



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0076501
(43) 공개일자 2020년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01F 1/16 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C23C 8/14 (2006.01) C23C 8/18 (2006.01)
H01F 41/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01F 1/16 (2013.01)
C21D 8/1272 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0165642

(22) 출원일자 2018년12월19일

심사청구일자 2018년12월19일

(71) 출원인

주식회사 포스코

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자

권오열

경북 포항시 남구 새천년대로 306, 105동 2103호
(효자동, 에스케이뷰아파트)

김우신

경상북도 포항시 남구 대이로 138, 102동 1505호
(이동, 그린빌명품아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 방향성 전기강판 및 그의 제조 방법

(57) 요약

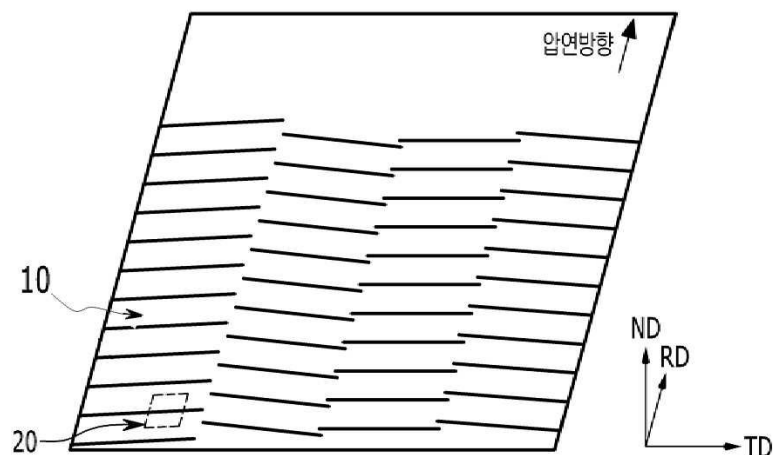
본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판의 제조 방법은 냉연판을 제조하는 단계; 냉연판에 레이저를 조사하여 그루브를 형성하는 단계; 냉연판 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거하는 단계; 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및 1차 재결정된 냉연판에 소둔 분리제를 도포하고, 2차 재결정 소둔하는 단계를 포함하고, 하기 식 1로 계산되는 밀착성 계수가 0.016 내지 1.13이다.

[식 1]

$$\text{밀착성 계수}(S_{ad}) = (0.8 \times R) / H_{\text{hill-up}}$$

(식 1에서 R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μm)를 나타내고, $H_{\text{hill-up}}$ 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(μm)를 나타낸다.)

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C21D 8/1283 (2013.01)

C23C 8/14 (2013.01)

C23C 8/18 (2013.01)

H01F 41/024 (2013.01)

(72) 발명자

김대욱

경상북도 포항시 남구 동해안로6213번길 36, 포스코 동촌생활관(괴동동)

박종태

경북 포항시 남구 지곡로 319, 340동 304호 (지곡동, 지곡그린빌라)

명세서

청구범위

청구항 1

전기강판 표면에 위치하는 그루브,
상기 그루브 상에 위치하는 금속 산화물층 및
상기 그루브 하부에 위치하는 불연속적으로 분산 분포하는 금속산화물계 아일랜드를 포함하고,
상기 그루브 하부에 위치하는 아일랜드의 평균 입경은 0.5 내지 5 μm 인 방향성 전기강판.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 그루브 하부에 위치하는 아일랜드의 밀도는 0.5개/ μm^2 이하인 방향성 전기강판.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 전기강판을 봉상의 cylinder에 굽히는 경우, 절연코팅층의 박리 또는 균열이 되지 않는 최소의 직경이 25mm미만인 방향성 전기강판.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 전기강판에 있어서, $R / H_{\text{hill-up}}$ 은 0.02 내지 1.0인 방향성 전기강판.
(단, R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μm)를 나타내고, $H_{\text{hill-up}}$ 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이)

청구항 5

냉연판을 제조하는 단계;
상기 냉연판에 그루브를 형성하는 단계;
상기 냉연판 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거하는 단계;
상기 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및
상기 1차 재결정된 냉연판에 소둔 분리제를 도포하고, 2차 재결정 소둔하는 단계를 포함하고,
하기 식 1로 계산되는 밀착성 계수가 0.016 내지 1.13인 방향성 전기강판의 제조방법.

[식 1]

$$\text{밀착성 계수}(S_{\text{ad}}) = (0.8 \times R) / H_{\text{hill-up}}$$

(식 1에서 R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μm)를 나타내고,
 $H_{\text{hill-up}}$ 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(μm)를 나타낸다.)

청구항 6

제5항에 있어서,

산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 $3.0\mu\text{m}$ 이하인 방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이($H_{\text{hill-up}}$)는 $5.0\mu\text{m}$ 이하인 방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 그루브를 형성하는 단계에서, 상기 냉연판에 레이저 또는 플라즈마를 조사하여 그루브를 형성하는 방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 그루브를 형성하는 단계에서, 그루브 하부에 재응고층이 형성되는 방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 산화물을 제거하는 단계 전의 조도는 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 $1.2\mu\text{m}$ 이상인 방향성 전기강판의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 방향성 전기강판 및 그의 제조 방법에 관한 것이다. 더욱 구체적으로 그루브를 형성한 이후, 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거하여 아일랜드를 적절히 형성함으로써, 자성 향상과 함께 절연코팅층과의 밀착성을 향상시킨 방향성 전기강판 및 그의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 방향성 전기강판은 변압기 등의 전자기제품의 철심재료로 사용되기 때문에 전기기기의 전력손실을 줄임으로써 에너지 변환효율을 향상시키기 위해서는 철심소재의 철손이 우수하고 적층 및 권취시 점착율이 높은 강판이 요구된다.

[0003] 방향성 전기강판은 열연, 냉연 및 소둔공정을 통해 2차재결정된 결정립이 압연방향으로 $\{110\}<001>$ 방향으로 배향된 집합조직(일명 "Goss Texture" 라고도 함)을 갖는 기능성 강판을 말한다.

[0004] 방향성 전기강판의 철손을 낮추는 방법으로서, 자구미세화 방법이 알려져 있다. 즉 자구를 스크레치나 에너지적 충격을 주어서 방향성 전기강판이 가지고 있는 큰 자구의 크기를 미세화 시키는 것이다. 이 경우 자구가 자화되고 그 방향이 바뀔 때 에너지 소모량을 자구의 크기가 컸을 때 보다 줄일 수 있게 된다. 자구미세화 방법으로는 열처리 후에도 자기적 특성이 개선되어 그 효과가 유지되는 영구자구미세화와 그렇지 않은 일시자구미세화가 있다.

[0006] 회복 (Recovery)이 나타나는 열처리 온도 이상의 응력완화열처리 후에도 철손개선 효과를 나타내는 영구자구미세화 방법은 에칭법, 롤법 및 레이저법으로 구분할 수 있다. 에칭법은 용액 내 선택적인 전기화학반응으로 강판 표면에 홈(그루브, groove)을 형성시키기 때문에 홈 형상을 제어하기 어렵고, 최종 제품의 철손특성을 폭 방향으로 균일하게 확보하는 것이 어렵다. 더불어, 용매로 사용하는 산용액으로 인해 환경오염을 유발할 수도 있는 단점을 갖고 있다.

[0007] 물에 의한 영구자구미세화방법은 물에 돌기모양을 가공하여 물이나 판을 가압함으로써 판 표면에 일정한 폭과

깊이를 갖는 홈을 형성한 후 소둔함으로써 홈 하부의 재결정을 부분적으로 발생시키는 철손 개선효과를 나타내는 자구미세화기술이다. 물법은 기계가공에 대한 안정성, 두께에 따른 안정적인 철손 확보를 얻기 힘든 신뢰성 및 프로세스가 복잡하며, 홈 형성 직후(응력완화소둔전) 철손과 자속밀도 특성이 열화되는 단점을 갖고 있다.

[0008] 레이저에 의한 영구 자구미세화 방법은 고출력의 레이저를 고속으로 이동하는 전기강판 표면부에 조사하고 레이저 조사에 의해 기저부의 용융을 수반하는 그루브(groove)를 형성시키는 방법을 사용한다. 그러나, 이러한 영구 자구미세화 방법도 자구를 최소 크기로 미세화 시키기는 어렵다.

[0009] 일시자구미세화의 경우 코팅된 상태에서 레이저를 가한 후 코팅을 한번 더 하지 않는 방향으로 연구를 하고 있기 때문에 레이저를 일정 이상의 강도로 조사하려고 하지 않는다. 일정 이상으로 가할 경우 코팅의 손상으로 인해 장력 효과를 제대로 발휘하기 어렵기 때문이다.

[0010] 영구자구미세화의 경우 홈을 파서 정자기에너지를 받을 수 있는 자유전하 면적을 넓히는 것이기 때문에 최대한 깊은 홈 깊이가 필요하다. 물론 깊은 홈깊이로 인하여 자속밀도의 저하 등의 부작용 또한 발생한다. 그렇기 때문에 자속밀도 열화를 줄이기 위해서 적정 홈 깊이로 관리하게 된다.

[0011] 한편, 자구미세화기술로 제조한 방향성 전기강판은 성형 및 열처리 과정을 거쳐 변압기 철심 등 제품으로 제조된다. 또한, 제품은 비교적 고온의 환경에서 사용되기 때문에 철손 특성 뿐 아니라, 절연코팅층과의 밀착성을 확보 하는 것이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 일 실시예에서는 방향성 전기강판 및 그의 제조 방법을 제공한다. 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에서는 그루브를 형성한 이후, 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거하여 아일랜드를 적절히 형성함으로써, 자성 향상과 함께 절연코팅층과의 밀착성을 향상시킨 방향성 전기강판 및 그의 제조 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 전기강판 표면에 위치하는 그루브, 그루브 상에 위치하는 금속 산화물층 및 그루브 하부에 위치하는 불연속적으로 분산 분포하는 금속산화물계 아일랜드를 포함한다.

[0014] 그루브 하부에 위치하는 아일랜드의 평균 입경은 0.5 내지 5 μ m일 수 있다.

[0015] 그루브 하부에 위치하는 아일랜드의 밀도는 0.5개/ μ m² 이하일 수 있다.

[0016] 전기강판을 봉상의 cylinder에 굽히는 경우, 절연코팅층의 박리 또는 균열이 되지 않는 최소의 직경이 25mm미만일 수 있다.

[0017] 전기강판에 있어서, R / H_{hill-up} 은 0.02 내지 1.0일 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판의 제조 방법은 냉연판을 제조하는 단계; 냉연판에 그루브를 형성하는 단계; 냉연판 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거하는 단계; 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및 1차 재결정된 냉연판에 소둔 분리제를 도포하고, 2차 재결정 소둔하는 단계를 포함하고, 하기 식 1로 계산되는 밀착성 계수가 0.02 내지 1.13이다.

[0019] [식 1]

[0020] 밀착성 계수(S_{ad}) = (0.8×R)/H_{hill-up}

[0021] (식 1에서 R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μ m)를 나타내고, H_{hill-up} 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(μ m)를 나타낸다.)

[0022] 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 1 μ m 이하일 수 있다.

[0023] 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(H_{hill-up})는 5.0 μ m 이하일 수 있다.

[0024] 그루브를 형성하는 단계에서, 냉연판에 레이저 또는 플라즈마를 조사하여 그루브를 형성할 수 있다.

[0025] 그루브를 형성하는 단계에서, 그루브 하부에 재응고층이 형성될 수 있다.

[0026] 산화물을 제거하는 단계 전의 조도는 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 $1.2\mu\text{m}$ 이상일 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 구현 예에 따르면, 밀착 계수를 적절히 제어하여, 그루브 하부에 아일랜드를 적절히 형성함으로써, 밀착성 및 내식성을 개선할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판의 압연면(ND면)의 모식도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 그루브의 모식도 이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 그루브의 단면의 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 제1, 제2 및 제3 등의 용어들은 다양한 부분, 성분, 영역, 층 및/또는 섹션들을 설명하기 위해 사용되나 이들에 한정되지 않는다. 이들 용어들은 어느 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션을 다른 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션과 구별하기 위해서만 사용된다. 따라서, 이하에서 서술하는 제1 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션은 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 제2 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션으로 언급될 수 있다.

[0030] 여기서 사용되는 전문 용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

[0031] 어느 부분이 다른 부분의 "위에" 또는 "상에" 있다고 언급하는 경우, 이는 바로 다른 부분의 위에 또는 상에 있을 수 있거나 그 사이에 다른 부분이 수반될 수 있다. 대조적으로 어느 부분이 다른 부분의 "바로 위에" 있다고 언급하는 경우, 그 사이에 다른 부분이 개재되지 않는다.

[0032] 다르게 정의하지는 않았지만, 여기에 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 보통 사용되는 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0033] 이하, 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0035] 도 1에서는 본 발명의 일 실시예에 의해 자구미세화된 방향성 전기강판(10)의 모식도를 나타낸다.

[0036] 도 1에서 나타나듯이, 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판(10)은 전기강판의 일면 또는 양면에, 압연 방향(RD방향)과 교차하는 방향으로 형성된 선상의 그루브(20);가 형성되어 있다.

[0037] 이하에서는 각 단계별로 구체적으로 설명한다.

[0038] 먼저 냉연판을 제조한다. 본 발명의 일 실시예에서는 냉연판 제조 이후, 자구미세화 방법에 그 특징이 있는 것으로서, 자구미세화의 대상이 되는 냉연판은 방향성 전기강판 분야에서 사용하는 냉연판을 제한 없이 사용할 수 있다. 특히, 방향성 전기강판의 합금 조성과는 관계 없이 본 발명의 효과가 발현된다. 따라서, 방향성 전기강판의 합금 조성에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다. 일 예로서, 냉연판은 중량%로, C: 0.07% 이하, Si: 1.0 내지 6.5%, Mn: 0.005 내지 3.0%, Nb+V+Ti: 0.050% 이하, Cr+Sn: 1.0%이하, Al: 3.0%이하, P+S: 0.08%이하 및 희토류 및 기타 불순물 총합 0.3%이하 및 잔부 Fe를 포함할 수 있다.

[0039] 냉연판 제조 방법에 대해서도 방향성 전기강판 분야에서 사용하는 냉연판 제조 방법을 제한 없이 사용할 수 있으며, 이에 대한 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

- [0040] 다음으로, 냉연판에 그루브를 형성한다.
- [0041] 그루브를 형성하는 단계에서, 압연 수직 방향에 대하여, 그루브를 2 내지 10개 단속적으로 형성할 수 있다. 도 1에서는 압연 수직 방향에 대하여, 그루브를 4개 단속적으로 형성한 예를 나타낸다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니고, 그루브를 연속적으로 형성하는 것도 가능하다.
- [0042] 도 1 및 도 2에서 나타나듯이, 그루브(20)의 길이 방향(도1의 RD방향, 도2의 X방향)과 압연방향(RD방향)은 75 내지 88°의 각도를 이룰 수 있다. 전술한 각도로 그루브(20)를 형성할 시, 방향성 전기강판의 철손을 개선하는 데에 기여할 수 있다.
- [0043] 그루브의 폭(W)은 10 내지 200 μ m일 수 있다. 그루브(20)의 폭이 너무 좁거나 클 경우, 적절한 자구 미세화 효과를 얻을 수 없게 될 수 있다.
- [0044] 또한, 그루브의 깊이(H)는 30 μ m 이하일 수 있다. 그루브의 깊이(H)가 너무 깊으면, 강한 레이저 조사로 인하여 강판(10)의 조직 특성을 크게 변화시키거나, 다량의 힐업 및 스패터를 형성하여 자성을 열화시킬 수 있다. 따라서 전술한 범위로 그루브(20)의 깊이를 제어할 수 있다. 더욱 구체적으로 그루브의 깊이는 3 내지 30 μ m일 수 있다.
- [0045] 그루브를 형성하는 단계에서, 냉연판에 레이저 또는 플라즈마를 조사하여 그루브를 형성할 수 있다.
- [0046] 레이저를 사용하는 경우, 냉연판 표면에 500W 내지 10KW 평균 출력의 TEM₀₀ ($M_2 \leq 1.25$) 레이저 빔을 냉연판 표면에 조사함으로써 그루브를 형성할 수 있다. 레이저의 발진 방식은 제한 없이 사용할 수 있다. 즉, 연속 발진 또는 Pulsed mode를 사용할 수 있다. 이처럼 표면 빔 흡수율이 강판의 용융열 이상이 될 수 있게 레이저를 조사하여, 도 1 및 도 2에서 표시한 그루브(20)를 형성하게 된다. 도 2에서 X방향은 그루브(20)의 길이 방향을 나타낸다.
- [0047] 이처럼 레이저 또는 플라즈마를 사용할 경우, 레이저 또는 플라즈마로부터 방출되는 열에 의해 그루브 하부에 재응고층이 형성될 수 있다. 재응고층은 제조 중인 전기강판의 전체조직과 결정립 입경이 상이하여 구분된다. 재응고층의 두께는 5.0 μ m 이하로 형성될 수 있다. 재응고층 두께가 너무 두꺼울 경우, 후술할 금속 산화물층이 두껍게 형성되어, 금속 산화물층과 기지 조직의 밀착성 및 내식성이 나빠질 수 있다.
- [0049] 그루브를 형성하는 단계 이후, 레이저 또는 플라즈마에서 발생하는 열 및 공기 중의 산소 및 수분, 분사 가스 내의 산소 및 수분에 의해 강판 표면이 일부 산화되어 Fe-O 산화물이 존재할 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에서는 냉연판 표면에 형성된 Fe-O 산화물을 제거한다. Fe-O 산화물을 제거하는 방법으로는 특별히 한정되지 않으며, 건식 또는 습식 연마 방법을 사용할 수 있다. 연마 후, Fe-O 산화물이 그루브 내에 유입될 수 있으므로, 이를 제거하기 위한 린싱 과정을 거칠 수 있다.
- [0051] Fe-O 산화물은 Fe₂O₃, Fe₃O₄ 등의 철산화물을 의미한다. Fe-O 산화물은 전부 또는 일부를 제거할 수 있다.
- [0052] Fe-O 산화물을 제거하기 전에는 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 1.2 μ m 이상이다. 이 때, Fe-O 산화물을 제거하지 않고, 후속 공정을 진행할 경우, 그루브 부분의 금속 산화물층이 불안정하게 형성되며, 밀착성 및 내식성이 저하될 수 있다.
- [0053] Fe-O 산화물을 제거한 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 3.0 μ m 이하일 수 있다. 전술한 범위로 Fe-O 산화물을 제거함으로써, 금속 산화물층이 안정적으로 형성되며, 밀착성 및 내식성이 향상될 수 있다. 바람직하게는 냉연판 표면의 평균 조도(R)는 0.05 내지 0.30 μ m일 수 있다.
- [0054] Fe-O 산화물을 제거하는 과정에서 그루브 형성과정에서 발생한 힐업도 일부 제거될 수 있다. 힐업이 너무 높게 형성될 경우, 산화물층이 불안정하게 형성되며, 밀착성 및 내식성이 열위될 수 있다. 구체적으로 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(H_{hill-up})는 5.0 μ m 이하일 수 있다.
- [0055] 다음으로, 냉연판을 1차 재결정 소둔한다.
- [0056] 1차 재결정 소둔하는 단계는 방향성 전기강판 분야에서 널리 알려져 있으므로, 자세한 설명은 생략한다. 1차 재결정 소둔 과정에서 탈탄 또는 탈탄과 질화를 포함할 수 있으며, 탈탄 또는 탈탄과 질화를 위해 습윤 분위기에 서 소둔할 수 있다. 1차 재결정 소둔하는 단계에서의 균열 온도는 800 내지 950℃일 수 있다.

- [0057] 다음으로, 소둔 분리제를 도포하고, 2차 재결정 소둔한다. 소둔 분리제에 대해서는 널리 알려져 있으므로, 자세한 설명은 생략한다. 일 예로 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 사용할 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시 예에서 하기 식 1로 계산되는 밀착성 계수가 0.016 내지 1.13이다.
- [0059] [식 1]
- [0060] 밀착성 계수(S_{ad}) = $(0.8 \times R) / H_{hill-up}$
- [0061] (식 1에서 R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μm)를 나타내고, $H_{hill-up}$ 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(μm)를 나타낸다.)
- [0062] 밀착성 계수가 전술한 범위를 만족함으로써, 우수한 밀착성 및 내식성을 확보할 수 있다.
- [0063] 2차 재결정 소둔의 목적은 크게 보면 2차 재결정에 의한 {110}<001> 집합조직 형성, 1차 재결정 소둔 시 형성된 산화층과 MgO의 반응에 의한 금속 산화물(유리질) 피막형성으로 절연성 부여, 자기특성을 해치는 불순물의 제거이다. 2차 재결정 소둔의 방법으로는 2차 재결정이 일어나기 전의 승온구간에서는 질소와 수소의 혼합가스로 유지하여 입자성장 억제제인 질화물을 보호함으로써 2차 재결정이 잘 발달할 수 있도록 하고, 2차 재결정이 완료된 후 균열 단계에서는 100% 수소분위기에서 장시간 유지하여 불순물을 제거한다.
- [0064] 2차 재결정 소둔하는 단계는 900 내지 1210℃의 균열 온도에서 수행할 수 있다.
- [0065] 2차 재결정 소둔 과정에서 소둔 분리제 내의 MgO 성분이 강판 표면에 형성된 산화층과 반응하여 강판 및 그루브의 표면에 금속 산화물층(포스테라이트 층)이 형성될 수 있다. 도 3에서는 금속 산화물층(30)을 개략적으로 표시하였다. 본 발명의 일 실시예에서 2차 재결정 소둔 전에 그루브가 형성되기 때문에, 강판 뿐 아니라 그루브의 표면에도 금속 산화물층(30)이 형성될 수 있다.
- [0066] 본 발명의 일 실시예에서 그루브 형성 이후 강판 표면에 Fe-O 산화물을 제거하기 때문에, 소둔 분리제 내의 MgO가 강판 내부로 침투 또는 통과하여 금속 산화물층(30) 하부에 아일랜드(40)가 형성될 수 있다. 이 아일랜드(40)는 금속 산화물을 포함한다. 더욱 구체적으로 포스테라이트를 포함한다.
- [0067] 도 3에서는 아일랜드(40)를 개략적으로 표시하였다. 도 3에 나타나듯이, 금속 산화물층(30) 하부에 금속 산화물층(30)과 분리되어 아일랜드(40)가 형성될 수 있다. 아일랜드(40)는 금속 산화물층(30)과 유사한 합금 성분으로 이루어져 있으므로, 전기강판 기지 조직과는 구분된다.
- [0068] 아일랜드(40)가 불연속적으로 적절히 형성됨으로써, 금속 산화물층(30)과 강판의 밀착성을 향상시키는 데에 기여할 수 있다. 구체적으로 그루브 하부에 금속 산화물을 포함하는 아일랜드의 밀도가 $0.5 \text{ 개} / \mu m^2$ 이하일 수 있다. 이 때, 기준은 강판 압연 방향(RD방향) 및 두께 방향(ND방향)을 포함하는 단면(TD면)에서 그루브(20) 하부로 5 μm 이내의 깊이 면적에 대한 아일랜드의 밀도를 의미한다.
- [0069] 그루브(20) 하부에 위치하는 아일랜드(40)는 평균 입경 0.5 내지 5 μm 일 수 있다. 이 때, 기준은 강판 압연 방향(RD방향) 및 두께 방향(ND방향)을 포함하는 단면(TD면)이 될 수 있다. 입경이란 TD면에서 측정한 아일랜드(40)의 면적과 동일한 면적의 가상의 원을 상정하고, 그 원의 직경을 의미한다. 아일랜드(40)의 평균 입경은 그루브(20) 하부에 위치하는 아일랜드(40)의 평균 입경이며, 그루브(20)가 형성되지 않은 표면 하부에 위치하는 아일랜드(40)는 전술한 평균 입경의 계산에서 제외한다. 아일랜드(40)의 평균 입경을 제어함으로써, 자성 향상과 함께 절연코팅층과의 밀착성을 향상시킬 수 있다. 더욱 구체적으로 그루브(20) 하부에 위치하는 아일랜드(40)는 평균 입경 0.75 내지 3 μm 일 수 있다.
- [0071] 2차 재결정 소둔하는 단계 이후, 금속 산화물층 상에 절연코팅층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0072] 절연코팅층을 형성하는 방법은 특별히 제한 없이 사용할 수 있으며, 일예로, 인산염을 포함하는 절연 코팅액을 도포하는 방식으로 절연 피막층을 형성할 수 있다. 이러한 절연 코팅액은 콜로이달 실리카와 금속인산염을 포함하는 코팅액을 사용하는 것이 바람직하다. 이 때 금속인산염은 Al 인산염, Mg 인산염, 또는 이들의 조합일 수 있으며, 절연 코팅액의 중량 대비 Al, Mg, 또는 이들의 조합의 함량은 15 중량% 이상일 수 있다.
- [0074] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 전기강판(10)의 표면에 위치하는 그루브(20), 그루브(20) 상에

위치하는 금속 산화물층(30) 및 그루브 하부에 위치하는 아일랜드(40)를 포함한다.

[0075] 그루브 하부에 위치하는 아일랜드(40)의 평균 입경은 0.5 내지 $5\mu\text{m}$ 일 수 있다. 금속 산화물 층이 지나치게 얇으면 아일랜드 평균입경 또한 지나치게 작아져서 밀착성이 떨어지고, 금속 산화물 층이 지나치게 두꺼우면 아일랜드 평균 입경도 지나치게 증가하여 금속 산화물층의 밀착성을 저하되는 경향이 있다. 본 발명은 아일랜드(40)의 평균 입경을 제어함으로써, 자성 향상과 함께 금속 산화물층의 절연코팅 및 기지 조직과의 밀착성을 향상시킬 수 있다. 바람직하게는 그루브(20) 하부에 위치하는 아일랜드(40)는 평균 입경 0.75 내지 $3\mu\text{m}$ 일 수 있다.

[0076] 그루브(20) 하부에 아일랜드(40)의 밀도가 $0.5 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이하일 수 있다. 이 때, 기준은 강판 압연 방향(RD방향) 및 두께 방향(ND방향)을 포함하는 단면(TD면)에서 그루브(20) 하부로 $5\mu\text{m}$ 이내의 깊이 면적에 대한 아일랜드의 밀도를 의미한다. 바람직하게 그루브(20) 하부에 아일랜드(40)의 밀도가 $0.1 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이하일 수 있다.

[0077] 이하에서는 실시예를 통하여 본 발명을 좀더 상세하게 설명한다. 그러나 이러한 실시예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이며, 본 발명이 여기에 한정되는 것은 아니다.

[0079] 실시예

[0080] 냉간압연한 두께 0.23mm의 냉연판을 준비하였다. 이 냉연판에 2.0kW의 Gaussian mode의 연속파 레이저를 주사속도 10m/s로 조사하여, RD방향과 85° 각도의 그루브를 형성하였다. 그 후, 강판의 전체 표면을 연마포를 이용하여 연마를 하여 Fe-O 산화물을 제거하였다. 이후, 1차 재결정 소둔하고, MgO 소둔분리제를 도포 후 2차 재결정하였다. 이후 절연 코팅층을 형성하였다.

[0081] 밀착성은 제품판을 다양한 직경을 갖는 봉상의 cylinder에 판을 굽힘으로써, 절연코팅층이 박리 및 균열되지 않는 최소의 직경을 표시하였다. 밀착성이 우수할수록 봉상의 직경은 점차 감소하게 된다. 바람직하게 절연코팅층이 박리 및 균열되지 않는 실린더의 최소 직경은 25mm 미만이어야 한다. 25mm를 이상일 경우 밀착성이 떨어지고 밀착성 감소에 의해 내식성도 감소한다. (실린더 최소 직경 20mm, 24mm)

[0082] 내식성은 30°C 의 3.5 중량% NaCl 수용액에서 양극분극실험을 통한 자연부식전류밀도로 측정하였다. 내식성은 $1.6 \times 10^{-9} \text{ A/cm}^2$ 이하가 바람직하다.

[0083] 본 발명에 의한 전기강판의 밀착성 계수는 바람직하게 0.016 내지 1.13이다. 밀착성 계수가 0.016 미만인 경우 내식성이 급격하게 열위해 지고, 밀착성 계수가 1.13 초과인 경우 부식성이 열위해 질 수 있다. 밀착성 계수를 구하는 식은 아래와 같다.

[0084] 소둔 분리제의 점도는 10 내지 84가 바람직하다. 왜냐하면, 점도가 10 미만인 경우 소둔 분리제가 흘러내릴 수 있고, 84 초과가 되면 두께가 너무 두꺼워져 소둔 분리제의 소모량이 많아진다. 따라서, 통상의 소둔 분리제 점도를 고려할 때, 본 발명의 전기강판의 $R/H_{\text{hill-up}}$ 은 0.02 내지 1.0가 바람직하다.

[0086] [식 1]

[0087] 밀착성 계수(S_{ad}) = $(0.8 \times R)/H_{\text{hill-up}}$

[0089] (식 1에서 R은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면의 평균 조도(μm)를 나타내고, $H_{\text{hill-up}}$ 은 산화물을 제거하는 단계 이후, 냉연판 표면에 존재하는 힐업의 평균 높이(μm)를 나타낸다.)

표 1

[0091]

구 분	평균입경 (μm)	실린더의 최소 직경 (Φ , mm)	밀착성 계수 (무차수)	$R/H_{\text{hill-up}}$	내식성 (A/cm^2)
실시예 1	5.0	16	0.016	0.02	1.42×10^{-9}

실시예 2	4.2	16	0.02	0.025	1.45×10^{-9}
실시예 3	3.4	15	0.04	0.05	1.35×10^{-9}
실시예 4	1.3	15	0.06	0.07	1.37×10^{-9}
실시예 5	2.1	12	0.08	0.10	1.29×10^{-9}
실시예 6	1.9	12	0.10	0.12	1.25×10^{-9}
실시예 7	0.8	12	0.25	0.31	1.13×10^{-9}
실시예 8	0.5	12	0.40	0.50	1.10×10^{-9}
실시예 9	1.7	10	0.60	0.75	1.05×10^{-9}
실시예 10	1.3	10	0.80	1.00	1.02×10^{-9}
비교예	0.3	25	0.014	0.018	2.20×10^{-8}

[0092] 표 1에서 나타나는 것과 같이, 그루브 형성 이후, 밀착 계수를 적절히 제어하여 제조한 방향성 전기강판은 밀착성 및 내식성이 우수함을 확인할 수 있다. 반면, 밀착 계수를 적절히 제어하지 못한 비교예는 밀착성 및 내식성이 비교적 열악함을 확인할 수 있다.

[0093] 또한, 실시예 1~10의 그루브 하부에 위치한 아일랜드(40)의 평균 입경 범위는 0.5 내지 $5.0 \mu\text{m}$ 임을 확인하였다. 또한, 아일랜드(40)의 밀도가 $0.5 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이하임을 확인하였다.

[0094] 반면, 비교예는 아일랜드(40)의 평균 입경이 $0.5 \mu\text{m}$ 미만임을 확인하였고, 또한, 아일랜드(40)의 밀도가 $0.5 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 초과로 다수 형성됨을 확인하였다.

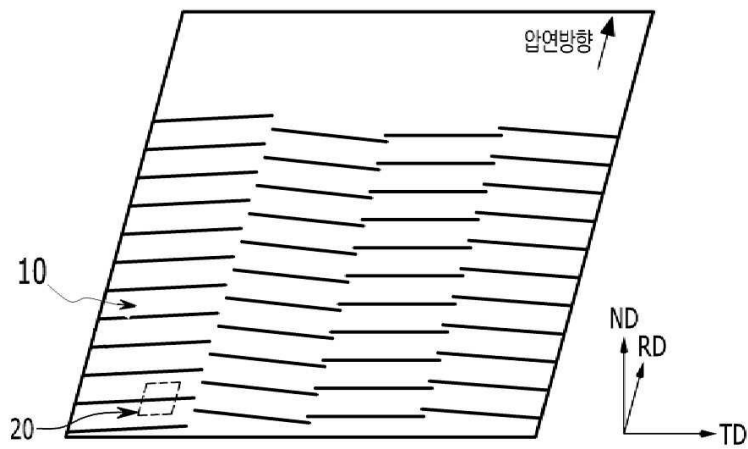
[0096] 본 발명은 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

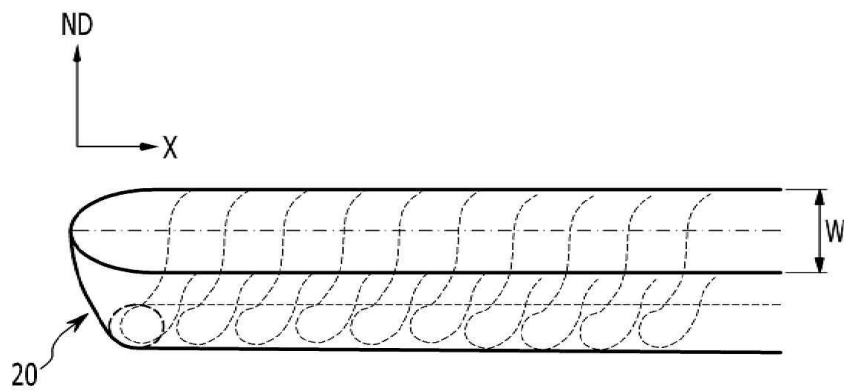
[0098] 10: 방향성 전기강판,
20 : 그루브,
30 : 금속 산화물층,
40 : 아일랜드

도면

도면1



도면2



도면3

