



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0107084
(43) 공개일자 2017년09월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C21D 8/12 (2006.01) B23K 26/359 (2014.01)
C21D 10/00 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)
H01F 1/16 (2006.01) H01F 1/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C21D 8/1277 (2013.01)
B23K 26/359 (2015.10)
- (21) 출원번호 10-2017-7024040
- (22) 출원일자(국제) 2016년04월19일
심사청구일자 2017년08월28일
- (85) 번역문제출일자 2017년08월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2016/062356
- (87) 국제공개번호 WO 2016/171124
국제공개일자 2016년10월27일
- (30) 우선권주장
JP-P-2015-086299 2015년04월20일 일본(JP)

- (71) 출원인
신닛테츠스미킨 카부시카이사
일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
- (72) 발명자
모기 히사시
일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이사 내
다카하시 후미아키
일본 1008071 도쿄도 치요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시카이사 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
양영준, 최인호, 성재동

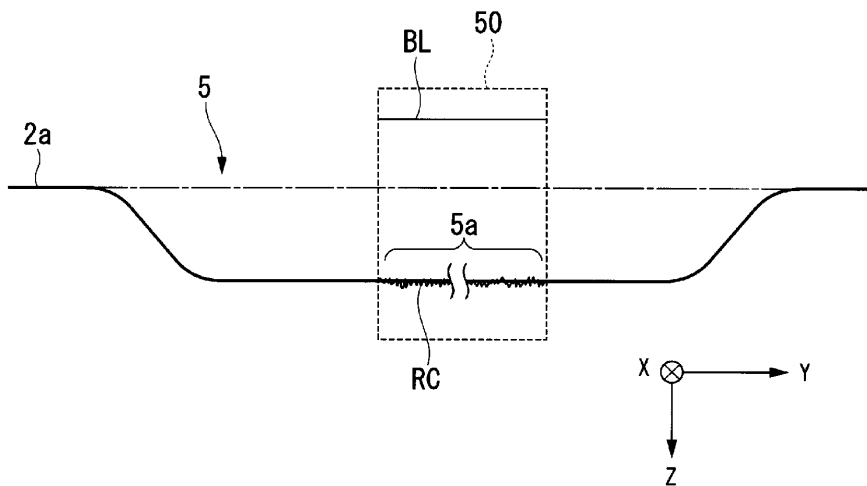
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 방향성 전자기 강판

(57) 요약

압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방향이 판 두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자기 강판에 있어서, 홈 연장 방향 및 상기 판 두께 방향을 포함하는 홈 긴 쪽 단면에서 상기 홈을 본 경우에, 상기 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가, 1 μ m 이상 3 μ m 이하이고, 상기 홈 바닥 영역의 상기 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이, 10 μ m 이상 150 μ m 이하이다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

C21D 10/005 (2013.01)

C21D 8/1283 (2013.01)

C21D 9/46 (2013.01)

H01F 1/16 (2013.01)

H01F 1/18 (2013.01)

(72) 발명자

하마무라 히데유키

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

사카이 다츠히코

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 판 두께 방향이 되는 홈이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하는 방향성 전자기 강판에 있어서,

홈 연장 방향 및 상기 판 두께 방향을 포함하는 홈 긴 쪽 단면에서 상기 홈을 본 경우에,

상기 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가, 1 μ m 이상 3 μ m 이하이고,

상기 홈 바닥 영역의 상기 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이, 10 μ m 이상 150 μ m 이하이고,

상기 방향성 전자기 강판이 절연 피막을 더 구비하고,

상기 홈 연장 방향에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 홈을 본 경우에,

상기 홈과 상기 강판 표면의 경계를 기점으로 하여, 상기 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 판 두께 방향과 직교하고 또한 상기 홈으로부터 멀어지는 방향으로 10 μ m 이상 500 μ m 이하인 영역을 입자 존재 영역이라고 정의했을 때,

상기 입자 존재 영역에서의 상기 절연 피막은, 원 상당 직경이 0.1 μ m 이상 2 μ m 이하인 철 함유 입자를 포함하고,

상기 입자 존재 영역의 면적에 대한 상기 철 함유 입자의 면적 비율이 0.1% 이상 30% 미만이고,

상기 철 함유 입자의 화학 성분이, 80 내지 100질량%의 Fe와, 0 내지 10질량%의 Si와, 0 내지 10질량%의 Mg를 포함하는 것을 특징으로 하는 방향성 전자기 강판.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 방향성 전자기 강판이 상기 강판과 상기 절연 피막 사이에 유리 피막을 더 구비하고,

상기 유리 피막 및 상기 절연 피막에 포함되는 질량 분율로의 평균 Mg 함유량과 비교하여, Mg 함유량이 평균으로 1.3배 이상을 만족시키는 상기 유리 피막 및 상기 절연 피막 중의 영역을 Mg 농화 영역이라고 정의했을 때,

상기 홈 연장 방향에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 홈을 본 경우에,

상기 Mg 농화 영역이, 상기 홈과 상기 강판 표면의 경계를 기점으로 하여, 상기 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 판 두께 방향과 직교하고 또한 상기 홈으로부터 멀어지는 방향으로 0.1 μ m 이상 10 μ m 이하인 영역에 포함되어 있고, 또한,

상기 판 두께 방향에서 상기 홈을 본 경우에,

상기 Mg 농화 영역이 상기 홈 연장 방향을 따라 연속적으로 존재하거나,

또는 복수의 상기 Mg 농화 영역이 상기 홈 연장 방향을 따라 간격을 갖고 존재하고, 상기 홈 연장 방향을 따라 서로 인접하는 상기 Mg 농화 영역 사이의 거리가, 0 초과 100 μ m 이하인 것을 특징으로 하는 방향성 전자기 강판.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 홈 상에 평균 두께가 0 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 유리 피막과, 평균 두께가 1 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 절연 피막이 형성되어 있고,

상기 강판 상에 평균 두께가 0.5 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 유리 피막과, 평균 두께가 1 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 절연 피막이 형성되어 있고,

상기 홈 상에 형성된 상기 유리 피막의 상기 평균 두께가, 상기 강판 상에 형성된 상기 유리 피막의 상기 평균 두께보다도 얇은 것을 특징으로 하는 방향성 전자기 강판.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 강판에서는 상기 홈에 접하는 결정립의 입경이 5 μ m 이상인 것을 특징으로 하는 방향성 전자기 강판.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 방향성 전자기 강판에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2015년 4월 20일에 일본에 출원된 일본 특허 출원 제2015-086299호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

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

[0004] 철손은, 와전류 손실과 히스테리시스 손실로 분류된다. 또한, 와전류 손실은, 고전적 와전류 손실과 이상 와전류 손실로 분류된다. 고전적 와전류 손실을 저감하기 위해, 상기한 바와 같이 결정 방위가 제어된 강판(지철)의 표면에 절연 피막이 형성된 방향성 전자기 강판이 일반적으로 알려져 있다. 이 절연 피막은, 전기적 절연성 뿐만 아니라, 장력 및 내열성 등을 강판에 부여하는 역할도 담당하고 있다. 또한, 최근에는, 강판과 절연 피막 사이에 유리 피막이 형성된 방향성 전자기 강판도 알려져 있다.

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

[0006] 방향성 전자기 강판을 이용하여 변압기용 권선 코어를 제조하는 경우, 방향성 전자기 강판이 코일 상으로 감겨지는 것에 기인하여 생기는 변형 스트레인을 제거하기 위하여, 응력 제거 어닐링 처리를 실시할 필요가 있다. 비파괴적 자구 제어법에 의해 변형이 부여된 방향성 전자기 강판을 이용하여 권선 코어를 제조하는 경우, 응력 제거 어닐링 처리의 실시에 의해 변형이 소실되므로, 자구 세분화 효과(즉 이상 와전류 손실의 저감 효과)도 소실된다.

[0007] 한편, 파괴적 자구 제어법에 의해 홈이 부여된 방향성 전자기 강판을 이용하여 권선 코어를 제조하는 경우, 응력 제거 어닐링 처리의 실시에 의해 홈이 소실되지 않으므로, 자구 세분화 효과를 유지할 수 있다. 따라서, 권선 코어에 대해서는, 이상 와전류 손실을 저감하기 위한 방법으로서 파괴적 자구 제어법이 일반적으로 채용되고 있다. 또한, 변압기용 적층 코어를 제조하는 경우에는, 권선 코어의 변형 스트레인과 같은 문제가 발생하지 않으므로, 비파괴적 자구 제어법과 파괴적 자구 제어법 중 어느 한쪽을 선택적으로 채용할 수 있다.

[0008] 파괴적 자구 제어법으로서, 전해 에칭에 의해 방향성 전자기 강판의 강판 표면에 홈을 형성하는 전해 에칭법(하기 특허문헌 1 참조)과, 기계적으로 기어를 방향성 전자기 강판의 강판 표면에 프레스함으로써, 강판 표면에 홈을 형성하는 기어 프레스법(하기 특허문헌 2 참조)과, 레이저 조사에 의해 방향성 전자기 강판의 강판 표면에 홈을 형성하는 레이저 조사법(하기 특허문헌 3 참조)이, 일반적으로 알려져 있다.

[0009] 전해 에칭법에서는, 예를 들어 레이저나 기계적 수단에 의해 강판 표면의 절연 피막(혹은 유리 피막)을 선형으로 제거한 후, 강판이 노출된 부분에 전해 에칭을 실시함으로써, 강판 표면에 홈을 형성한다. 이러한 전해 에칭법을 채용하는 경우, 방향성 전자기 강판의 제조 공정이 복잡해지고, 그 결과, 제조 비용이 높아진다는 문제가 있다. 또한, 기어 프레스법에서는, 방향성 전자기 강판의 강판이 약 3질량%의 Si를 포함하는 매우 단단한 강판이기 때문에, 기어의 마모 및 손상이 발생하기 쉽다. 이러한 기어 프레스법을 채용하는 경우, 기어가 마모되면 홈의 깊이에 변동이 발생하기 때문에, 이상 와전류 손실의 저감 효과가 충분히 얻어지지 않게 된다는 문제가 있다.

[0010] 한편, 레이저 조사법을 채용하는 경우, 비교적, 용이하고 또한 안정적으로 강판 표면에 흠을 형성할 수 있으므로, 상기와 같은 전해 에칭법의 문제 및 기어 프레스법의 문제는 발생하지 않는다. 따라서, 최근에는, 방향성 전자기 강판의 자구 제어법으로서, 레이저 조사법이 널리 채용되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 일본 일본 특허 공고 소 62-54873호 공보
- (특허문헌 0002) 일본 일본 특허 공고 소 62-53579호 공보
- (특허문헌 0003) 일본 특허 공개 평 6-57335호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 방향성 전자기 강판의 자구 제어법으로서 레이저 조사법을 채용하는 경우, 강판의 표면에 절연 피막이 형성된 후에, 절연 피막의 상방으로부터 강판의 표면을 향하여 레이저를 조사함으로써, 강판의 표면에 흠을 형성하는 것을 하나의 제조 공정으로서 들 수 있다. 이 경우, 레이저 조사 직후의 흠은 외부에 노출되어 있으므로, 흠에 녹이 발생하는 것을 방지하기 위하여, 흠 형성 후에, 다시, 절연 피막을 강판 상에 형성할 필요가 있다.
- [0013] 흠이 형성된 영역에서의 절연 피막의 두께는, 다른 영역에서의 절연 피막의 두께보다 크므로, 흠이 형성된 영역에서의 강판과 절연 피막의 밀착성은, 다른 영역과 비교하여 나빠진다. 그 결과, 흠 주변의 절연 피막에 크랙 혹은 박리가 발생되기 쉬워진다. 절연 피막에 크랙 혹은 박리가 발생되면, 강판에 녹이 발생하기 쉬워진다.
- [0014] 이와 같이, 방향성 전자기 강판의 자구 제어법으로서 레이저 조사법을 채용하는 경우, 방향성 전자기 강판의 내청성이 저하된다는 문제가 있다. 예를 들어, 녹이 발생하면 그 주변의 피막이 박리하고, 층간 전류가 현저하게 흐른 경우에는 철손이 증대할 가능성이 있다. 또한 만일, 녹슬음에 의해 강판이 침식된 경우는 비자성부가 확산되고, 최적의 자구 세분화 조건이 유지되지 않을 수도 있다.
- [0015] 또한, 강판의 표면에 절연 피막이 형성되기 전에, 레이저 조사에 의해 강판의 표면에 흠을 형성하고, 그 후에 강판의 표면에 절연 피막을 형성한다는 제조 공정을 채용하는 경우에 있어서도, 상기의 문제는 발생한다.
- [0016] 본 발명은 상기 과제를 감안하여 이루어진 것으로, 자구 세분화를 위하여 강판의 표면에 흠이 형성된 방향성 전자기 강판의 내청성을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명의 요지는 이하 대로이다.
- [0018] (1) 본 발명의 일 형태에 관한 방향성 전자기 강판은, 압연 방향과 교차하는 방향으로 연장되고 또한 흠 깊이 방향이 판 두께 방향이 되는 흠이 형성된 강판 표면을 갖는 강판을 구비하고, 흠 연장 방향 및 상기 판 두께 방향을 포함하는 흠 긴 쪽 단면에서 상기 흠을 본 경우에, 상기 흠의 흠 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가, 1 μ m 이상 3 μ m 이하이고, 상기 흠 바닥 영역의 상기 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이, 10 μ m 이상 150 μ m 이하이다. 이 방향성 전자기 강판이 절연 피막을 더 구비하고, 상기 흠 연장 방향에 직교하는 흠 짧은 쪽 단면에서 상기 흠을 본 경우에, 상기 흠과 상기 강판 표면의 경계를 기점으로 하여, 상기 흠 짧은 쪽 단면에서 상기 판 두께 방향과 직교하고 또한 상기 흠으로부터 멀어지는 방향으로 10 μ m 이상 500 μ m 이하인 영역을 입자 존재 영역이라고 정의했을 때, 상기 입자 존재 영역에서의 상기 절연 피막은, 원 상당 직경이 0.1 μ m 이상 2 μ m 이하인 철 함유 입자를 포함하고, 상기 입자 존재 영역의 면적에 대한 상기 철 함유 입자의 면적 비율이 0.1% 이상 30% 미만이고, 상기 철 함유 입자의 화학 성분이, 80 내지 100질량%의 Fe와, 0 내지 10질량%의 Si와, 0 내지 10질량%의 Mg를 포함한다.
- [0019] (2) 상기 (1)에 기재된 방향성 전자기 강판이, 상기 강판과 상기 절연 피막 사이에 유리 피막을 더 구비하고 있어도 된다. 이 경우, 상기 유리 피막 및 상기 절연 피막에 포함되는 질량 분율로의 평균 Mg 함유량과 비교하여, Mg 함유량이 평균으로 1.3배 이상을 만족시키는 상기 유리 피막 및 상기 절연 피막 중의 영역을 Mg

농화 영역이라고 정의했을 때, 상기 홈 연장 방향에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 홈을 본 경우에, 상기 Mg 농화 영역이, 상기 홈과 상기 강판 표면의 경계를 기점으로 하여, 상기 홈 짧은 쪽 단면에서 상기 판 두께 방향과 직교하고 또한 상기 홈으로부터 멀어지는 방향으로 0.1 μ m 이상 10 μ m 이하인 영역에 포함되어 있어도 된다. 또한, 상기 판 두께 방향에서 상기 홈을 본 경우에, 상기 Mg 농화 영역이 상기 홈 연장 방향을 따라 연속적으로 존재하거나 또는 복수의 상기 Mg 농화 영역이 상기 홈 연장 방향을 따라 간격을 갖고 존재하고, 상기 홈 연장 방향을 따라 서로 인접하는 상기 Mg 농화 영역 사이의 거리가, 0 초과 100 μ m 이하여도 된다.

[0020] (3) 상기 (2)에 기재된 방향성 전자기 강판에 있어서, 상기 홈 상에 평균 두께가 0 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 유리 피막과, 평균 두께가 1 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 절연 피막이 형성되어 있고, 상기 강판 상에 평균 두께가 0.5 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 유리 피막과, 평균 두께가 1 μ m 이상 5 μ m 이하인 상기 절연 피막이 형성되어 있고, 상기 홈 상에 형성된 상기 유리 피막의 상기 평균 두께가, 상기 강판 상에 형성된 상기 유리 피막의 상기 평균 두께보다도 얇아도 된다.

[0021] (4) 상기 (1) 내지 (3) 중 어느 하나에 기재된 방향성 전자기 강판에 있어서, 상기 강판에서는 상기 홈에 접하는 결정립의 입경이 5 μ m 이상이어도 된다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 상기 양태에 따르면, 자구 세분화를 위하여 강판의 표면에 홈이 형성된 방향성 전자기 강판의 내청성을 향상시키는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강판(1)의 평면도.
- 도 2는 도 1의 A-A선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도(홈 연장 방향을 포함하는 단면에서 홈(5)을 본 도면).
- 도 3은 도 1의 B-B선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도(홈 연장 방향에 직교하는 단면에서 홈(5)을 본 도면).
- 도 4는 홈(5)의 홈 기준선 BL의 정의에 관한 제1 설명도.
- 도 5a는 홈(5)의 홈 기준선 BL의 정의에 관한 제2 설명도.
- 도 5b는 홈(5)의 홈 기준선 BL의 정의에 관한 제3 설명도.
- 도 6은 홈(5)의 홈 기준선 BL의 정의에 관한 제4 설명도.
- 도 7은 도 6의 C-C선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이며 또한 홈(5)의 홈 바닥 영역(5a)의 정의에 관한 설명도.
- 도 8은 홈 바닥 영역(5a)의 윤곽을 이루는 조도 곡선 RC를 나타내는 모식도.
- 도 9는 도 6의 E-E선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이며 또한 홈 영역(5b), 강판 영역(2b), 입자 존재 영역 W1 및 Mg 농화 영역 W2의 정의에 관한 설명도.
- 도 10은 판 두께 방향 Z로부터 홈(5)을 보았을 때의 Mg 농화 영역 W2를 나타내는 모식도.
- 도 11은 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정을 나타내는 흐름도.
- 도 12는 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정에 있어서의 레이저 조사 공정 S08에 관한 제1 설명도.
- 도 13a는 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정에 있어서의 레이저 조사 공정 S08에 관한 제2 설명도.
- 도 13b는 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정에 있어서의 레이저 조사 공정 S08에 관한 제3 설명도.
- 도 14는 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정에 있어서의 레이저 조사 공정 S08에 관한 제4 설명도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대해 상세하게 설명한다. 단, 본 발명은 본 실시 형태에 개시된 구성에만 한정되지 않고, 본 발명의 취지를 이탈하지 않은 범위에서 다양한 변경이 가능하다. 또한, 하기의 수치 한

정 범위에는, 하한값 및 상한값이 그의 범위에 포함된다.

- [0025] 단, 하한값에 「초과」라고 나타내는 수치 한정 범위에는 하한값이 포함되지 않고, 상한값에 「미만」이라고 나타내는 수치 한정 범위에는 상한값이 포함되지 않는다.
- [0026] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 대해 도면을 참조하면서 상세하게 설명한다.
- [0027] 도 1은, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강관(1)의 평면도이다. 도 2는, 도 1의 A-A선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이다. 도 3은, 도 1의 B-B선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이다. 또한, 도 1 내지 도 3에 있어서, 방향성 전자기 강관(1)의 압연 방향을 X, 방향성 전자기 강관(1)의 관 폭 방향(동일 평면 내에서 압연 방향에 직교하는 방향)을 Y, 방향성 전자기 강관(1)의 관 두께 방향(XY 평면에 직교하는 방향)을 Z라 정의한다.
- [0028] 도 1 내지 3에 도시된 바와 같이, 방향성 전자기 강관(1)은, 냉간 압연 처리와 어닐링 처리의 조합에 의해, 결정립의 자화 용이축과 압연 방향 X가 일치하도록 결정 방위가 제어된 강관(지철)(2)과, 강관(2)의 표면(강관 표면(2a))에 형성된 유리 피막(3)과, 유리 피막(3)의 표면에 형성된 절연 피막(4)을 구비하고 있다.
- [0029] 도 1에 도시된 바와 같이, 강관 표면(2a)에는, 자구 세분화를 위하여, 압연 방향 X에 교차하는 방향으로 연장되고 또한 홈 깊이 방향이 관 두께 방향 Z와 일치하는 복수의 홈(5)이, 압연 방향 X를 따라 소정 간격으로 형성되어 있다. 즉, 도 2는, 하나의 홈(5)을, 홈 연장 방향 및 관 두께 방향 Z를 포함하는 단면에서 본 도면이다. 도 3은, 하나의 홈(5)을, 홈 연장 방향에 직교하는 단면에서 본 도면이다. 또한, 홈(5)은, 압연 방향 X와 교차하도록 형성되어 있으면 되고, 반드시, 홈 연장 방향과 압연 방향 X가 직교하고 있을 필요는 없다. 단, 본 실시 형태에서는, 설명의 편의상, 홈 연장 방향과 압연 방향 X가 직교하고 있는 경우를 예시한다. 또한, 홈(5)은, 관 두께 방향 Z에서 본 경우(홈(5)을 평면에서 본 경우)에, 공상의 형상을 가져도 된다. 단, 본 실시 형태에서는, 설명의 편의상, 직선 형상을 갖는 홈(5)을 예시한다.
- [0030] 강관(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 불순물로 이루어진다.
- [0031] 상기 강관(2)의 화학 성분은, 결정 방위를 {110} <001> 방위에 집적시킨 Goss 집합 조직으로 제어하기에 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 강관(2)은, 상기 기본 원소 및 선택 원소의 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어져도 된다. 또한, 불순물이란, 강관(2)을 산업적으로 제조할 때에, 원료로서의 광석, 스크랩 또는 제조 환경 등으로부터 불가피하게 혼입하는 원소를 의미한다.
- [0032] 또한, 전자기 강관으로는 2차 재결정 시에 순화 어닐링을 거치는 것이 일반적이다. 순화 어닐링에 있어서는 역제체 형성 원소의 계외로의 배출이 일어난다. 특히 N, S에 대해서는 농도의 저하가 현저해서, 50ppm 이하가 된다. 통상의 순화 어닐링 조건이면, 9ppm 이하, 또한 6ppm 이하, 순화 어닐링을 충분히 행하면, 일반적인 분석에서는 검출할 수 없는 정도(1ppm 이하)까지 도달한다.
- [0033] 상기 강관(2)의 화학 성분은, 강의 일반적인 분석 방법에 의해 측정하면 된다. 예를 들어, 강관(2)의 화학 성분은, ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 사용하여 측정하면 된다. 구체적으로는, 피막 제거 후의 강관(2)의 중앙 위치에서 한 변이 35mm인 정사각형의 시험편을, 시마즈 세이사쿠쇼제 ICPS-8100 등(측정 장치)에 의해, 미리 제작된 검량선에 따른 조건으로 측정함으로써 특정할 수 있다. 또한, C 및 S는 연소-적외선 흡수법을 사용하고, N은 불활성 가스 용해-열전도법을 사용하여 측정하면 된다.
- [0034] 유리 피막(3)은, 예를 들어 포르스테라이트(Mg₂SiO₄), 스피넬(MgAl₂O₄) 또는 근정석(Mg₂Al₄Si₅O₁₆) 등의 복합 산화물에 의해 구성되어 있다. 자세한 것은 후술하겠지만, 유리 피막(3)은, 방향성 전자기 강관(1)의 제조 공정의 하나인 마무리 어닐링 공정에 있어서, 강관(2)에 시징이 발생하는 것을 방지하기 위하여 형성된 피막이다. 따라서, 유리 피막(3)은, 방향성 전자기 강관(1)의 구성 요소로서 필수 요소는 아니다.
- [0035] 절연 피막(4)은, 예를 들어 콜로이달 실리카 및 인산염을 함유하고, 전기적 절연성뿐만 아니라, 장력, 내식성 및 내열성 등을 강관(2)에 부여하는 역할을 담당하고 있다.

- [0036] 또한, 방향성 전자기 강판(1)의 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)은, 예를 들어 다음의 방법에 의해 제거할 수 있다. 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)을 갖는 방향성 전자기 강판(1)을, NaOH: 10질량% +H₂O: 90질량%의 수산화나트륨 수용액에, 80℃에서 15분간, 침지한다. 계속해서, H₂SO₄: 10질량% +H₂O: 90질량%의 황산 수용액에, 80℃에서 3분간, 침지한다. 그 후, HNO₃: 10질량% +H₂O: 90질량%의 질산 수용액에 의해, 상온에서 1분간 보다 약간 짧게, 침지하여 세정한다. 마지막으로, 온풍의 블로어에서 1분간 보다 약간 짧게 건조시킨다. 또한, 상기의 방법에 의해 방향성 전자기 강판(1)으로부터 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)을 제거한 경우, 강판(2)의 홈(5)의 형상이나 조도는, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)을 형성하기 전과 동등한 것이 확인되어 있다.
- [0037] 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강판(1)은, 내청성을 향상시키기 위한 특징적인 구성으로서, 이하의 3개의 구성 A, B, C 및 D를 갖고 있다.
- [0038] (A) 홈(5)의 홈 바닥 영역의 표면 조도를 나타내는 표면 조도 파라미터(Ra, RSm)의 값이 소정 범위 이내이다.
- [0039] (B) 절연 피막(4)이 철 함유 입자를 포함하고 있는 것이 바람직하다.
- [0040] (C) 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)에는, 홈(5)에 인접하는 위치에 Mg 농화 영역이 홈 연장 방향을 따라 존재하는 것이 바람직하다.
- [0041] (D) 강판(2)에서는 홈(5)에 접하는 결정립의 입경이 5 μ m 이상인 것이 바람직하다.
- [0042] 이하, 상기 구성 A, B, C 및 D 각각에 대해 상세하게 설명한다.
- [0043] [구성 A에 대해서]
- [0044] 본 실시 형태에서는, 도 2에 도시된 바와 같이, 홈 연장 방향(본 실시 형태에서는 판 폭 방향 Y에 평행한 방향) 및 판 두께 방향 Z를 포함하는 단면(홈 긴 쪽 단면)에서 홈(5)을 본 경우에, 홈(5)의 홈 바닥 영역(5a)의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가, 1 μ m 이상 3 μ m 이하이고, 바람직하게는 1.2 μ m 이상 2.5 μ m 이하, 더 바람직하게는 1.3 μ m 이상 2.3 μ m 이하이고, 상기 홈 바닥 영역(5a)의 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이, 10 μ m 이상 150 μ m 이하이고, 바람직하게는 40 μ m 이상 145 μ m 이하, 더 바람직하게는 60 μ m 이상 140 μ m 이하이다.
- [0045] 표면 조도 파라미터(Ra, RSm)가 상기 범위를 만족시킴으로써, 홈 바닥 영역(5a)이 일정 정도의 조면이 되므로, 앵커 효과에 의해 강판(2)과 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)의 밀착성이 향상된다. 그로 인하여, 홈(5)의 주변 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)에 크랙 혹은 박리가 발생되기 어려워진다. 그 결과, 자구 세분화를 위하여 강판(2)의 표면에 홈(5)이 형성된 방향성 전자기 강판(1)의 내청성이 향상된다.
- [0046] 그런데, 도 3에 도시된 바와 같이, 홈(5)의 폭 방향에 있어서, 홈(5)의 깊이는 반드시 일정하지 않다. 그래서, 홈 긴 쪽 단면에서 홈(5)을 본 경우의 홈 바닥 영역(5a)을 명확하게 할 필요가 있다. 이하에서는, 홈 긴 쪽 단면에서 홈(5)을 본 경우의 홈 바닥 영역(5a)의 특정 방법의 일례에 대해 설명한다.
- [0047] 도 4에 도시된 바와 같이, 판 두께 방향 Z로부터 홈(5)을 본 경우(홈(5)을 평면에서 본 경우)에, 관찰 범위(50)를 홈(5)의 일부로 설정함과 함께, 홈 연장 방향을 따라 복수(n개)의 가상선 L1 내지 Ln을 관찰 범위(50) 내에 가상적으로 설정한다. 관찰 범위(50)는, 홈(5)의 연장 방향에 있어서의 단부를 제외한 영역(즉, 홈 바닥의 형상이 안정적인 영역)으로 설정하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 관찰 범위(50)는, 홈 연장 방향의 길이가 300 μ m 정도가 되는 관찰 영역으로 하면 된다. 다음에, 레이저식 표면 조도 측정기 등을 사용하여, 홈(5)의 표면 조도를 가상선 L1에 따라 측정하면, 도 5a에 도시된 바와 같이, 홈(5)의 홈 연장 방향의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선 MCL1이 가상선 L1을 따른 형태로 얻어진다.
- [0048] 상기한 바와 같이 가상선 L1에 대해 얻어진 측정 단면 곡선 MCL1에 저역 필터(컷오프값 λ_s)를 적용하여 단면 곡선을 얻은 후, 그 단면 곡선에 대역 필터(컷오프값 λ_f , λ_c)를 적용하여, 단면 곡선에서 장 파장 성분과 단 파장 성분을 제거하면, 도 5b에 도시된 바와 같이, 홈(5)의 홈 연장 방향의 윤곽을 이루는 굴곡 곡선 LWC1이 가상선 L1을 따른 형태로 얻어진다. 굴곡 곡선은, 후술하는 조도 곡선과 함께 윤곽 곡선의 일종이지만, 조도 곡선이 특히 윤곽의 표면 조도를 고정밀도로 나타내는 데에 적합한 윤곽 곡선인 반면, 굴곡 곡선은 윤곽의 형상 그 자체를 매끄러운 선으로 단순화하기에 적합한 윤곽 곡선이다.
- [0049] 도 5b에 도시된 바와 같이, 굴곡 곡선 LWC1을 이용하면, 가상선 L1을 따른 복수(m개) 위치의 각각에서, 강판 표면(2a)과 홈(5)의 윤곽(즉 굴곡 곡선 LWC1) 사이의 판 두께 방향 Z의 거리(깊이 d1 내지 dm: 단위는 μ m)가 얻어

진다. 또한, 이들 깊이 d_1 내지 d_m 의 평균값(흠 평균 깊이 D_1)이 얻어진다. 동일한 측정 방법에 의해, 다른 가상선 L_2 내지 L_n 의 각각에 대해서도, 흠 평균 깊이 D_2 내지 D_n 이 얻어진다.

[0050] 또한, 강판 표면(2a)과 흠(5)의 윤곽(굴곡 곡선 LWC1) 사이의 거리를 측정하기 위해서는, Z 방향에서의 강판 표면(2a)의 위치(높이)를 미리 측정해 둘 필요가 있다. 예를 들어, 관찰 범위(50) 내의 강판 표면(2a)에 있어서의 복수 개소의 각각에 대해, 레이저식 표면 조도 측정기를 이용하여 Z 방향의 위치(높이)를 측정하고, 그것들의 측정 결과의 평균값을 강판 표면(2a)의 높이로서 이용해도 된다.

[0051] 본 실시 형태에서는, 상기 가상선 L_1 내지 L_n 중 흠 연장 방향을 따라 또한 흠 평균 깊이가 최대가 된다는 조건을 만족시키는 가상선을 흠 기준선 BL로 선택한다. 그 흠 기준선 BL의 흠 평균 깊이를 흠(5)의 흠 깊이 D (단위는 μm)라 정의한다. 예를 들어, 도 6에 도시된 바와 같이, 가상선 L_1 내지 L_n 의 각각에 대해 얻어진 흠 평균 깊이 D_1 내지 D_n 중 흠 평균 깊이 D_3 이 최대인 경우, 가상선 L_3 이 흠 기준선 BL이라고 정의되어, 가상선 L_3 의 흠 평균 깊이 D_3 이 흠(5)의 흠 깊이 D 로 정의된다. 본 실시 형태에서의 흠(5)의 흠 깊이 D 는, 자구 세분화의 효과를 바람직하게 얻기 위해서는, $5\mu\text{m}$ 이상 $40\mu\text{m}$ 이하인 것이 바람직하다.

[0052] 또한, 자구 세분화의 효과를 바람직하게 얻기 위해서는, 본 실시 형태에서의 흠(5)의 흠 폭 W 가 $10\mu\text{m}$ 내지 $250\mu\text{m}$ 인 것이 바람직하다. 이 흠 폭 W 는, 흠 연장 방향에 직교하는 흠 짧은 쪽 단면에서의 흠(5)의 굴곡 곡선 상에서, 강판 표면(2a)으로부터 판 두께 방향 Z로 흠(5)의 표면을 향하는 깊이가, 흠(5)의 흠 깊이 D 에 대해 $0.05 \times D$ 가 되는 2개의 점을 연결하는 선분의 길이(흠 개구부)로서 구하면 된다(도 9 참조).

[0053] 도 7은, 도 6의 C-C선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이다. 즉, 도 7은, 상기 흠 기준선 BL 및 판 두께 방향 Z를 포함하는 흠 긴 쪽 단면에서 흠(5)을 본 도면이다. 본 실시 형태에서는, 도 7에 도시된 바와 같이, 흠 기준선 BL 및 판 두께 방향 Z를 포함하는 흠 긴 쪽 단면에서 흠(5)을 본 경우에, 관찰 범위(50)에 나타나는 흠(5)의 윤곽을 흠 바닥 영역(5a)이라 정의한다.

[0054] 이상과 같은 방법에 의해 흠(5)의 흠 바닥 영역(5a)이 특정된다. 즉, 본 실시 형태에서는, 도 8에 도시된 바와 같이, 흠 기준선 BL 및 판 두께 방향 Z를 포함하는 흠 긴 쪽 단면에 나타나는 흠(5)의 흠 바닥 영역(5a)의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선을 변환하여 얻어진 조도 곡선 RC의 산술 평균 높이 R_a 가, $1\mu\text{m}$ 이상 $3\mu\text{m}$ 이하이고, 바람직하게는 $1.2\mu\text{m}$ 이상 $2.5\mu\text{m}$ 이하, 더 바람직하게는 $1.3\mu\text{m}$ 이상 $2.3\mu\text{m}$ 이하이고, 상기 흠 바닥 영역(5a)의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선을 변환하여 얻어진 조도 곡선 요소의 평균 길이 R_{Sm} 이, $10\mu\text{m}$ 이상 $150\mu\text{m}$ 이하이고, 바람직하게는 $40\mu\text{m}$ 이상 $145\mu\text{m}$ 이하, 더 바람직하게는 $60\mu\text{m}$ 이상 $140\mu\text{m}$ 이하이다. 조도 곡선 RC는, 흠 기준선 BL에 대해 얻어진 측정 단면 곡선에 컷오프값 λ_s 의 저역 필터를 적용하여 단면 곡선을 얻은 후, 그 단면 곡선에 고역 필터(컷오프값 λ_c)를 적용하고, 단면 곡선으로부터 장 파장 성분을 제외함으로써 얻어진다. 조도 곡선 RC의 산술 평균 높이 R_a 및 조도 곡선 요소의 평균 길이 R_{Sm} 의 정의는, 일본 공업 규격 JIS B0601(2013)에 준한다.

[0055] [구성 B에 대해서]

[0056] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 실시 형태에서는, 흠 연장 방향에 직교하는 흠 짧은 쪽 단면에서 흠(5)을 본 경우에, 흠(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G를 기점으로 하여, 흠 짧은 쪽 단면에서 판 두께 방향 Z와 직교하고 또한 흠(5)으로부터 멀어지는 방향으로 $10\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 이하인 길이로 연장되는 영역을 입자 존재 영역 W_1 이라고 정의한다.

[0057] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 실시 형태에서는, 입자 존재 영역 W_1 에 있어서의 절연 피막(4)은, 원 상당 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 이상 $2\mu\text{m}$ 이하인 철 함유 입자(6)를 포함하고 있다. 입자 존재 영역 W_1 의 면적에 대한 철 함유 입자(6)의 면적 비율은 0.1% 이상 30% 미만이다. 여기서, 철 함유 입자(6)의 면적이란, 절연 피막(4)의 입자 존재 영역 W_1 중에 복수 존재하는 철 함유 입자(6)의 면적(입자의 표면적)의 합계값(총 면적)이다. 입자 존재 영역 W_1 의 면적에 대한 철 함유 입자(6)의 면적 비율이 0.1% 이상인 경우에는, 절연 피막(4)의 강도가 증가되고, 크랙에 의한 절연 피막(4)의 균열이 감소되고, 그 결과, 방향성 전자기 강판(1)의 내청성이 향상된다. 그로 인하여, 입자 존재 영역 W_1 의 면적에 대한 철 함유 입자(6)의 면적 비율은 0.1% 이상인 것이 바람직하다. 한편, 입자 존재 영역 W_1 의 면적에 대한 철 함유 입자(6)의 면적 비율이 30%를 초과하는 경우, 철에 의한 도전성이 증가하고, 층간 저항이 낮아짐으로써 단락 전류가 흘러, 방향성 전자기 강판(1)의 와전류 손실이 커진다. 그로 인하여, 입자 존재 영역 W_1 의 면적에 대한 철 함유 입자(6)의 면적 비율은 30% 미만이 바람직하다. 철 함유 입자(6)는, 질량 비율로 80% 이상 100% 이하의 철을 함유한다. 철 함유 입자(6)는, 질량 비율로, 0% 이상 10% 이하의 Si와, 0% 이상 10% 이하의 Mg를 더 함유하고 있어도 된다.

- [0058] 입자 존재 영역 W1의 폭이 상기 범위를 만족시키고, 또한 철 함유 입자(6)의 원 상당 직경 및 면적이 상기 범위를 만족시킴으로써, 입자 존재 영역 W1에 있어서의 절연 피막(4)의 강도가 향상되므로, 홈(5)의 주변 절연 피막(4)에 크랙 혹은 박리가 발생하기 어려워진다. 그 결과, 자구 세분화를 위하여 강판(2)의 표면에 홈(5)이 형성된 방향성 전자기 강판(1)의 내청성이 더 향상된다.
- [0059] 그런데, 홈(5)의 홈 짧은 쪽 단면을 전자 현미경 등으로 관찰하는 경우, 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G가 불명료한 경우가 있다. 그래서, 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G를 명확하게 할 필요가 있다. 이하에서는, 홈 짧은 쪽 단면에서 홈(5)을 본 경우에 있어서의 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G의 특정 방법의 일례에 대해 설명한다.
- [0060] 도 9는, 도 6의 E-E선에 있어서의 화살표 방향으로 본 단면도이다. 즉, 도 9는, 홈 연장 방향에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면에서 홈(5)을 본 도면이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 홈 짧은 쪽 단면에서 홈(5)을 본 경우에, 홈 짧은 쪽 단면에 나타나는 홈(5)의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선을 굴곡 곡선으로 변환한 것을 홈 짧은 쪽 굴곡 곡선 SWC라 정의한다. 도 9에 도시된 바와 같이, XY 평면 내에서 홈 기준선 BL에 직교하는 가상선 Ls를 가상적으로 설정하고, 레이저식 표면 조도 측정기 등을 사용하여, 홈(5)을 포함하는 강판(2)의 표면 조도를 가상선 Ls를 따라 측정하면, 홈 짧은 쪽 단면에 있어서의 홈(5)의 윤곽을 이루는 측정 단면 곡선이 가상선 Ls를 따른 형태로 얻어진다.
- [0061] 홈 짧은 쪽 단면에 드러나는 홈 짧은 쪽 굴곡 곡선 SWC는, 상기한 바와 같이 가상선 Ls에 대해 얻어진 측정 단면 곡선에 저역 필터(컷오프값 λ_s)를 적용하여 단면 곡선을 얻은 후, 그 단면 곡선에 대역 필터(컷오프값 λ_f , λ_c)를 적용하고, 단면 곡선으로부터 장 파장 성분과 단 파장 성분을 제외함으로써 얻어진다.
- [0062] 도 9에 도시된 바와 같이, 홈 짧은 쪽 단면에 나타나는 홈(5)의 윤곽을 이루는 홈 짧은 쪽 굴곡 곡선 SWC를 사용하면, 가상선 Ls를 따른 복수(p개)의 위치의 각각에서, 강판 표면(2a)과 홈(5)의 윤곽(즉 홈 짧은 쪽 굴곡 곡선 SWC) 사이의 판 두께 방향 Z의 거리(깊이 f1 내지 fp: 단위는 μm)가 얻어진다. 본 실시 형태에서는, 도 9에 도시된 바와 같이, 홈 짧은 쪽 굴곡 곡선 SWC에 있어서, 하기 조건식 (2)를 만족시키는 영역을 홈 영역(5b)이라 정의하고, 홈 영역(5b) 이외의 영역을 강판 영역(2b)이라 정의한다. 홈 영역(5b)과 강판 영역(2b)의 경계가, 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G로서 특정된다. 또한, 홈 영역(5b)의 폭이, 홈 폭 W에 상당한다.

$$f_i \geq 0.05 \times D \dots (2)$$

- [0063] .
- [0064] (단, i는, 1 내지 p의 정수)
- [0065] [구성 C에 대해서]
- [0066] 본 실시 형태에서는, 유리 피막(3) 및 절연 피막(4) 중 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)에 포함되는 질량 분율로의 평균 Mg 함유량과 비교하여, Mg 함유량이 평균으로 1.3배 이상을 만족시키는 영역을 Mg 농화 영역 W2라고 정의한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 실시 형태에서는, 홈 연장 방향에 직교하는 홈 짧은 쪽 단면에서 홈(5)을 본 경우에, 상기 Mg 농화 영역 W2가, 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G를 기점으로 하여, 홈 짧은 쪽 단면에서 판 두께 방향 Z와 직교하고 또한 홈(5)으로부터 멀어지는 방향으로 0.1 μm 이상 10 μm 이하인 영역에 포함되어 있다.
- [0067] 즉, 도 3에 도시되는 Mg 농화 영역 W2에 있어서의 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)의 질량 분율로의 평균 Mg 함유량이, 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)에 포함되는 질량 분율로의 평균 Mg 함유량과 비교하여 1.3배 이상이다. 또한, 상술한 바와 같이, 홈 영역(5b)와 강판 영역(2b)의 경계가, 홈(5)과 강판 표면(2a)의 경계 G로서 특정된다(도 9 참조).
- [0068] 또한, 도 10에 도시된 바와 같이, 판 두께 방향 Z로부터 홈(5)을 본 경우(홈(5)을 평면에서 본 경우), 상기 Mg 농화 영역 W2는, 홈 연장 방향을 따라 복수 존재하고 있다. 이 경우, 홈 연장 방향을 따라 서로 인접하는 Mg 농화 영역 W2 사이의 거리 dw는, 0 초과 100 μm 이하이다. 또는 홈 연장 방향을 따라 Mg 농화 영역 W2가 연속적으로 존재하고 있어도 된다. 또한, Mg 함유량은, EPMA(Electron Probe Micro Analyser) 등을 사용하여 측정할 수 있다.
- [0069] Mg 농화 영역 W2의 폭이 상기 범위에 포함되고, 서로 인접하는 Mg 농화 영역 W2 사이의 거리 dw가 상기 범위에 포함됨으로써, 절연 피막(4)과 강판(2)의 표면이 강고하게 접촉되므로, 홈(5)의 주변 절연 피막(4)에 크랙 혹은

박리가 발생하기 어려워진다. 그 결과, 자구 세분화를 위하여 강판(2)의 표면에 홈(5)이 형성된 방향성 전자기 강판(1)의 내청성이 더 향상된다.

[0070] [구성 D에 대해서]

[0071] 본 실시 형태에서는, 강판(2)에 있어서, 홈(5)에 접하는 결정립의 입경이 평균으로 $5\mu\text{m}$ 이상인 것이 바람직하다. 홈(5)의 주변에, 홈(5)의 형성에서 유래하는 용융 응고 영역이 존재하는 경우, 홈(5)에 접하는 결정립의 입경은 미세하게 된다. 이 경우, 최종적으로 결정 방위가 {110} <001> 방위로부터 이탈할 가능성이 높아져, 바람직한 자기 특성이 얻지 못할 가능성이 높아진다. 그래서, 홈(5)의 주변에는, 용융 응고 영역이 존재하지 않는 것이 바람직하다. 홈(5)의 주변에 용융 응고 영역이 존재하지 않는 경우에는, 홈(5)에 접하는 결정립(2차 재결정립)의 입경이 평균으로 $5\mu\text{m}$ 이상이 된다. 또한, 홈(5)에 접하는 결정립의 입경 상한은 특별히 한정되지 않지만, 이 상한을 $100 \times 10^3 \mu\text{m}$ 이하로 해도 된다. 또한, 결정립의 입경은, 원 상당 직경을 의미한다. 결정립의 입경은, 예를 들어 ASTM E112 등의 일반적인 결정 입경 측정법에 의해 구하면 되며 또는 EBSD(Electron Back Scattering Diffraction Pattern)법에 의해 구해도 된다. 또한, 홈(5)에 접하는 결정립은, 상기 홈 짧은 쪽 단면 또는 판 두께 방향 Z에 수직인 단면에서 관찰하면 된다.

[0072] 상기 용융 응고 영역을 갖지 않는 홈(5)은, 예를 들어 후술하는 제조 방법에 의해 얻는 것이 가능하다.

[0073] 이상과 같이, 본 실시 형태에 따르면, 자구 세분화를 위하여 강판 표면(2a)에 홈(5)이 형성된 방향성 전자기 강판(1)의 내청성을 큰 폭으로 향상시키는 것이 가능하다.

[0074] 또한, 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 실시 형태에서는, 홈(5)(홈 영역(5b))에 유리 피막(3)이 존재하지 않는 상태(즉 유리 피막(3)의 평균 두께가 $0\mu\text{m}$ 의 상태)를 예시하고 있지만, 홈(5)에는, 평균 두께가 $0\mu\text{m}$ 초과 $5\mu\text{m}$ 이하인 유리 피막(3)과, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하인 절연 피막(4)이 배치되어 있어도 된다. 또한, 강판 표면(2a)(강판 영역(2b))에는, 평균 두께가 $0.5\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하인 유리 피막(3)과, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하인 절연 피막(4)이 배치되어 있어도 된다. 또한, 홈(5)에 있어서의 유리 피막(3)의 평균 두께가, 강판 표면(2a)에 있어서의 유리 피막(3)의 평균 두께보다도 얇아도 된다.

[0075] 상기한 바와 같이 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)의 두께를 설정함으로써, 홈(5)의 주변 절연 피막(4)에 크랙 혹은 박리가 더 발생하기 어려워지므로, 방향성 전자기 강판(1)의 내청성이 더 향상된다. 또한, 홈(5)에 유리 피막(3)이 존재하지 않는 구성(즉 홈(5)에 있어서의 유리 피막(3)의 평균 두께가 $0\mu\text{m}$ 인 구성)을 채용함으로써, 서로 대향하는 홈의 벽면 거리(홈 폭)를 더 좁게 하는 것이 가능하므로, 홈(5)에 의한 자구 세분화 효과(즉 이상 와전류 손실의 저감 효과)를 더 향상시킬 수 있다.

[0076] 또한, 상기 실시 형태에서는, 유리 피막(3)을 구비하는 방향성 전자기 강판(1)을 예시했지만, 상기한 바와 같이 유리 피막(3)이 필수 구성 요소는 아니므로, 강판(2)과 절연 피막(4)만으로 구성된 방향성 전자기 강판에 대해서도, 본 발명을 적용함으로써, 내청성 향상 효과를 얻을 수 있다. 강판(2)과 절연 피막(4)만으로 구성된 방향성 전자기 강판으로는, 홈(5)(홈 영역(5b))에, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하인 절연 피막(4)이 배치되고, 강판 표면(2a)(강판 영역(2b))에, 평균 두께가 $1\mu\text{m}$ 이상 $5\mu\text{m}$ 이하인 절연 피막(4)이 배치되어 있어도 된다.

[0077] 다음에, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강판(1)의 제조 방법에 대해 설명한다.

[0078] 도 11은, 방향성 전자기 강판(1)의 제조 공정을 나타내는 흐름도이다. 도 11에 도시된 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 공급되어서, 슬래브가 연속적으로 제조된다.

[0079] 계속해서, 열간 압연 공정 S02에서는, 주조 공정 S01로부터 얻어진 슬래브가 소정의 온도(예를 들어 1150 내지 1400°C)로 가열된 후, 그 슬래브에 대해 열간 압연이 실시된다. 이에 의해, 예를 들어 1.8 내지 3.5mm의 두께를 갖는 열연 강판이 얻어진다.

[0080] 계속해서, 어닐링 공정 S03에서는, 열간 압연 공정 S02로부터 얻어진 열연 강판에 대해, 소정의 온도 조건(예를 들어 750 내지 1200°C 에서 30초 내지 10분간 가열하는 조건)하에서 어닐링 처리가 실시된다. 계속해서, 냉간 압연 공정 S04에서는, 어닐링 공정 S03에서 어닐링 처리가 실시된 열연 강판의 표면에 산세 처리가 실시된 후, 열연 강판에 대해 냉간 압연이 실시된다. 이에 의해, 예를 들어 0.15 내지 0.35mm의 두께를 갖는 냉연 강판이

얻어진다.

- [0081] 계속해서, 탈탄 어닐링 공정 S05에서는, 냉간 압연 공정 S04로부터 얻어진 냉연 강관에 대해, 소정의 온도 조건(예를 들어 700 내지 900℃에서 1 내지 3분간 가열하는 조건)하에서 열처리(즉, 탈탄 어닐링 처리)가 실시된다. 이러한 탈탄 어닐링 처리가 실시되면, 냉연 강관에 있어서, 탄소가 소정량 이하로 저감되어, 1차 재결정 조직이 형성된다. 또한, 탈탄 어닐링 공정 S05에서는, 냉연 강관의 표면에, 실리카(SiO₂)를 주성분으로 함유하는 산화물층이 형성된다.
- [0082] 계속해서, 어닐링 분리제 도포 공정 S06에서는, 마그네시아(MgO)를 주성분으로 함유하는 어닐링 분리제가, 냉연 강관의 표면(산화물층의 표면)에 도포된다. 계속해서, 마무리 어닐링 공정 S07에서는, 어닐링 분리제가 도포된 냉연 강관에 대해, 소정의 온도 조건(예를 들어 1100 내지 1300℃에서 20 내지 24시간 가열하는 조건)하에서 열처리(즉, 마무리 어닐링 처리)가 실시된다. 이러한 마무리 어닐링 처리가 실시되면, 2차 재결정이 냉연 강관에 발생함과 함께, 냉연 강관이 순화된다. 그 결과, 상술한 강관(2)의 화학 조성을 갖고, 결정립의 자화 용이축과 압연 방향 X가 일치하도록 결정 방위가 제어된 냉연 강관(즉 방향성 전자기 강관(1)의 홈(5)을 형성하기 전 상태의 강관(2))이 얻어진다.
- [0083] 또한, 상기와 같은 마무리 어닐링 처리가 실시되면, 실리카를 주성분으로 함유하는 산화물층이, 마그네시아를 주성분으로 함유하는 어닐링 분리제와 반응하여, 강관(2)의 표면에 포르스테라이트(Mg₂SiO₄) 등의 복합 산화물을 포함하는 유리 피막(3)이 형성된다. 마무리 어닐링 공정 S07에서는, 강관(2)이 코일상으로 감긴 상태에서 마무리 어닐링 처리가 실시된다. 마무리 어닐링 처리 중에 강관(2)의 표면에 유리 피막(3)이 형성됨으로써, 코일상으로 감긴 강관(2)에 시징이 발생하는 것을 방지할 수 있다.
- [0084] 계속해서, 레이저 조사 공정 S08에서는, 유리 피막(3)이 형성된 강관(2)의 표면(편면만)에 대해 레이저를 조사함으로써, 강관(2)의 표면에, 압연 방향 X에 교차하는 방향으로 연장되는 복수의 홈(5)이, 압연 방향 X를 따라 소정 간격으로 형성된다. 이하, 도 12 내지 도 14를 참조하면서, 레이저 조사 공정 S08에 대해 상세하게 설명한다.
- [0085] 도 12에 도시된 바와 같이, 레이저 조사 공정 S08에서는, 레이저 광원(도시 생략)으로부터 출사된 레이저 YL이, 광 파이버(9)를 통하여 레이저 조사 장치(10)에 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, 레이저 YL을 강관(2)의 표면을 향하여 조사함과 함께, 레이저 YL을 강관(2)의 관 폭 방향 Y와 대략 평행하게 주사한다.
- [0086] 레이저 YL의 조사와 동시에, 공기 또는 불활성 가스 등의 어시스트 가스(25)가, 레이저 YL이 조사되는 강관(2)의 부위에 분사된다. 불활성 가스는, 예를 들어 질소 또는 아르곤 등이다. 어시스트 가스(25)는, 레이저 조사에 의해 강관(2)으로부터 비산 또는 증발되는 성분을 제거하는 역할을 담당하고 있다. 어시스트 가스(25)의 분사에 의해, 레이저 YL이 상기 비산 또는 증발되는 성분에 의해 저해되지 않고 강관(2)에 도달하기 때문에, 홈(5)이 안정적으로 형성된다. 또한, 어시스트 가스(25)의 분사에 의해, 상기 성분이 강관(2)에 부착되는 것을 억제할 수 있다. 이상의 결과, 레이저 YL의 주사 라인을 따라 홈(5)이 형성된다.
- [0087] 레이저 조사 공정 S08에서는, 강관(2)이 압연 방향 X와 일치하는 통관 방향을 따라 반송되면서, 강관(2)의 표면에 대해 레이저 YL이 조사된다. 여기서, 홈(5)이 압연 방향 X를 따라 소정의 간격 PL로 형성되도록, 폴리곤 미러의 회전 속도는, 강관(2)의 반송 속도에 대해 동기 제어된다. 그 결과, 도 12에 도시된 바와 같이, 강관(2)의 표면에, 압연 방향 X에 교차하는 복수의 홈(5)이, 압연 방향 X를 따라 소정 간격 PL로 형성된다.
- [0088] 레이저 광원으로서, 예를 들어 파이버레이저를 사용할 수 있다. YAG 레이저, 반도체 레이저 또는 CO₂ 레이저 등의 일반적으로 산업용으로 사용되는 고출력 레이저를 레이저 광원으로서 사용해도 된다. 또한, 홈(5)을 안정적으로 형성할 수 있지만 하면, 펄스 레이저 또는 연속파 레이저를 레이저 광원으로서 사용해도 된다. 레이저 YL로서는, 집광성이 높고, 홈의 형성에 적합한 싱글 모드 레이저를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0089] 레이저 YL의 조사 조건으로서, 예를 들어 레이저 출력을 200W 내지 2000W에, 레이저 YL의 압연 방향 X에 있어서의 집광 스폿 직경(즉 레이저 출력의 86%를 포함하는 직경, 이하 86% 직경이라고 생략 기재)을 10_μm 내지 1000_μm로, 레이저 YL의 관 폭 방향 Y에 있어서의 집광 스폿 직경(86% 직경)을 10_μm 내지 1000_μm로, 레이저 주사 속도를 5m/s 내지 100m/s로, 레이저 주사 피치(간격 PL)를 2mm 내지 10mm로 설정하는 것이 바람직하다. 원하는 홈 깊이 D가 얻어지도록, 이들 레이저 조사 조건을 적절히 조정하면 된다. 예를 들어, 깊은 홈 깊이 D를 얻는 경우에는, 레이저 주사 속도를 늦게 설정하고, 레이저 출력을 높게 설정하면 된다.

- [0090] 도 13a에 도시된 바와 같이, 본 실시 형태의 레이저 조사 공정 S08에서는, 압연 방향 X에 평행한 통관 방향 TD를 따라 반송되는 강관(2)을 평면에서 보았을 때, 레이저 YL의 레이저 주사 방향 SD(판 폭 방향 Y에 평행한 방향)에 대해 제1 각도 θ_1 의 기울기를 갖는 방향으로부터, 레이저 YL을 추종하도록 어시스트 가스(25)가 분사된다. 또한, 도 13b에 도시된 바와 같이, 통관 방향 TD를 따라 반송되는 강관(2)을 판 폭 방향 Y(레이저 주사 방향 SD)에서 보았을 때, 강관 표면(2a)에 대해 제2 각도 θ_2 의 기울기를 갖는 방향으로부터, 레이저 YL을 추종하도록 어시스트 가스(25)가 분사된다. 제1 각도 θ_1 은, 90° 이상 180° 이하의 범위로 설정되는 것이 바람직하고, 제2 각도 θ_2 은, 1° 이상 85° 이하의 범위로 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 어시스트 가스(25)의 유량은, 매분 10 내지 1000리터의 범위로 설정되는 것이 바람직하다.
- [0091] 또한, 강관(2)의 통관 분위기에 존재하는, $0.5\mu\text{m}$ 이상인 직경을 갖는 입자의 수량이, 1CF(큐빅 피트)당 10개 이상 10000개 미만인 되도록 분위기 제어를 행하는 것이 바람직하다.
- [0092] 특히, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각인 제1 각도 θ_1 을 상기 범위로 설정함으로써, 홈 바닥 영역(5a)의 표면 조도(Ra, RSm)를 고정밀도로 제어할 수 있다. 이것 외에도, 통관 분위기에 존재하는 $0.5\mu\text{m}$ 이상인 직경을 갖는 입자의 수량도 상기 범위로 설정함으로써, 홈 바닥 영역(5a)의 표면 조도(특히 RSm)를 더 고정밀도로 제어할 수 있다. 또한, 특히, 어시스트 가스(25)의 유량을 상기 범위로 설정함으로써, Mg 농화 영역 W2의 범위 및 간격 dw를 고정밀도로 제어할 수 있다. 또한, 특히, 강관 표면(2a)에 대한 어시스트 가스 분사각인 제2 각도 θ_2 를 상기 범위로 설정함으로써, 입자 존재 영역 W1의 범위, 철 함유 입자(6)의 원 상당 직경 및 면적을 고정밀도로 제어할 수 있다.
- [0093] 종래에는, 레이저 조사에 의해 홈을 형성하는 경우, 강관 표면에 대해 수직인 방향(관 두께 방향)으로부터, 레이저를 추종하도록 어시스트 가스를 강관 표면을 향하여 분사하고 있었다. 이에 반하여, 본원 발명자들은 예의 연구의 결과, 도 13a 및 도 13b에 도시된 바와 같이 어시스트 가스(25)의 분사 방향을 3차원적으로 규정하고, 또한 어시스트 가스(25)의 유량과 통관 분위기 중의 입자량도 규정함으로써, 홈 바닥 영역(5a)의 표면 조도(Ra, RSm)뿐만 아니라, Mg 농화 영역 W2의 범위 및 간격 dw, 입자 존재 영역 W1의 범위, 철 함유 입자(6)의 원 상당 직경 및 면적을 고정밀도로 제어할 수 있음을 알아냈다.
- [0094] 그리고, 본원 발명자들은, 상기와 같은 신규 제조 방법에 의해, 상기 구성 A, B, C 및 D를 갖는 방향성 전자기 강관을 제조하면, 그의 방향성 전자기 강관의 내청성이 향상되는 것을 알아내어, 본 발명을 완성하기에 이른 것이다. 그래서, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강관의 제조 방법(특히 레이저 조사 공정)은, 당업자가 예상할 수 없는 신규 제조 방법이며, 그것에 의하여 얻어지는 방향성 전자기 강관(1)도 당업자가 예상할 수 없는 신규 구성 A, B, C 및 D를 갖는 것이다.
- [0095] 1대의 레이저 조사 장치(10)에 의해, 강관(2)의 판 폭 방향 Y의 전체에 홈(5)을 형성하기 곤란한 경우에는, 도 14에 도시된 바와 같이, 복수대의 레이저 조사 장치(10)를 사용하여, 강관(2)의 판 폭 방향 Y의 전체에 홈(5)을 형성해도 된다. 이 경우, 도 14에 도시된 바와 같이, 복수대의 레이저 조사 장치(10)는, 압연 방향 X를 따라 소정 간격으로 배치된다. 또한, 압연 방향 X에서 보았을 때에, 각 레이저 조사 장치(10)의 레이저 주사 라인이 서로 겹치지 않도록, 각 레이저 조사 장치(10)의 판 폭 방향 Y에 있어서의 위치가 설정되어 있다. 이러한 도 14에 도시된 레이저 조사 방법을 채용함으로써, 도 1에 도시된 바와 같은 복수의 홈(5)을 강관 표면(2a)에 형성할 수 있다.
- [0096] 도 11로 돌아가 설명을 계속하면, 최후의 절연 피막 성형 공정 S09에서는, 상기 레이저 조사 공정 S08에 의해 홈(5)이 형성된 강관 표면(2a)에 대해, 예를 들어 콜로이드 실리카 및 인산염을 함유하는 절연 코팅액이, 유리 피막(3) 상으로부터 도포된다. 그 후, 소정의 온도 조건(예를 들어 840 내지 920°C)하에서 열처리가 실시됨으로써, 최종적으로, 도 1 내지 3에 도시된 바와 같은, 홈(5)이 형성된 강관(2), 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)을 구비하고, 또한 구성 A, B, C 및 D를 갖는 방향성 전자기 강관(1)이 얻어진다.
- [0097] 상기한 바와 같이 제조된 방향성 전자기 강관(1)의 강관(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 불순물로 이루어진다.
- [0098] 또한, 상기 실시 형태에서는, 강관 표면(2a)에 절연 피막(4)이 형성되기 전에, 레이저 조사에 의해 강관 표면(2a)에 홈(5)을 형성하고, 그 후에 강관 표면(2a)에 절연 피막(4)을 형성한다는 제조 공정을 채용하는 경우를 예시했다. 본 실시 형태에서는, 이에 한정하지 않고, 강관 표면(2a)에 절연 피막(4)이 형성된 후에, 절연 피막

(4)의 상방으로부터 강판 표면(2a)을 향해 레이저 VL을 조사함으로써, 강판 표면(2a)에 홈(5)을 형성한다는 제조 공정을 채용해도 된다. 이 경우, 레이저 조사 직후의 홈(5)은 외부에 노출되어 있으므로, 홈(5)의 형성 후에, 다시, 절연 피막(4)을 강판(2) 상에 형성할 필요가 있다. 또는 본 실시 형태에서는, 강판(2)에 홈(5)이 형성된 후에, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)이 형성되어도 된다.

[0099] 그래서, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강판에는, 2차 재결정을 위한 고온 어닐링이 완료하고 또한 유리 피막(3) 및 절연 피막(4)의 코팅이 완료된 방향성 전자기 강판(1)이 포함되지만, 마찬가지로, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)의 코팅이 완료되기 전이며 또한 홈(5)이 형성된 후의 방향성 전자기 강판도 포함된다. 즉, 본 실시 형태에 관한 방향성 전자기 강판을 이용하여, 후 공정으로서, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)의 형성을 행함으로써 최종 제품을 얻어도 된다. 또한, 상기한 바와 같이, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)이 형성된 방향성 전자기 강판(1)으로부터 상기 피막 제거 방법에 의해 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)을 제거한 경우, 홈(5)의 형상이나 조도는, 유리 피막(3) 또는 절연 피막(4)을 형성하기 전과 동등한 것이 확인되어 있다.

[0100] 또한, 상기 실시 형태에서는, 마무리 어닐링 공정 S07 후에 레이저 조사 공정 S08을 실시하는 경우를 예시했지만, 냉간 압연 공정 S04와 탈탄 어닐링 공정 S05 사이에 레이저 조사 공정을 실시해도 된다. 즉, 냉간 압연 공정 S04로부터 얻어지는 냉연 강판에 대해 레이저 조사 및 어시스트 가스 분사를 행함으로써, 냉연 강판의 강판 표면(2a)에 홈(5)을 형성한 후, 그 냉연 강판에 대해 탈탄 어닐링을 실시해도 된다.

[0101] **실시예**

[0102] 이하, 실시예에 의해 본 발명의 일 양태의 효과를 더욱 구체적으로 설명하지만, 실시예에서의 조건은, 본 발명의 실시 가능성 및 효과를 확인하기 위하여 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.

[0103] [내청성의 검증 1]

[0104] 먼저, 하기 조건 1 및 조건 2를 만족시키는 방향성 전자기 강판의 내청성을 검증했다.

[0105] (조건 1)

[0106] 홈 긴 쪽 단면에서 홈을 본 경우에, 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가, 1 μ m 이상 3 μ m 이하이다.

[0107] (조건 2)

[0108] 홈 긴 쪽 단면에서 홈을 본 경우에, 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이, 10 μ m 이상 150 μ m 이하이다.

[0109] 본 검증 1에서 사용한 방향성 전자기 강판은 이하와 같이 제조되었다.

[0110] 질량 분율로, Si: 3.0%, C: 0.08%, 산 가용성 Al: 0.05%, 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 슬래브에 대해 열간 압연이 실시되어, 두께 2.3mm의 열연 강판이 얻어졌다.

[0111] 계속해서, 상기 열연 강판에 대해, 1000℃에서 1분간 가열한다는 온도 조건하에서 어닐링 처리가 실시되었다. 어닐링 처리가 실시된 열연 강판의 표면에 산세 처리가 실시된 후, 열연 강판에 대해 냉간 압연이 실시되어, 두께 0.23mm의 냉연 강판이 얻어졌다. 계속해서, 상기 냉연 강판에 대해, 800℃에서 2분간 가열한다는 온도 조건하에서 탈탄 어닐링 처리가 실시된 후, 마그네시아(MgO)를 주성분으로 함유하는 어닐링 분리제가, 냉연 강판의 표면에 도포되었다.

[0112] 계속해서, 어닐링 분리제가 도포된 냉연 강판에 대해, 1200℃에서 20시간 가열한다는 온도 조건하에서 마무리 어닐링 처리가 실시되었다. 그 결과, 상술한 화학 조성을 갖고, 결정립의 자화 용이축과 압연 방향이 일치하도록 결정 방위가 제어된 냉연 강판(유리 피막이 표면에 형성된 강판)이 얻어졌다.

[0113] 계속해서, 상기한 바와 같이 유리 피막이 형성된 강판의 표면에 대해 레이저가 조사됨으로써, 강판의 표면에, 압연 방향에 직교하는 방향으로 연장되는 복수의 홈이, 압연 방향을 따라 소정 간격으로 형성되었다. 레이저의 조사 조건으로하고, 레이저 출력이 200 내지 2000W로 설정되어, 레이저의 압연 방향에 있어서의 집광 스폿 직경(86% 직경)이 10 내지 1000 μ m로 설정되어, 레이저의 판 폭 방향에 있어서의 집광 스폿 직경(86% 직경)이 10 내지 4000 μ m로 설정되어, 레이저 주사 속도가 1 내지 100m/s로 설정되어, 레이저 주사 피치가 4 내지 10mm로 설

정되었다.

- [0114] 레이저 조사와 동시에, 레이저가 조사되는 강관의 부위에 어시스트 가스가 분사되었다. 상기 조건 1 및 2을 만족시키도록, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1), 강관 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2) 및 어시스트 가스의 유량이 조정되었다. 구체적으로는, 제1 각도 θ_1 은, 90° 이상 180° 이하의 범위로 조정되었다. 제2 각도 θ_2 는, 1° 이상 85° 이하의 범위로 조정되었다. 어시스트 가스의 유량은, 매분 10 내지 1000리터의 범위로 조정되었다. 또한, 레이저 조사 시에 통관 분위기에 존재하는, $0.5\mu\text{m}$ 이상인 직경을 갖는 입자의 수량이, 1CF당 10개 이상 10000개 미만이 되도록 분위기 제어를 행했다.
- [0115] 상기한 바와 같이 흠이 형성된 강관에 대해, 콜로이드 실리카 및 인산염을 함유하는 절연 코팅액이 유리 피막 위로부터 도포된 후, 850°C 에서 1분간 가열한다는 온도 조건하에서 열처리가 실시되어, 최종적으로, 흠이 형성된 강관, 유리 피막 및 절연 피막을 구비하는 방향성 전자기 강관이 얻어졌다.
- [0116] 최종적으로 얻어진 상기 방향성 전자기 강관 중의 강관(흠이 형성된 강관)은, 주로, Si: 3.0%를 함유하고 있다.
- [0117] 이상과 같은 프로세스에 의해, 표 1에 나타낸 바와 같이, 실시예 1 내지 8에서, 상기 조건 1 및 조건 2를 만족시키는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 또한, 비교예 1 내지 4에서, 상기 조건 1 및 조건 2 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 상기한 바와 같이 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1), 강관 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2), 어시스트 가스의 유량 및 통관 분위기 중의 입자량을, 상기 실시 형태에서 설명한 범위 내에서 조정된 것이 실시예이며, 그 범위로부터 벗어난 것이 비교예이다.
- [0118] 또한, 실시예 1 내지 8 및 비교예 1 내지 4에 대응하는 방향성 전자기 강관 각각에 대해, 상기 실시 형태에서 설명한 특정 방법에 의해 흠의 흠 바닥 영역을 특징했다. 흠 바닥 영역의 표면 조도를 나타내는 표면 조도 파라미터(Ra, RSm)의 측정에는, 레이저식 표면 조도 측정기(키엔스사제의 VK-9700)를 이용했다. 또한, 본 검증 1에서는, 절연 피막의 형성 전에, 흠의 형성에 의해 강관 표면에 발생하는 철 함유 입자를 브러싱으로 제거했다.
- [0119] 실시예 1 내지 8 및 비교예 1 내지 4에 대응하는 방향성 전자기 강관 각각에 대해, 내청성의 검증을 행했다. 구체적으로는, 각 방향성 전자기 강관으로부터 한 변이 30mm인 정사각형의 시험편을 채취하고, 그 시험편을, 온도 50°C 및 습도 91%의 분위기 중에 시험편을 1주일 방치하고, 그 전후에 있어서의 시험편의 중량 변화에 기초하여 평가했다. 녹이 발생하면 시험편의 중량이 증가되기 때문에, 중량 증가량이 적은 것일수록 내청성이 좋다고 판단했다. 구체적으로는, 중량 증가량이 $1.0\text{mg}/\text{m}^2$ 이하의 시험편의 내청성을 "우량"이라고 평가하고, 중량 증가량이 $5.0\text{mg}/\text{m}^2$ 이하의 시험편의 내청성을 "양호"라고 평가하고, 중량 증가량이 $10.0\text{mg}/\text{m}^2$ 초과인 시험편 내청성을 "불량"이라고 평가했다. 표 1에 나타낸 바와 같이, 실시예 1 내지 8에 대응하는 방향성 전자기 강관의 내청성을 검증한 결과, 상기 조건 1 및 조건 2를 만족시킴으로써(즉 구성 A를 채용함으로써), 방향성 전자기 강관의 내청성이 향상되는 것이 확인되었다.

표 1

	R a (μm)	R s m (μm)	내청성
실시예1	3	10	양호
실시예2	1.5	30	양호
실시예3	2.1	50	양호
실시예4	1.8	60	양호
실시예5	2.6	20	양호
실시예6	2.4	40	양호
실시예7	1.3	130	양호
실시예8	1	150	양호
비교예1	0.8	40	불량
비교예2	4.1	10	불량
비교예3	3.5	5	불량
비교예4	0.8	6	불량

[0120]

[0121]

참고로, 내청성 시험 후에 자기 특성(철손 W17/50)을 측정한 결과, 내청성이 "양호"한 실시예 1 내지 8의 철손은, 0.702 내지 0.822W/kg이었다. 내청성이 "불량"한 비교예 1의 철손은, 0.951W/kg이었다. 동일하게 내청성이 "불량"한 비교예 4의 철손은, 0.794W/kg이었다. 또한, 실시예 1 내지 8에서는, 강판 중의 흠에 접하는 결정립의 입경이 5 μm 이상이었다. 또한, 실시예 1 내지 8 및 비교예 1 내지 4 모두, 흠 깊이 D가 5 μm 이상 40 μm 이하, 흠 폭 W가 10 μm 이상 250 μm 이하였다.

[0122]

[내청성의 검증 2]

[0123]

계속해서, 표 2에 나타낸 바와 같이, 공지의 제조 방법을 사용하여, 실시예 9로서, 상기 조건 1 및 조건 2를 만족시키고, 또한 유리 피막을 구비하지 않는 방향성 전자기 강판을 준비하였다. 또한, 비교예 5 내지 7에서, 상기 조건 1 및 조건 2 중 적어도 하나를 만족시키지 않고, 또한 유리 피막을 구비하지 않는 방향성 전자기 강판을 준비하였다. 강판의 화학 조성은, 상기 검증 1과 같다. 상기 검증 1과 마찬가지로, 상기 조건 1 및 조건 2를 만족시키기 위해, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1)과, 강판 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2)과, 어시스트 가스(25)의 유량과, 통판 분위기 중의 입자량을 상기 실시 형태에서 설명한 범위 내에서 조정했다.

[0124]

실시예 9 및 비교예 5 내지 7에 대응하는 방향성 전자기 강판 각각에 대해, 상기 검증 1과 마찬가지로의 검증 방법을 사용하여 내청성의 검증을 행했다. 그 결과, 표 2에 나타낸 바와 같이, 유리 피막을 구비하지 않는 방향성 전자기 강판에서도, 상기 조건 1 및 조건 2를 만족시키는 구성 A를 채용함으로써, 내청성이 향상되는 것이 확인되었다.

[0125]

참고로, 내청성 시험 후에 자기 특성(철손 W17/50)을 측정한 결과, 내청성이 "양호"한 실시예 9의 철손은, 0.832W/kg이었다. 내청성이 "불량"한 비교예 5의 철손은, 0.925W/kg이었다. 동일하게 내청성이 "불량"한 비교예 6의 철손은, 0.736W/kg이었다. 또한, 실시예 9 및 비교예 5 내지 7 모두, 흠 깊이 D가 5 μm 이상 40 μm 이하, 흠 폭 W가 10 μm 이상 250 μm 이하였다.

표 2

	R a (μm)	R s m (μm)	내청성
실시예9	1.5	40	양호
비교예5	1.3	7	불량
비교예6	0.8	4	불량
비교예7	0.6	7	불량

[0126]

[0127]

[내청성의 검증 3]

[0128]

계속해서, 상기 조건 1 및 2 외에도, 이하의 조건 3 및 조건 4를 만족시키는 방향성 전자기 강관의 내청성을 검증했다.

[0129]

(조건 3)

[0130]

유리 피막 및 절연 피막에 포함되는 질량 분율로의 평균 Mg 함유량과 비교하여, Mg 함유량이 평균으로 1.3배 이상을 만족시키는 유리 피막 및 절연 피막 중의 영역을 Mg 농화 영역이라고 정의했을 때, 홈 짧은 쪽 단면에서 홈을 본 경우에, 상기 Mg 농화 영역이, 홈과 강관 표면의 경계를 기점으로 하여, 홈 짧은 쪽 단면에서 판 두께 방향과 직교하고 또한 홈으로부터 멀어지는 방향으로 0.1 μm 이상 10 μm 이하인 영역에 포함된다.

[0131]

(조건 4)

[0132]

판 두께 방향으로부터 홈을 본 경우(홈을 평면에서 본 경우)에, 홈 연장 방향을 따라 서로 인접하는 Mg 농화 영역 사이의 거리 dw가, 0 초과 100 μm 이하이다.

[0133]

표 3에 나타난 바와 같이, 상기 검증 1과 마찬가지로의 프로세스에 의해, 실시예 10 내지 18에서, 상기 조건 1 및 2를 만족시키고, 또한 상기 조건 3 및 4를 만족시키는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 또한, 실시예 19 내지 21에서, 상기 조건 1 및 2를 만족시키고, 또한 상기 조건 3 및 4 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 상기 검증 1과 마찬가지로, 상기 조건 1 내지 4를 만족시키도록, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1)과, 강관 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2)과, 어시스트 가스의 유량과, 통관 분위기 중의 입자량을 상기 실시 형태에서 설명한 범위 내에서 조정했다.

[0134]

또한, 실시예 10 내지 21에 대응하는 방향성 전자기 강관에 있어서, 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가 2.1 μm , 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이 45 μm 이었다. 또한, 본 검증 3에서는, 절연 피막의 형성 전에, 홈의 형성에 의해 강관 표면에 발생하는 철 함유 입자를 브러싱으로 제거했다. 또한, EPMA를 사용하여 Mg 함유량을 분석했다.

[0135]

실시예 10 내지 21에 대응하는 방향성 전자기 강관의 각각에 대해, 상기 검증 1과 마찬가지로의 검증 방법을 사용하여 내청성의 검증을 행했다. 그 결과, 표 3에 나타난 바와 같이, 상기 조건 1 및 2 외에도, 상기 조건 3 및 4를 만족시킴으로써(즉 구성 A 및 C를 채용함으로써), 방향성 전자기 강관의 내청성이 더 향상되는 것이 확인되었다.

[0136]

참고로, 내청성의 시험 후에 자기 특성(철손 W17/50)을 측정된 결과, 내청성이 "우량"한 실시예 10의 철손은, 0.836W/kg이었다. 또한, 내청성이 "양호"한 실시예 19의 철손은, 0.701W/kg이었다. 또한, 실시예 10 내지 21에 있어서, 홈 깊이 D가 5 μm 이상 40 μm 이하, 홈 폭 W가 10 μm 이상 250 μm 이하였다.

표 3

	Mg 농화 영역의 범위 (μm)	Mg 농화 영역의 간격 dw (μm)	내청성
실시예10	3.1	30	우량
실시예11	1.5	15	우량
실시예12	0.8	10	우량
실시예13	0.1	1	우량
실시예14	10	100	우량
실시예15	8	90	우량
실시예16	7	60	우량
실시예17	6	40	우량
실시예18	1.2	5	우량
실시예19	0.05	10	양호
실시예20	10	150	양호
실시예21	30	160	양호

[0137]

[0138] [내청성의 검증 4]

[0139] 계속해서, 상기 조건 1 및 2 외에도, 이하의 조건 5 및 조건 6을 만족시키는 방향성 전자기 강판의 내청성을 검증했다.

[0140] (조건 5)

[0141] 홈 짧은 쪽 단면에서 홈을 본 경우에, 홈과 강판 표면의 경계를 기점으로 하여, 홈 짧은 쪽 단면에서 판 두께 방향과 직교하고 또한 홈으로부터 멀어지는 방향으로 $10\mu\text{m}$ 이상 $500\mu\text{m}$ 이하인 길이로 연장되는 영역을 입자 존재 영역이라고 정의했을 때, 입자 존재 영역에서의 절연 피막이 철 함유 입자를 포함한다.

[0142] (조건 6)

[0143] 입자 존재 영역에서의 절연 피막에 포함되는 철 함유 입자의 원 상당 직경이, $0.1\mu\text{m}$ 이상 $2\mu\text{m}$ 이하이고, 입자 존재 영역의 면적에 대한 철 함유 입자의 면적 비율이 0.1% 이상 30% 미만이다.

[0144] 표 4에 나타난 바와 같이, 상기 검증 1과 마찬가지로의 프로세스에 의해, 실시예 22 내지 30에서, 상기 조건 1 및 2를 만족시키고, 또한 상기 조건 5 및 6을 만족시키는 방향성 전자기 강판을 준비하였다. 또한, 실시예 31 내지 34에서, 상기 조건 1 및 2를 만족시키고, 또한 상기 조건 5 및 6 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강판을 준비하였다. 상기 검증 1과 마찬가지로, 상기 조건 1, 2, 5 및 6을 만족시키도록, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1)과, 강판 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2)과, 어시스트 가스의 유량과, 통관 분위기 중의 입자량을 상기 실시 형태에서 설명한 범위 내에서 조정했다.

[0145] 또한, 실시예 22 내지 34에 대응하는 방향성 전자기 강판에 있어서, 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선의 산술 평균 높이 Ra가 $1.9\mu\text{m}$, 홈의 홈 바닥 영역의 윤곽을 이루는 조도 곡선 요소의 평균 길이 RSm이 $42\mu\text{m}$ 이었다.

[0146] 실시예 22 내지 34에 대응하는 방향성 전자기 강판 각각에 대해, 상기 검증 1과 마찬가지로의 검증 방법을 사용하여 내청성의 검증을 행했다. 그 결과, 표 4에 나타난 바와 같이, 상기 조건 1 및 2 외에도, 상기 조건 5 및 6을 만족시킴으로써(즉 구성 A 및 B를 채용함으로써), 방향성 전자기 강판의 내청성이 더 향상되는 것이 확인되었다.

[0147] 참고로, 내청성의 시험 후에 자기 특성(철손 W17/50)을 측정한 결과, 내청성이 "우량"한 실시예 22의 철손은, 0.823W/kg 이었다. 또한, 내청성이 "양호"한 실시예 31의 철손은, 0.718W/kg 이었다. 또한, 실시예 22 내지 34

에 있어서, 홈 깊이 D가 5 μ m 이상 40 μ m 이하, 홈 폭 W가 10 μ m 이상 250 μ m 이하였다.

표 4

	입자 존재 영역의 범위 (μ m)	입자의 원 상당 직경 (μ m)	내청성
실시예22	100	0.2~1.5	우량
실시예23	10	0.1~0.8	우량
실시예24	50	0.3~2.0	우량
실시예25	400	0.1~1.0	우량
실시예26	200	0.2~1.0	우량
실시예27	400	0.1~0.5	우량
실시예28	450	0.1~1.5	우량
실시예29	150	0.1~0.8	우량
실시예30	500	0.8~2.0	우량
실시예31	350	0.05~0.2	양호
실시예32	350	0.05~0.75	양호
실시예33	5	0.2~1.5	양호
실시예34	800	0.05~0.15	양호

[0148]

[0149] [내청성의 검증 5]

[0150] 계속해서, 상기 조건 1, 2, 3 및 4 외에도, 조건 5 및 조건 6을 만족시키는 방향성 전자기 강관의 내청성을 검증했다.

[0151] 표 5에 나타난 바와 같이, 상기 검증 1과 마찬가지로의 프로세스에 의해, 실시예 35 내지 37에서, 상기 조건 1, 2, 3 및 4를 만족시키고, 또한 상기 조건 5 및 6을 만족시키는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 또한, 실시예 38 내지 40에서, 상기 조건 3, 4, 5 및 6을 만족시키고, 또한 상기 조건 1 및 2 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 또한, 실시예 41 내지 43에서, 상기 조건 1, 2, 5 및 6을 만족시키고, 또한 상기 조건 3 및 4 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 또한, 실시예 44 내지 46에서, 상기 조건 1, 2, 3 및 4를 만족시키고, 또한 상기 조건 5 및 6 중 적어도 하나를 만족시키지 않는 방향성 전자기 강관을 준비하였다. 상기 검증 1과 마찬가지로, 상기 조건 1, 2, 3 및 4를 만족시키도록, 레이저 주사 방향에 대한 어시스트 가스 분사각(제1 각도 θ_1)과, 강관 표면에 대한 어시스트 가스 분사각(제2 각도 θ_2)과, 어시스트 가스의 유량과, 통관 분위기 중의 입자량을 상기 실시 형태에서 설명한 범위 내에서 조정했다.

[0152] 실시예 35 내지 46에 대응하는 방향성 전자기 강관 각각에 대해, 상기 검증 1과 마찬가지로의 검증 방법을 사용하여 내청성의 검증을 행했다. 그 결과, 표 5에 나타난 바와 같이, 상기 조건 1, 2, 3 및 4 외에도, 조건 5 및 6을 만족시킴으로써(즉 구성 A, B 및 C를 모두 채용함으로써), 방향성 전자기 강관의 내청성이 더 향상되는 것이 확인되었다. 또한, 실시예 35 내지 46에서, 홈 깊이 D가 5 μ m 이상 40 μ m 이하, 홈 폭 W가 10 μ m 이상 250 μ m 이하였다.

표 5

	입자 존재 영역의 범위 (μm)	입자의 원 상당 직경 (μm)	내청성
실시예35	200	0.4~1.2	우량
실시예36	30	0.2~2.0	우량
실시예37	100	0.5~1.4	우량
실시예38	300	0.3~1.9	양호
실시예39	350	0.1~1.2	양호
실시예40	430	0.1~0.4	양호
실시예41	210	0.1~0.8	양호
실시예42	100	0.1~0.9	양호
실시예43	440	0.9~2.0	양호
실시예44	600	0.05~0.1	양호
실시예45	5	0.05~0.8	양호
실시예46	8	1.0~2.5	양호

[0153]

산업상 이용가능성

[0154]

본 발명의 상기 양태에 따르면, 자구 세분화를 위하여 강관의 표면에 흠이 형성된 방향성 전자기 강관의 내청성을 향상시키는 것이 가능하므로, 산업상 이용가능성을 충분히 갖는다.

부호의 설명

[0155]

- 1: 방향성 전자기 강관
- 2: 강관
- 2a: 강관 표면
- 2b: 강관 영역
- 3: 유리 피막
- 4: 절연 피막
- 5: 흠
- 5a: 흠 바닥 영역
- 5b: 흠 영역
- 6: 철 함유 입자
- BL: 흠 기준선
- LWC: 흠 긴 쪽 굴곡 곡선
- SWC: 흠 짧은 쪽 굴곡 곡선
- RC: 조도 곡선
- W1: 입자 존재 영역
- W2: Mg 농화 영역

W: 홈 폭

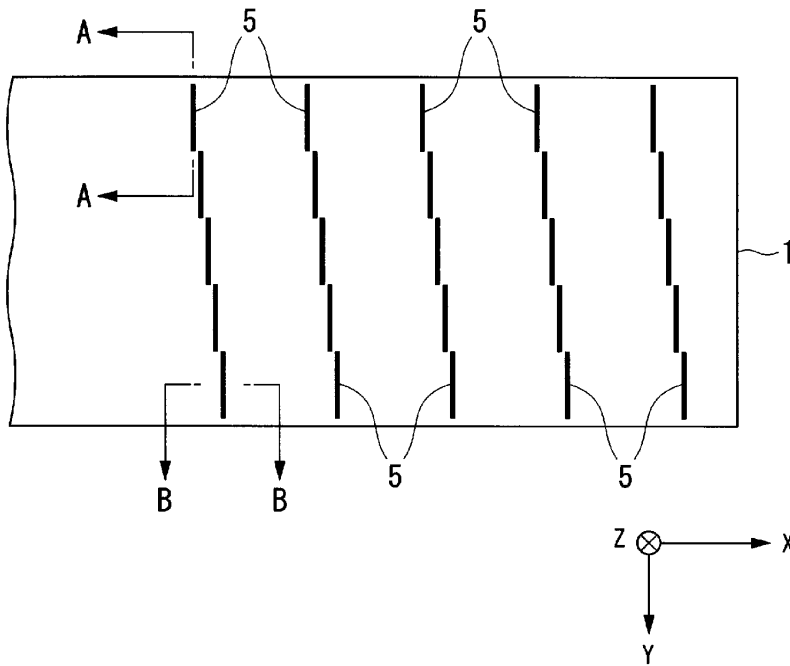
X: 압연 방향

Y: 판 폭 방향

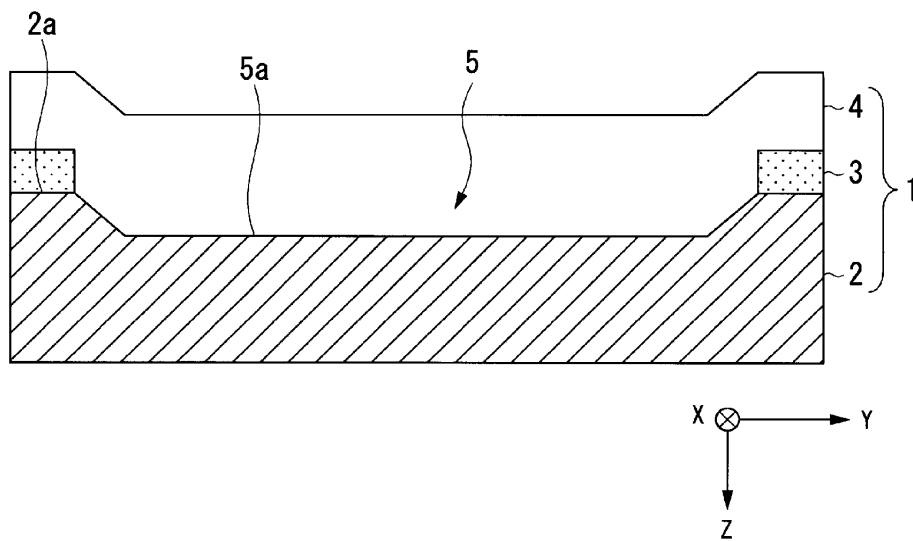
Z: 판 두께 방향

도면

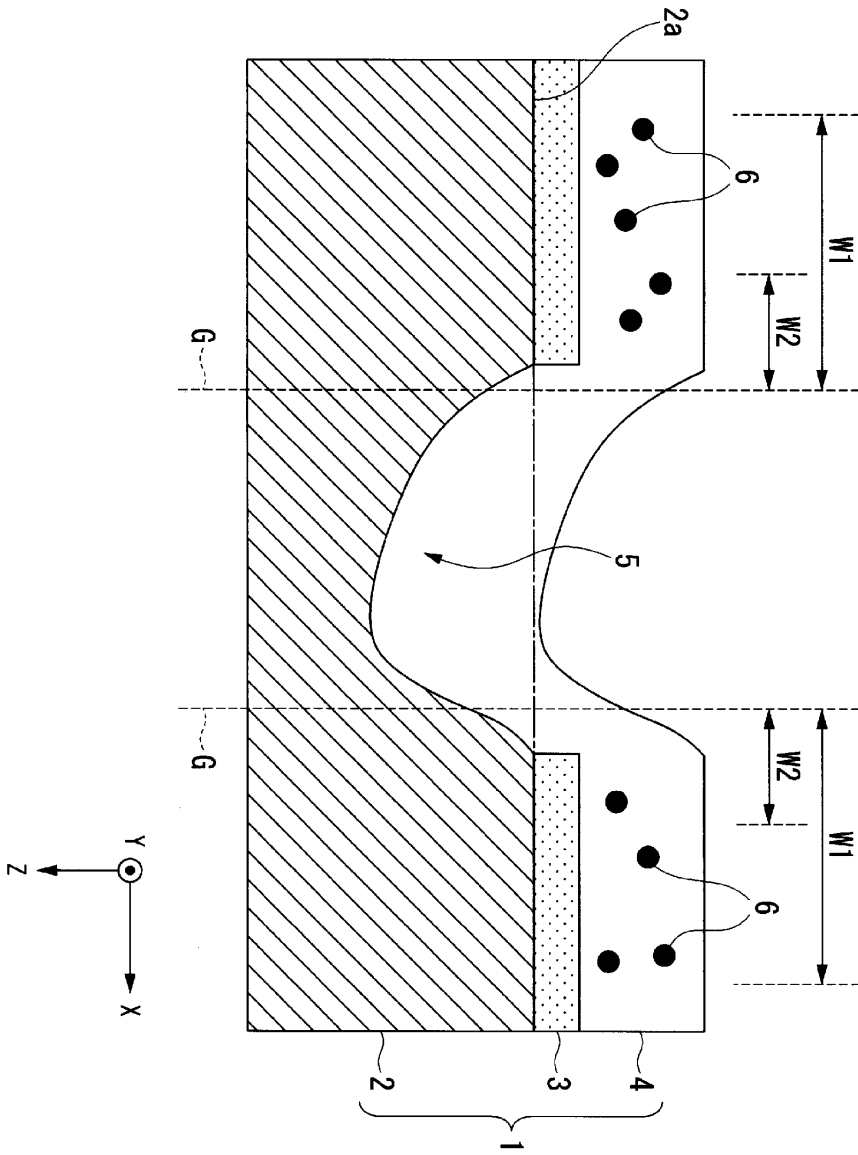
도면1



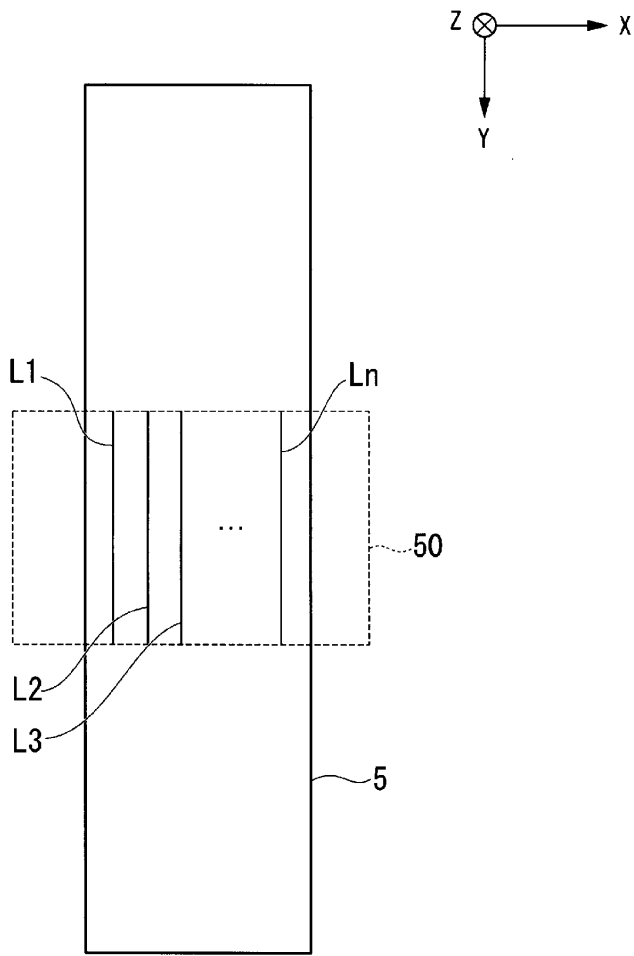
도면2



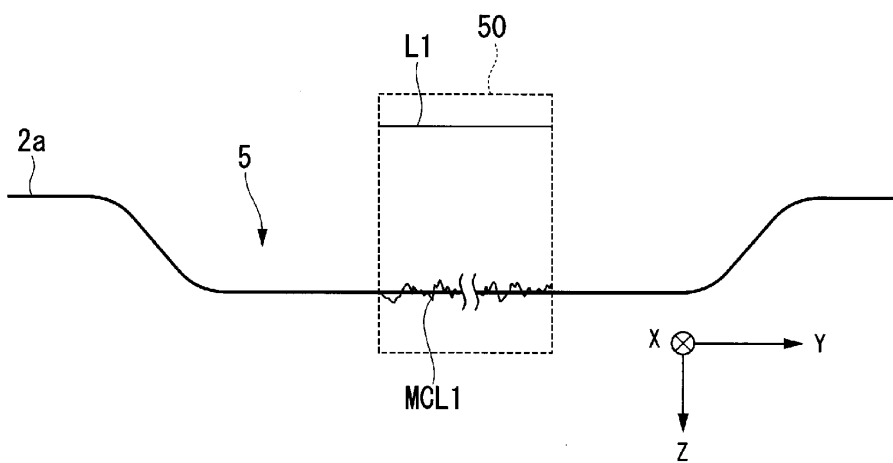
도면3



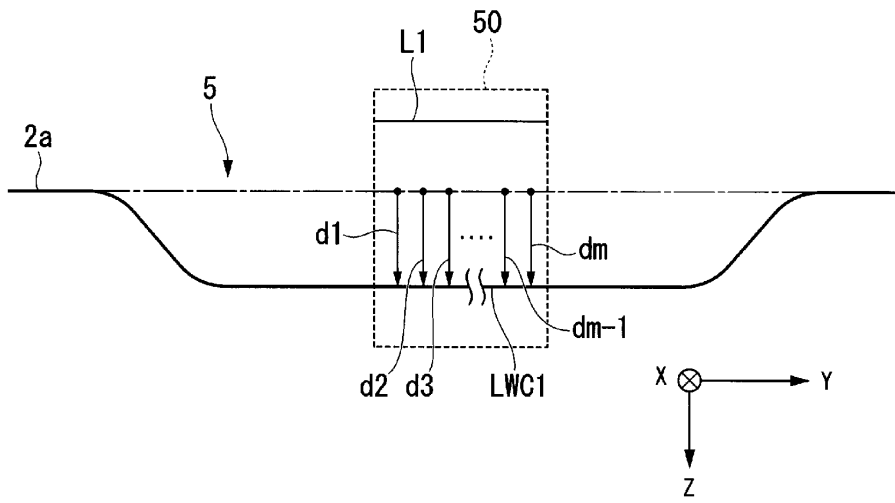
도면4



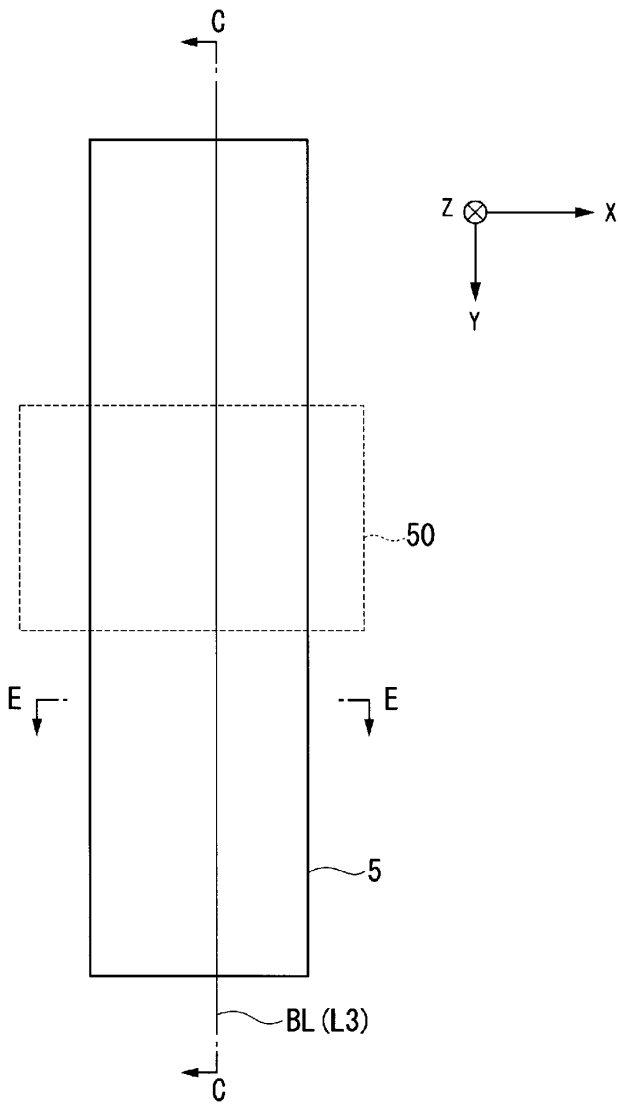
도면5a



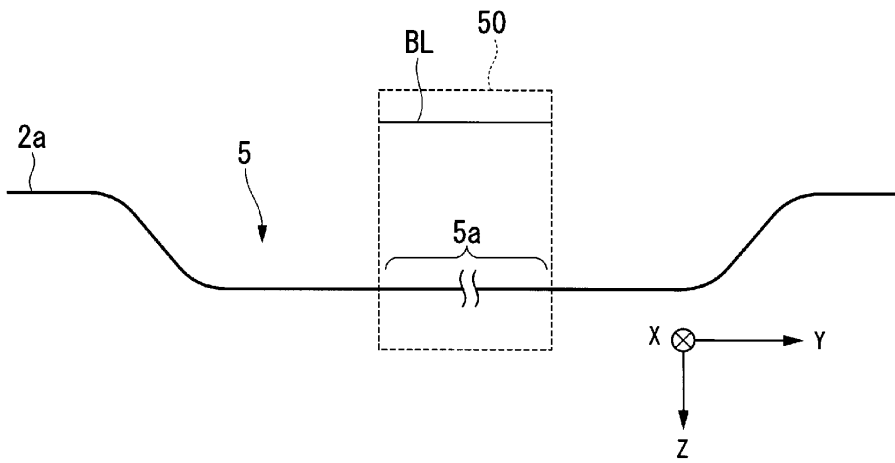
도면5b



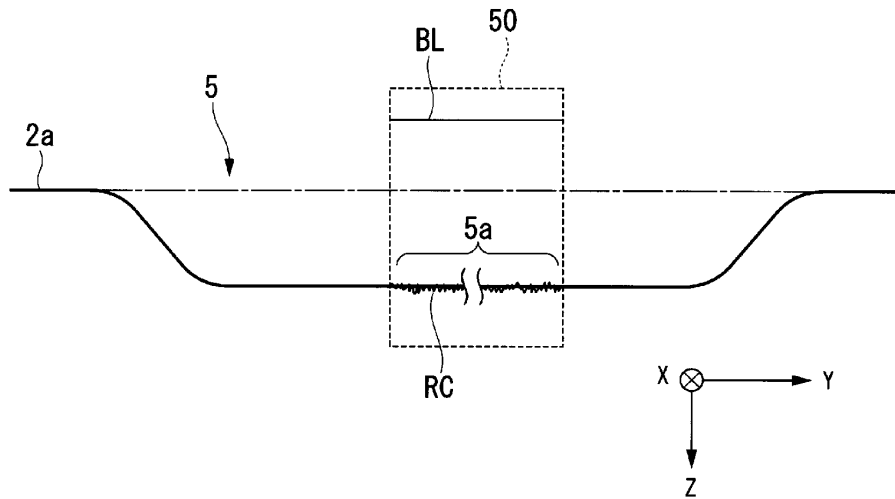
도면6



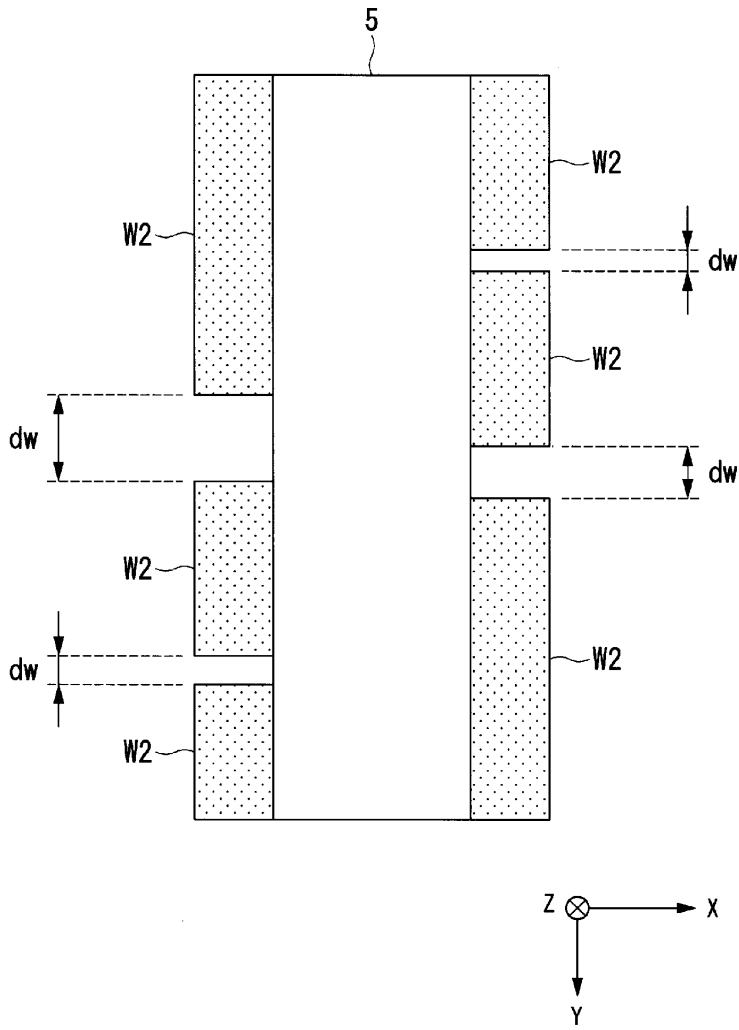
도면7



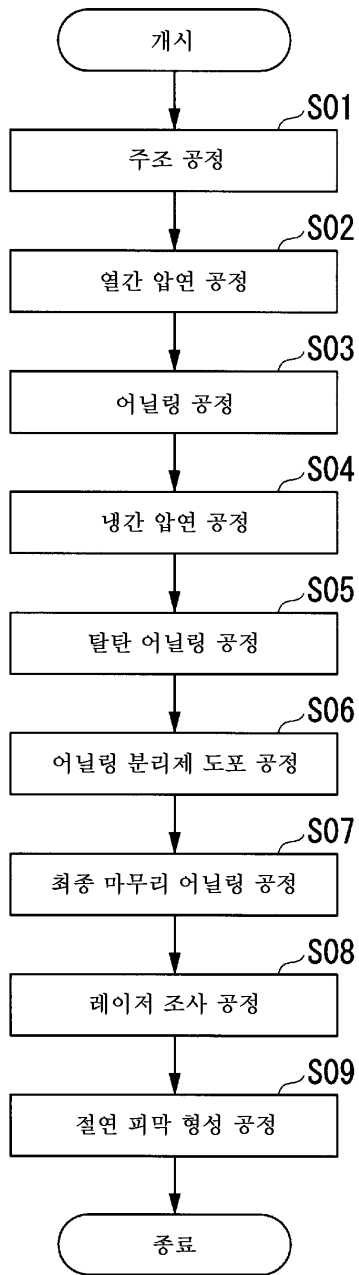
도면8



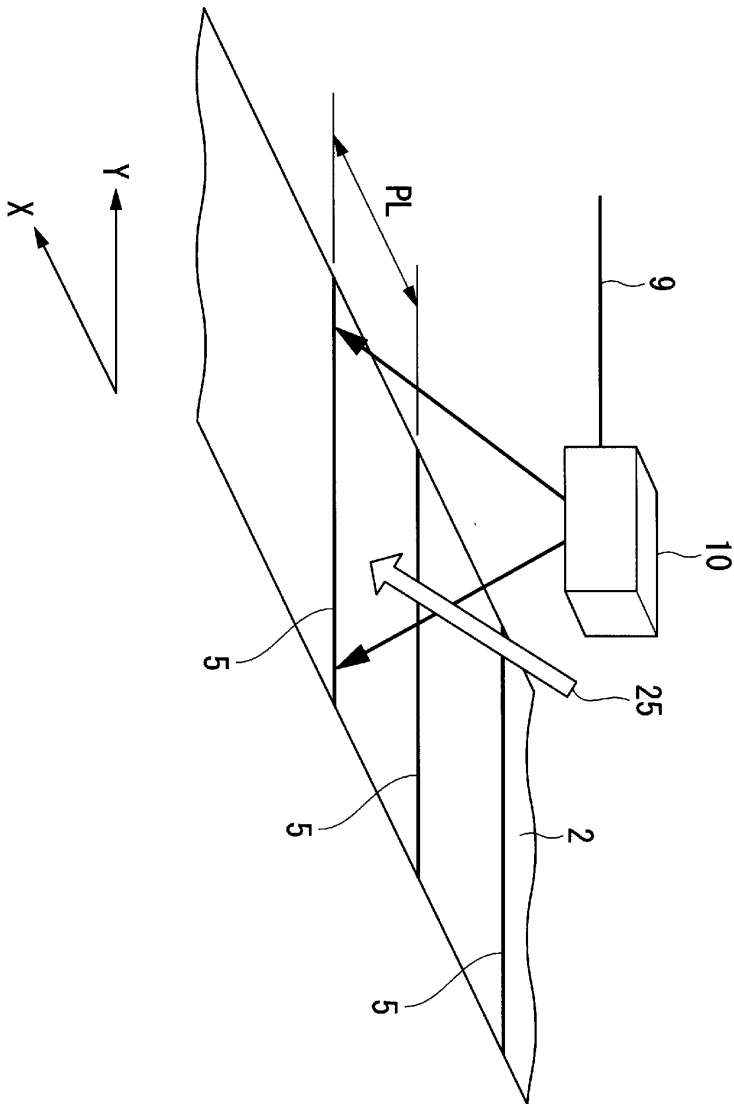
도면10



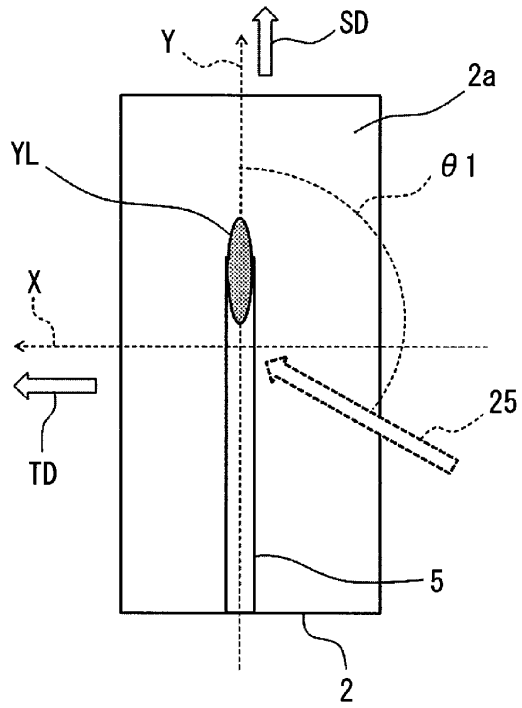
도면11



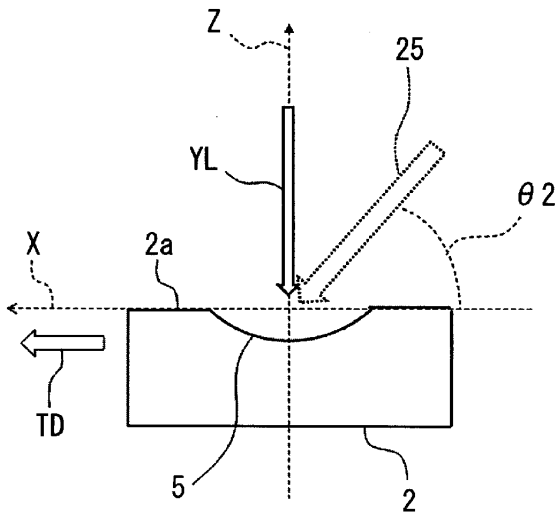
도면12



도면13a



도면13b



도면14

