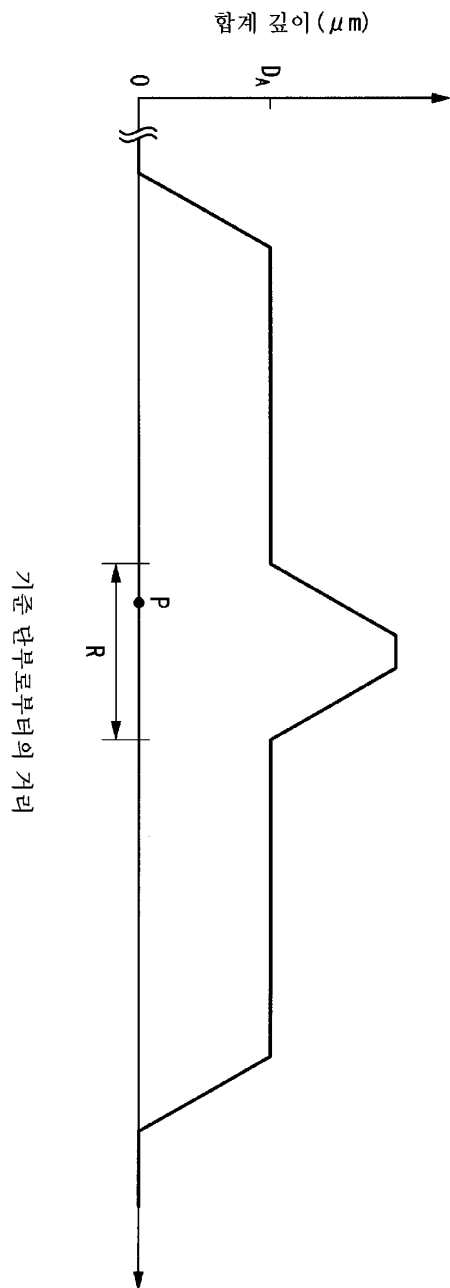
도면7



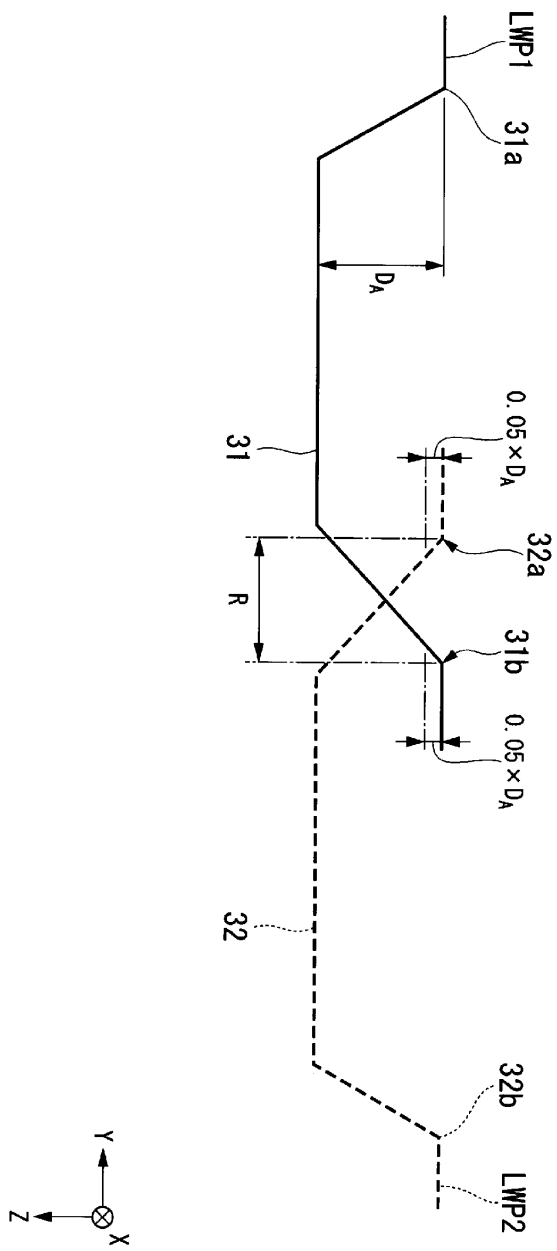
도면8



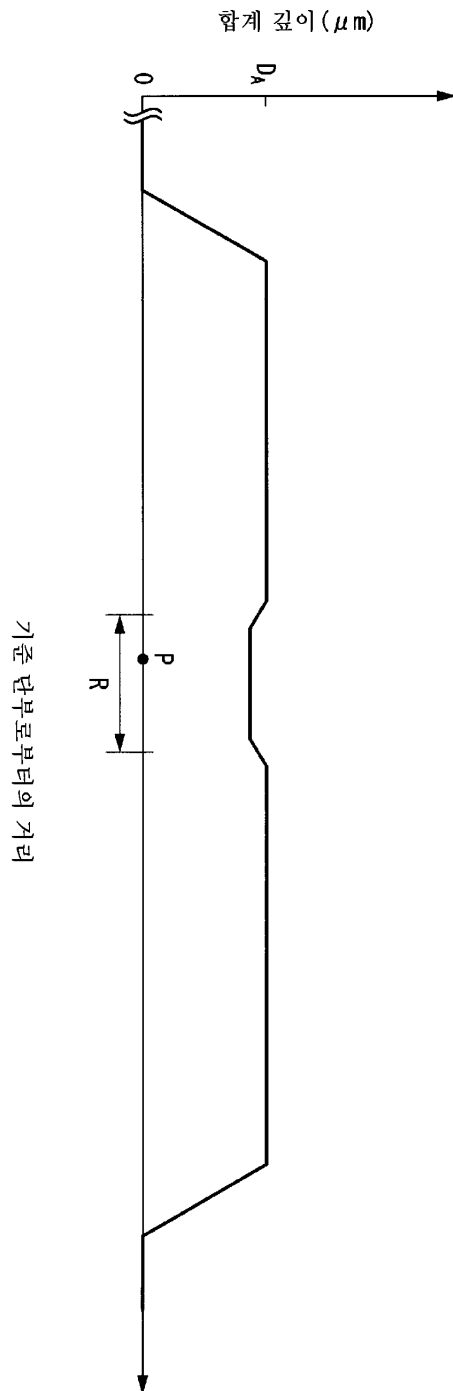
도면9



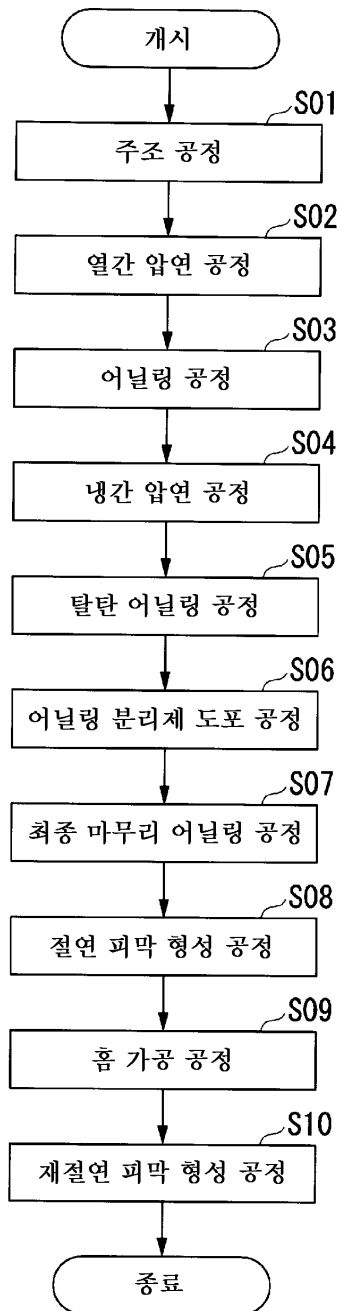
도면10



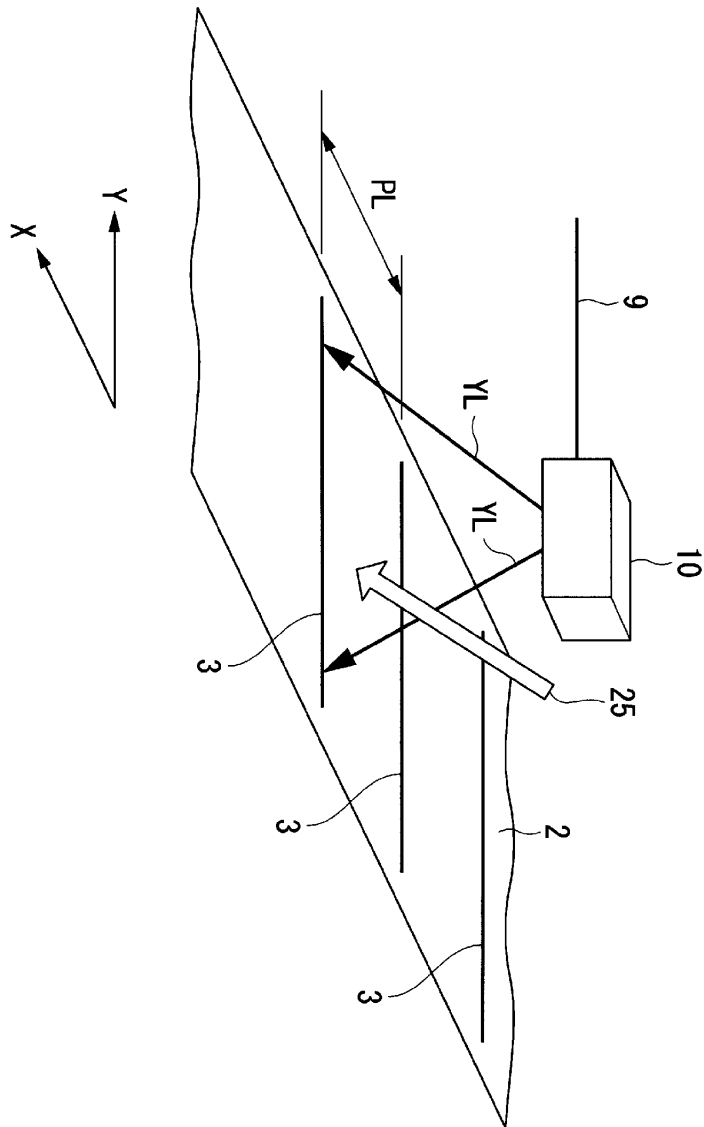
도면11



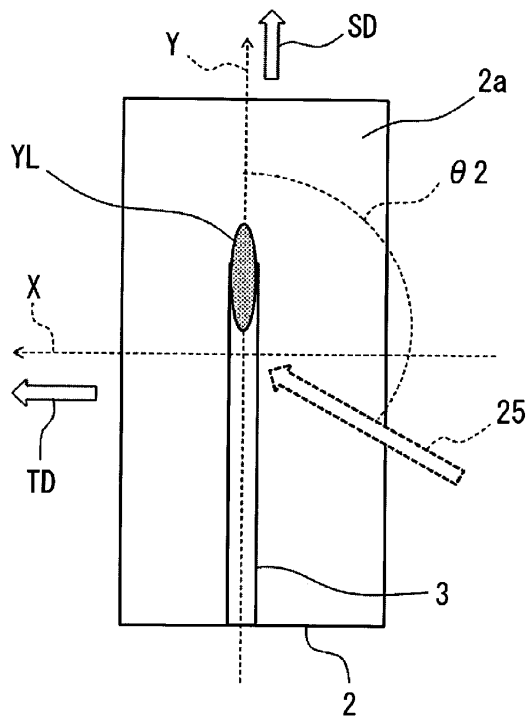
도면12



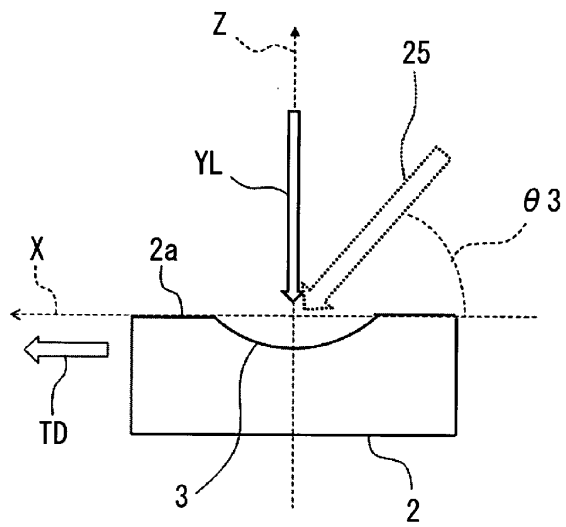
도면13



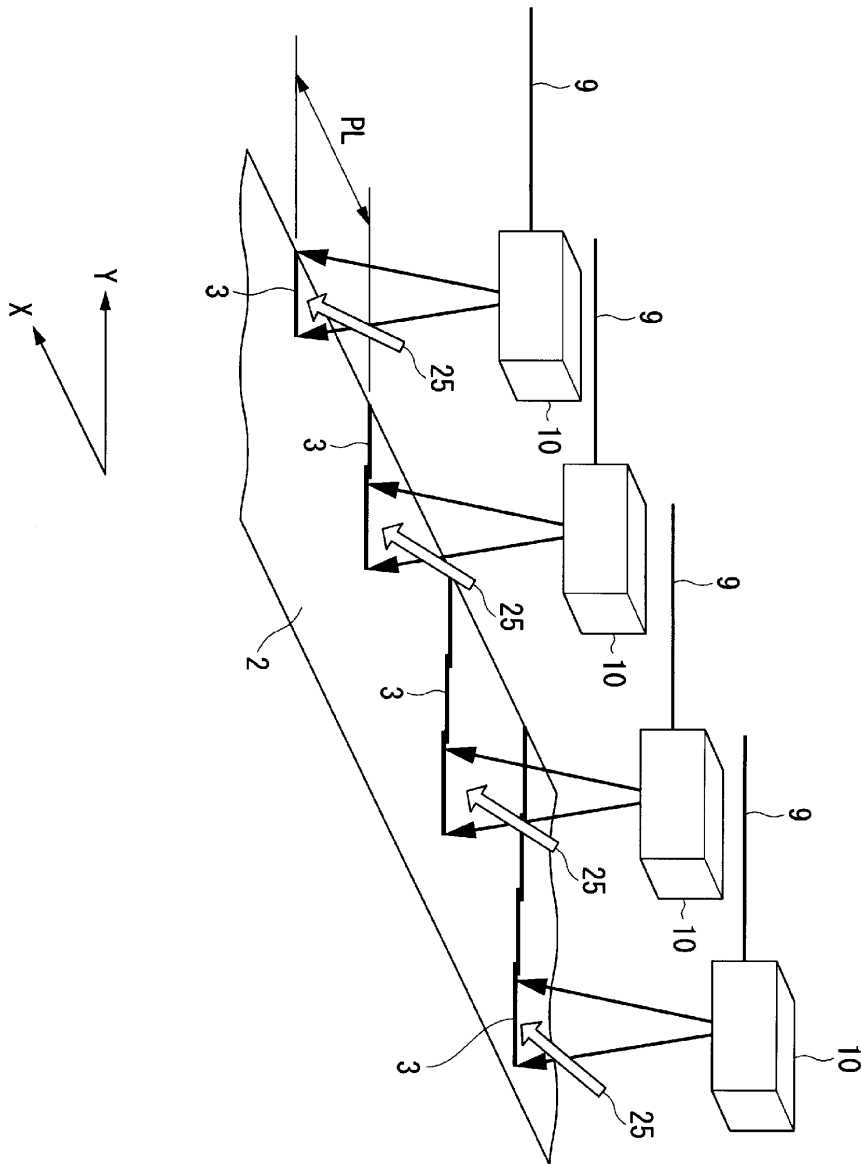
도면14



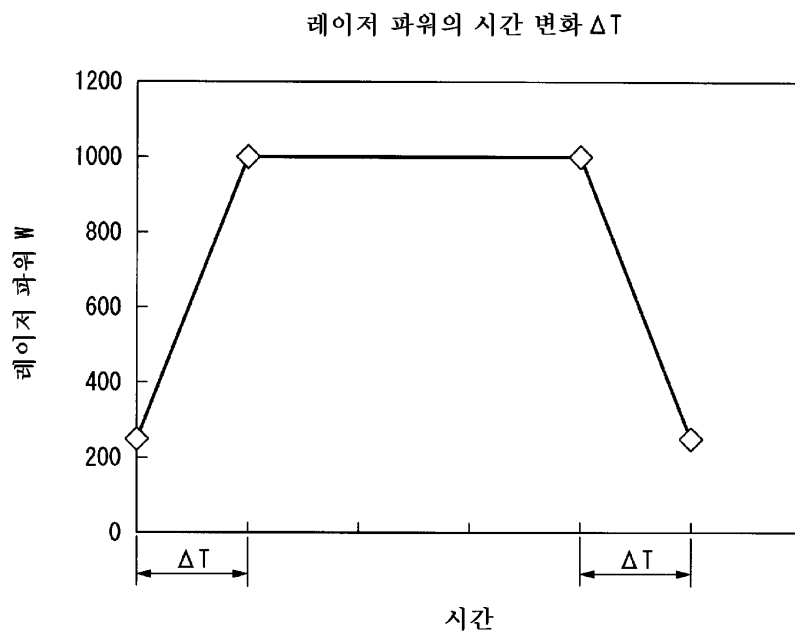
도면15



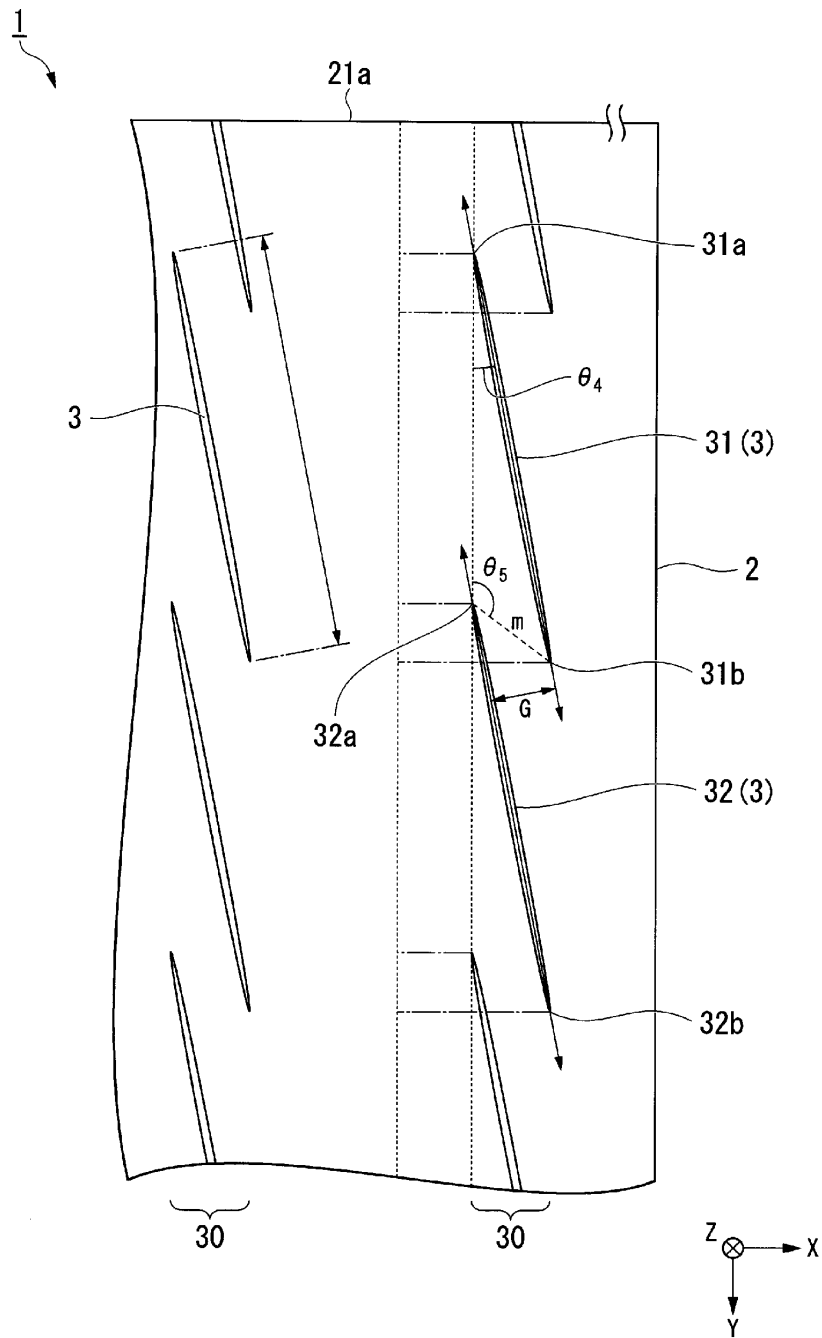
도면16



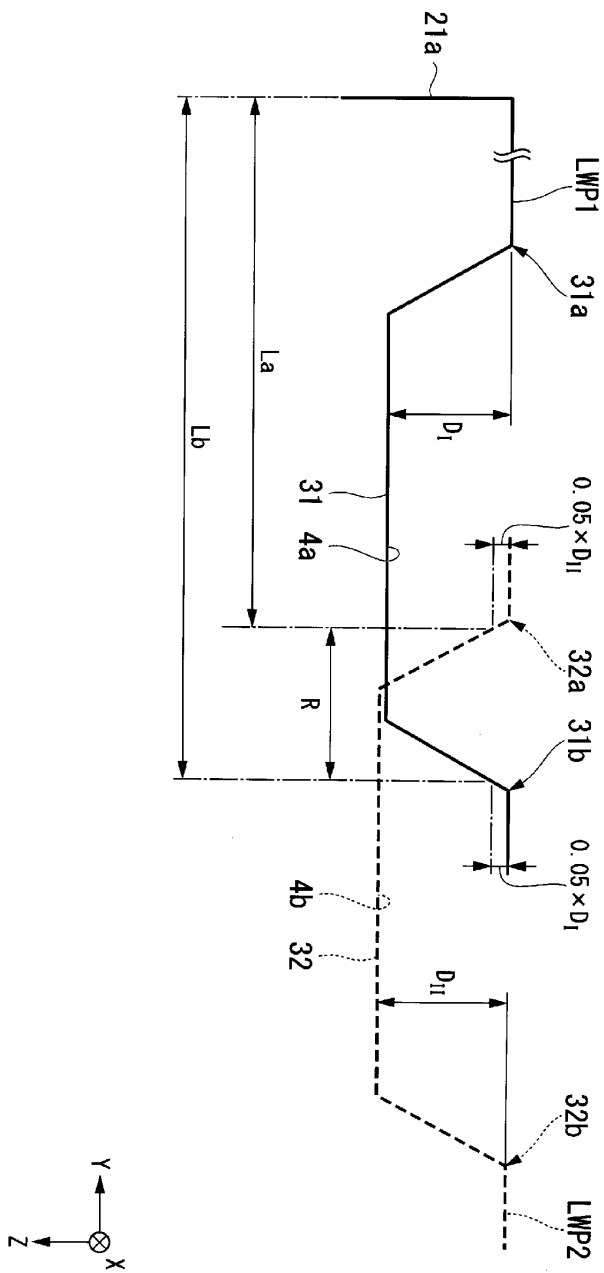
도면17



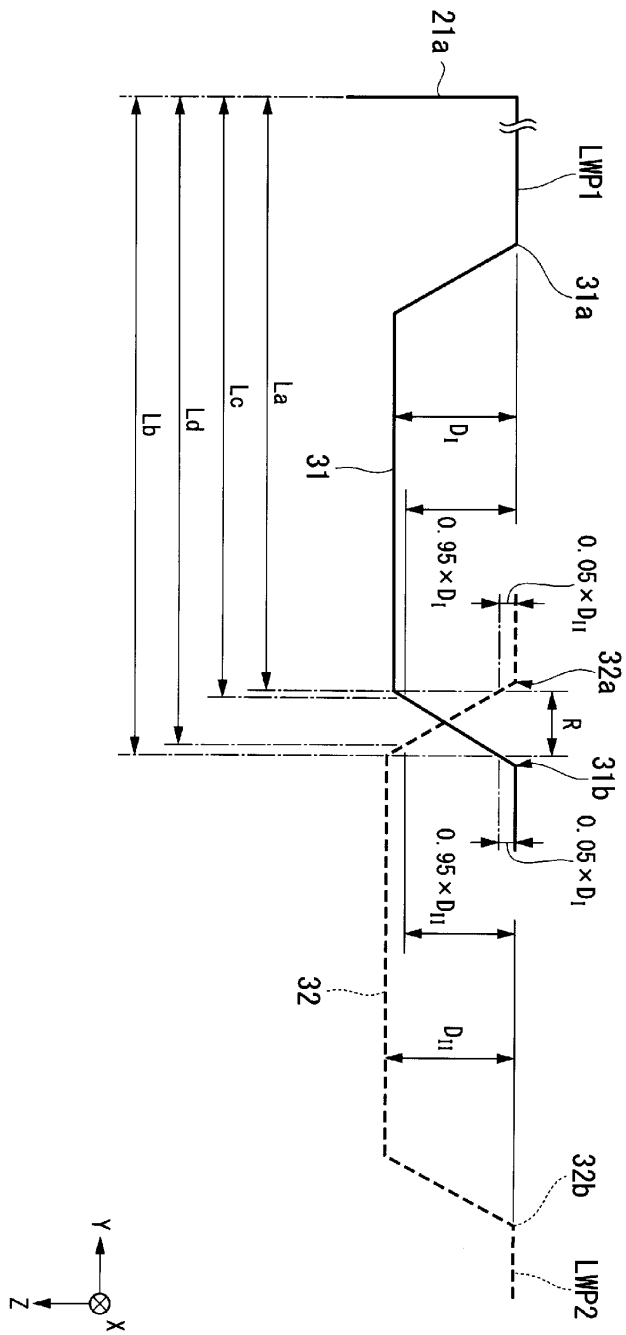
도면18



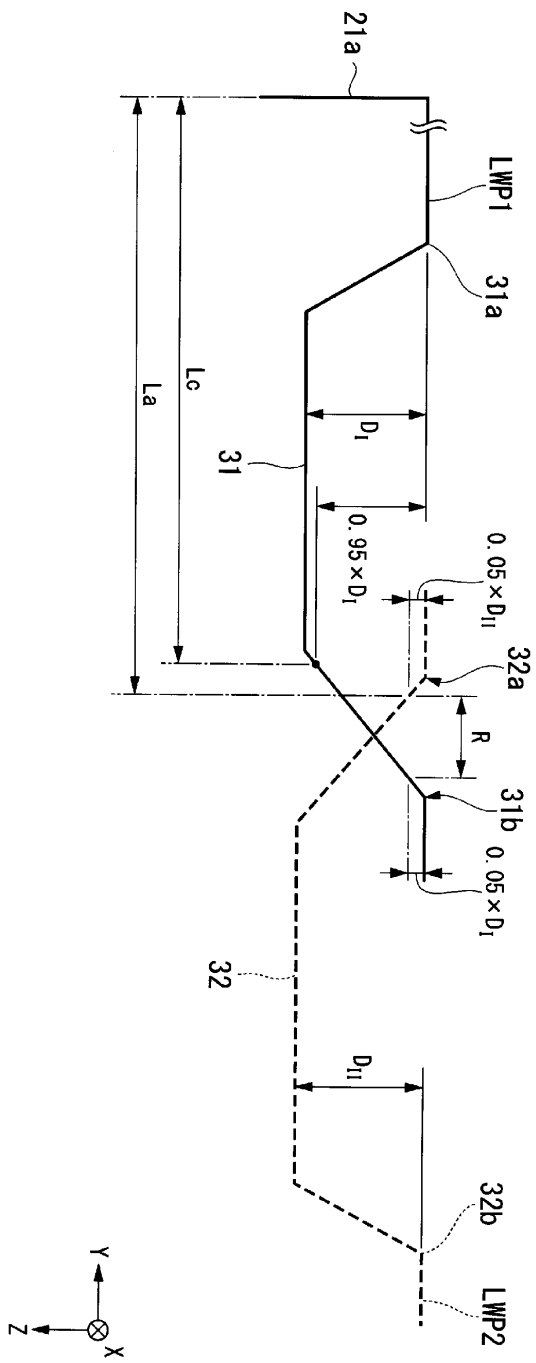
도면19



도면20



도면21



도면22

