(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0072859
(43) 공개일자 2020년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/34 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) *C22C 38/30* (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/34 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0160910
(22) 출원일자 2018년12월13일
심사청구일자 2018년12월13일

(71) 출원인
주식회사 포스코
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)
(72) 발명자
송대현
울산광역시 남구 문수로75번길 7, 304동 1402호(무거동, 옥현주공3단지아파트)
박준수
경북 포항시 남구 지곡로 278, 214동 902호 (지곡동, 효자그린2차아파트)
(74) 대리인
유미특허법인

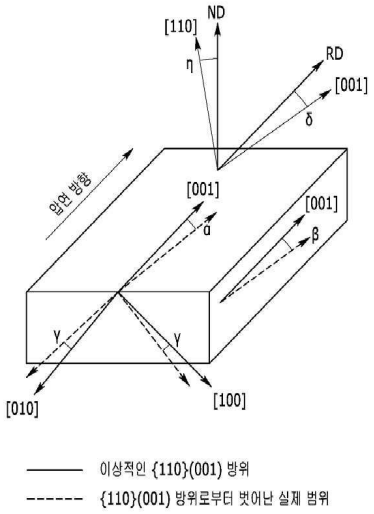
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **방향성 전기강판 및 그의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.005% 이하(0%를 제외함), Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0003 내지 0.097% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 전기강판 기재 및 전기강판 기재의 표면 상에 위치하는 금속 산화물층을 포함하고, 금속산화물층은 Co를 0.0005 내지 0.25 중량% 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C21D 8/1233 (2013.01)
C21D 8/1272 (2013.01)
C22C 38/001 (2013.01)
C22C 38/008 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/30 (2013.01)
C22C 38/60 (2013.01)
C22C 2202/02 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.005% 이하(0%를 제외함), Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0003 내지 0.097% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 전기강판 기재 및

상기 전기강판 기재의 표면 상에 위치하는 금속 산화물층을 포함하고,

상기 금속 산화물층은 Co를 0.0005 내지 0.25 중량% 포함하는 방향성 전기강판.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전기강판 기재는 Al: 0.005 내지 0.04 중량%, Mn: 0.01 내지 0.2 중량%, N:0.01 중량% 이하, S:0.01 중량% 이하 및 P:0.0005 내지 0.045 중량% 중 1종 이상을 더 포함하는 방향성 전기강판.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 금속 산화물층은 Si:10 내지 30 중량%, O: 30 내지 55 중량%, Mg:25 내지 50 중량% 및 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 더 포함하는 방향성 전기강판.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 금속 산화물층의 두께는 0.5 내지 10 ㎛인 방향성 전기강판.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전기강판 기재는 결정립을 포함하고, 결정립의 평균 β 각도가 3° 이하인 방향성 전기강판.

(이 때, β 각도란 압연수직면을 기준으로 보았을 때, 집합 조직의 [001]방향이 압연 방향축과 이루는 각도를 의미한다.)

청구항 6

중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.02 내지 0.08%, Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0005 내지 0.1% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 슬라브를 가열하는 단계;

상기 슬라브를 열간 압연하여 열연판을 제조하는 단계;

상기 열연판을 냉간 압연하여 냉연판을 제조하는 단계;

상기 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및

상기 1차 재결정 소둔한 냉연판을 2차 재결정소둔하는 단계;를 포함하고,

상기 1차 재결정 소둔하는 단계는 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계를 포함하고,

상기 제1 승온 단계의 산화능은 0.7 내지 2.0이고, 제2 승온 단계의 산화능은 0.05 내지 0.6이고, 균열 단계의 산화능은 0.3 내지 0.6인 방향성 전기강판 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 승온 단계의 산화능 및 상기 제2 승온 단계의 산화능이 하기 식 1을 만족하는 방향성 전기강판 제조방법.

[식 1]

$0.3 \leq [P1] - [P2] \leq 1.6$

(식 1에서 [P1] 및 [P2]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 제2 승온 단계의 산화능을 의미한다.)

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제2 승온 단계의 산화능 및 상기 균열 단계의 산화능이 하기 식 2를 만족하는 방향성 전기강판 제조방법.

[식 2]

$-0.1 \leq [P3] - [P2] \leq 0.5$

(식 2에서 [P2] 및 [P3]는 각각 제2 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 제1 승온 단계의 산화능 및 상기 균열 단계의 산화능이 하기 식 3를 만족하는 방향성 전기강판 제조방법.

[식 3]

$0.3 \leq [P1] - [P3] \leq 1.5$

(식 3에서 [P1] 및 [P3]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 제1 승온 단계는 상기 냉연판을 710 내지 770℃의 종료온도까지 승온하는 단계이고,

상기 제2 승온 단계는 제1 승온 단계의 종료 온도에서 830 내지 890℃의 종료온도까지 온도를 승온하는 단계이고,

상기 균열 단계는 제2 승온 단계의 종료 온도 내지 900℃의 범위에서 온도를 유지하는 단계인 방향성 전기강판 제조방법.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 2차 재결정 소둔하는 단계는 900 내지 1210℃의 균열 온도에서 수행하는 방향성 전기강판 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 방향성 전기강판 및 그의 제조방법에 관한 것이다. 구체적으로, 1차 재결정 소둔 공정에서 분위기 가스를 제어함으로써, 금속산화물층 내의 Co 농화를 억제하여, 자성을 향상시킨 방향성 전기강판을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 방향성 전기강판은 압연방향에 대해 강판의 집합조직이 {110}<001>인 고스집합조직(Goss texture)을 나타내고 있어 일방향 혹은 압연방향으로 자기적 특성이 우수한 연자성 재료이며, 이러한 집합조직을 발현하기 위해서는

제강에서의 성분제어, 열간 압연에서의 슬라브 재가열 및 열간압연 공정인자 제어, 열연판 소둔 열처리, 냉간 압연, 1차 재결정 소둔, 2차 재결정 소둔 등의 복잡한 공정들이 요구되고, 이들 공정 또한 매우 정밀하고 엄격하게 관리되어야 한다.

[0003] 2차 재결정 소둔(최종 소둔)에서 고스집합조직이 얻어지기 위해서는 2차 재결정이 일어나기 직전까지 모든 1차 재결정립의 성장이 억제되어야 하며, 이를 위한 충분한 억제력을 얻기 위해서는 인히비터의 양이 충분히 많아야 하며, 분포 또한 균일해야 한다.

[0004] 한편 고온의 2차 재결정 소둔 공정 동안 2차 재결정이 원활하게 일어나게 하기 위해서 인히비터의 열적 안정성이 우수하여 쉽게 분해되지 않아야 한다. 2차 재결정은 1차 재결정립의 성장을 억제하는 인히비터가 적정 온도 구간에서 분해되거나 억제력을 잃음으로써 발생하는 현상으로, 이 경우 고스 결정립과 같은 특정한 결정립들이 비교적 단시간 내에 급격히 성장하게 된다.

[0005] 통상적으로 방향성 전기강판의 품질은 대표적 자기적 특성인 자속밀도와 철손으로 평가될 수 있으며, 고스집합조직의 정밀도가 높을수록 자기적 특성이 우수하다. 또한 품질이 우수한 방향성 전기강판은 그 자기적 특성으로 인한 고효율의 전력기기 제조가 가능하여, 전력기기의 소형화와 더불어 고효율화를 얻을 수 있다.

[0006] 방향성 전기강판의 철손을 낮추기 위한 연구개발은 먼저 자속밀도를 높이기 위한 연구개발부터 이루어졌다. 초기의 방향성 전기강판은 MnS를 결정립성장 억제제로 사용하고 2회 냉간 압연법으로 제조하였다. 2차 재결정은 안정적으로 형성되었지만 자속밀도는 그다지 높지 않았고 철손도 높은 편이었다.

[0007] 결정립 성장 억제력을 향상시키기 위한 다른 방법으로는 Mn, Se 및 Sb를 결정립 성장 억제제로 이용하여 방향성 전기강판을 제조하는 방법이다. 고온 슬라브가열, 열간 압연, 열연판 소둔, 1차 냉간 압연, 중간 소둔, 2차 냉간 압연, 탈탄 소둔, 최종 소둔의 공정으로 이루어지며, 이 방법은 결정립 성장 억제력이 높아 높은 자속밀도를 얻을 수 있는 장점이 있지만 소재자체가 상당히 경하게 되어 1회 냉간 압연이 불가능하게 되어 중간 소둔을 경유하게 되는 2회의 냉간 압연을 행하여 제조원가가 높아진다. 뿐만 아니라 고가의 Se를 사용하기 때문에 제조원가가 높아지는 단점이 있다.

[0008] 결정립 성장 억제력을 향상하기 위한 또 다른 제안으로 Sn과 Cr을 복합으로 첨가하고, 슬라브가열 열처리하여 열간 압연, 중간 소둔, 1회 또는 2회 냉간 압연, 탈탄 소둔 후, 질화처리하는 것을 특징으로 하는 방향성 전기강판 제조방법이 있다. 그러나 이 경우, 저철손 고자속밀도의 박물 방향성 전기강판을 제조하기 위한 매우 엄격한 제조기준 즉, 산가용성 Al과 소강 질소함량에 따라 열연판 소둔온도를 엄격히 제어함으로써 열연판 소둔공정이 복잡해질 뿐만 아니라 산소친화력이 강력한 Cr으로 인해 탈탄질화 소둔공정에서 형성되는 산화층이 상당히 치밀하게 형성되므로 탈탄이 용이하지 못하고 질화가 잘 되지 않는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 방향성 전기강판의 제조방법을 제공한다. 구체적으로, 1차 재결정 소둔 공정에서 분위기 가스를 제어함으로써, 금속산화물층 내의 Co 농화를 억제하여, 자성을 향상시킨 방향성 전기강판을 제조하는 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.005% 이하(0%를 제외함), Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0003 내지 0.097% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 전기강판 기재 및 전기강판 기재의 표면 상에 위치하는 금속 산화물층을 포함하고, 금속산화물층은 Co를 0.0005 내지 0.25 중량% 포함한다.

[0011] 전기강판 기재는 Al: 0.005 내지 0.04 중량%, Mn: 0.01 내지 0.2 중량%, N:0.01 중량% 이하, S:0.01 중량% 이하 및 P:0.0005 내지 0.045 중량% 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.

[0012] 금속 산화물층은 Si:10 내지 30 중량%, O: 30 내지 55 중량%, Mg:25 내지 50 중량% 및 잔부 Fe를 더 포함할 수 있다.

[0013] 금속 산화물층의 두께는 0.5 내지 10㎛일 수 있다.

[0014] 전기강판 기재는 결정립을 포함하고, 결정립의 평균 β 각도가 3° 이하일 수 있다.

[0015] (이 때, β 각도란 압연수직면을 기준으로 보았을 때, 집합 조직의 [001]방향이 압연 방향축과 이루는 각도를 의미한다.)

[0016] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 제조방법은 슬라브를 가열하는 단계; 슬라브를 열간 압연하여 열연판을 제조하는 단계; 열연판을 냉간 압연하여 냉연판을 제조하는 단계; 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및 1차 재결정 소둔한 냉연판을 2차 재결정소둔하는 단계;를 포함하고, 1차 재결정 소둔하는 단계는 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계를 포함하고, 제1 승온 단계의 산화능(P_{H2O}/P_{H2})은 0.7 내지 2.0이고, 제2 승온 단계의 산화능은 0.05 내지 0.6이고, 균열 단계의 산화능은 0.3 내지 0.6이다.

[0017] 슬라브는 중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.02 내지 0.08%, Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0005 내지 0.1% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0018] 제1 승온 단계의 산화능 및 제2 승온 단계의 산화능이 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0019] [식 1]

[0020] $0.3 \leq [P1] - [P2] \leq 1.6$

[0021] (식 1에서 [P1] 및 [P2]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 제2 승온 단계의 산화능을 의미한다.)

[0022] 제2 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능이 하기 식 2를 만족할 수 있다.

[0023] [식 2]

[0024] $-0.1 \leq [P3] - [P2] \leq 0.5$

[0025] (식 2에서 [P2] 및 [P3]는 각각 제2 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

[0026] 제1 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능이 하기 식 3를 만족할 수 있다.

[0027] [식 3]

[0028] $0.3 \leq [P1] - [P3] \leq 1.5$

[0029] (식 3에서 [P1] 및 [P3]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

[0030] 제1 승온 단계는 냉연판을 710 내지 770℃의 종료온도까지 승온하는 단계이고, 제2 승온 단계는 제1 승온 단계의 종료 온도에서 830 내지 890℃의 종료온도까지 온도를 승온하는 단계이고, 균열 단계는 제2 승온 단계의 종료 온도 내지 900℃의 범위에서 온도를 유지하는 단계일 수 있다.

[0031] 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계 중 어느 하나 이상의 단계에서 분위기 가스가 질화 기체를 50 중량% 이하로 포함할 수 있다.

[0032] 2차 재결정 소둔하는 단계는 900 내지 1210℃의 균열 온도에서 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 제조방법에 따르면 1차 재결정 소둔 공정에서의 분위기 가스를 제어함으로써, 2차 재결정의 방위를 정확히 제어하여 자성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 알파(α), 베타(β), 델타(δ) 각도의 개념을 설명하기 위한 방향성 전기강판의 개략적인 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판의 개략적인 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 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.

[0036] 여기서 사용되는 전문 용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지 않

는다. 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 또한, 특별히 언급하지 않는 한 %는 중량%를 의미하며, 1ppm 은 0.0001중량%이다.

[0040] 본 발명의 일 실시예에서 추가 원소를 더 포함하는 것의 의미는 추가 원소의 추가량 만큼 잔부인 철(Fe)을 대체하여 포함하는 것을 의미한다.

[0041] 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.

[0043] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 제조방법은 슬라브를 가열하는 단계; 슬라브를 열간 압연하여 열연판을 제조하는 단계; 열연판을 냉간 압연하여 냉연판을 제조하는 단계; 냉연판을 1차 재결정 소둔하는 단계; 및 1차 재결정 소둔한 냉연판을 2차 재결정소둔하는 단계;를 포함한다.

[0044] 이하에서는 각 단계별로 구체적으로 설명한다.

[0045] 먼저, 슬라브를 가열한다.

[0046] 슬라브는 중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.02 내지 0.08%, Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0005 내지 0.1% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0047] 또한, 슬라브는, Al: 0.005 내지 0.04 중량%, Mn: 0.01 내지 0.2 중량%, N:0.01 중량% 이하, S:0.01 중량% 이하 및 P:0.0005 내지 0.045 중량% 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.

[0048] 하기에서는 슬라브의 성분 한정 이유를 설명한다.

[0050] Si: 2.0 내지 6.0 중량%

[0051] 실리콘(Si)은 전기강판의 기본 조성으로 소재의 비저항을 증가시켜 철손(core loss)을 낮추는 역할을 한다.

[0052] Si이 너무 적게 첨가될 경우, 비저항이 감소로 와전류손이 증가하여 철손 특성이 저하되고, 1차 재결정 소둔시 페라이트와 오스테나이트 간 상변태가 활발하게 되어 1차 재결정 집합조직이 심하게 훼손될 수 있다. 또한, 2차 재결정 소둔 시, 페라이트와 오스테나트 간 상변태가 발생하게 되어 2차 재결정이 불안정해질 뿐만 아니라 {110}<001>집합조직이 심하게 훼손될 수 있다.

[0053] 반면, Si이 너무 많이 첨가될 경우, 1차 재결정 소둔 시, SiO_2 및 Fe_2SiO_4 산화층이 과하고 치밀하게 형성되어 탈탄 거동을 지연시킬 수 있다. 이에 따라 페라이트와 오스테나이트 간 상변태가 1차 재결정 소둔 동안 지속적으로 일어나게 되어 1차 재결정 집합조직이 심하게 훼손될 수 있다. 상술한 치밀한 산화층 형성에 따른 탈탄 거동 지연효과로 질화 거동이 지연되어 (Al,Si,Mn)N 및 AlN 등의 질화물이 충분히 형성되지 못하게 되므로 2차 재결정 소둔 시, 2차 재결정에 필요한 충분한 결정립 억제력을 확보할 수 없게 될 수 있다.

[0054] 또한, 전기강판의 기계적 특성인 취성이 증가하고, 인성이 감소하여 압연과정 중, 판파단 발생율이 심화되고, 판간 용접성이 저하되어 용이한 작업성을 확보할 수 없게 될 수 있다. 결과적으로, Si 함량을 상기 소정의 범위로 제어하지 않으면 2차 재결정 형성이 불안정해져 자기적 특성이 심각하게 훼손되고, 작업성이 악화될 수 있다. 더욱 구체적으로 Si는 2.5 내지 5.0 중량% 포함될 수 있다.

[0056] C: 0.02 내지 0.08 중량%

[0057] 탄소(C)는 페라이트 및 오스테나이트 간 상변태를 일으켜 결정립을 미세화시키고, 연신율을 향상시키는데 기여하는 원소로서 취성이 강해 압연성이 좋지 않은 전기강판의 압연성 향상을 위해 필수적인 원소이다.

[0058] 다만, 최종제품에 잔존하게 될 경우, 자기적 시효효과로 인해 형성되는 탄화물을 제품판 내에 석출시켜 자기적 특성을 악화시키는 원소이기 때문에 적정한 함량으로 제어될 수 있다.

[0059] 슬라브 내에 첨가되는 C의 함량은 0.02 내지 0.08 중량%로 첨가된다. 상술한 Si 함량의 범위에서 슬라브에 C가 적게 함유될 경우, 페라이트와 오스테나이트 간 상변태가 충분히 일어나지 않아 슬라브 및 열간압연 미세조직의 불균일화를 야기하게 되며 이로 인해 냉간 압연성까지 해칠 수 있다.

[0060] 반면, 열연판 소둔 열처리 후, 강판 내에 존재하는 잔류탄소에 의해 냉간 압연 중, 전위의 고착을 활성화시켜 전단변형대를 증가시켜 고스핵의 생성장소를 증가킬 수 있다. 이에 따라 1차 재결정 미세조직의 고스결정립 분율을 증가시키게 되므로 C가 많을수록 이로울 것 같으나, 상술한 Si함량의 범위에서 슬라브에 C가 너무 많이 함유될 경우, 1차 재결정 소둔 공정에서 충분한 탈탄을 얻을 수 없을 뿐만 아니라 이로 인해 야기되는 상변태 현상으로 인해 2차 재결정 집합조직의 심하게 훼손되게 되고, 최종제품을 전력기기에 적용 시, 자기시효에 의한 자기적 특성의 열화현상을 초래할 수 있다. 더욱 구체적으로 슬라브 내의 C 함량은 0.03 내지 0.07 중량%일 수 있다.

[0061] 전술하였듯이, 전기강판의 제조 과정에서 1차 재결정 소둔 과정에서의 탈탄으로 인해, 최종 제조되는 전기강판 내에서는 C를 0.005 중량% 이하로 포함한다. 더욱 구체적으로 최종 제조되는 전기강판 내에서는 C를 0.003 중량% 이하로 포함한다.

[0063] Sb: 0.01 내지 0.05 중량%

[0064] 안티몬(Sb)은 결정립계에 편석하여 결정립의 성장을 억제하는 효과가 있고, 2차 재결정을 안정화시키는 효과가 있다. 그러나 융점이 낮아서 1차 재결정 소둔 중, 표면으로의 확산이 용이하여 탈탄이나 산화층형성 및 질화에 의한 침질을 방해하는 효과가 있다. 따라서 Sb를 일정 수준 이상으로 첨가하면 탈탄을 방해하고 베이스코팅의 기초가 되는 산화층 형성을 억제하기 때문에 첨가의 상한이 있다.

[0065] Sb 함량이 너무 적을 경우, 결정립 성장 억제효과가 미미할 수 있다. 반면, Sb 함량이 너무 많을 경우, 결정립 성장 억제효과 및 표면으로의 확산이 심해져 오히려 안정적인 2차 재결정이 얻어지지 않을뿐더러 표면품질까지 나빠질 수 있다.

[0066] 더욱 구체적으로 Sb를 0.02 내지 0.04 중량% 포함될 수 있다.

[0068] Sn: 0.03 내지 0.08 중량%

[0069] 주석(Sn)은 결정립계 편석원소로서 결정립계의 이동을 방해하는 원소이기 때문에 결정립 성장 억제제로서 알려져 있다. 소정의 Si함량 범위에서는 2차 재결정 소둔 시, 원활한 2차 재결정 거동을 위한 결정립 성장 억제력이 부족하기 때문에 결정립계에 편석함으로써 결정립계의 이동을 방해하는 Sn이 반드시 필요하다.

[0070] Sn 함량이 너무 적을 경우, 자기적 특성의 향상 효과가 미미할 수 있다. 반면, Sn 함량이 너무 많을 경우, 1차 재결정 소둔 구간에서 승온속도를 조절하거나 일정시간 유지하지 않으면 결정립 성자 억제력이 너무 강하여 안정적인 2차 재결정을 얻기 어려워 질 수 있다.

[0071] 더욱 구체적으로 Sn를 0.05 내지 0.07 중량% 포함될 수 있다.

[0073] Cr: 0.01 내지 0.2 중량%

[0074] 크롬(Cr)은 열연판소둔판 내 경질상의 형성을 촉진하여 냉간 압연 시, {110}<001>집합조직의 형성을 촉진하고, 1차 재결정 소둔 과정 중, C의 탈탄을 촉진함으로써 집합조직이 훼손되는 현상을 방지할 수 있도록 오스테나이트 상변태 유지시간을 감소시킬 수 있다. 1차 재결정 소둔과정 중, 형성되는 표면의 산화층 형성을 촉진시킴으

로써 결정립 성장 보조 억제제로 사용되는 합금원소 중, Sn과 Sb로 인해 산화층 형성이 저해되는 단점을 해결할 수 있는 효과가 있다.

[0075] Cr 함량이 너무 적을 경우, 전술한 효과가 충분히 발휘되지 않을 수 있다. Cr 함량이 너무 많을 경우, 1차 재결정 소둔 과정 중, 오히려 산화층 형성이 열위하게 되고, 탈탄 및 침질까지 방해할 수 있다.

[0076] 더욱 구체적으로 Cr을 0.02 내지 0.1 중량% 포함할 수 있다.

[0078] Co: 0.0005 내지 0.1 중량%

[0079] 코발트(Co)는 철의 자화를 증가시켜 자속밀도를 향상시키는데 효과적인 합금 원소임과 동시에 비저항을 증가시켜 철손을 감소시키는 합금원소이다.

[0080] Co 함량이 너무 적을 경우, 전술한 효과를 적절히 얻기 어려울 수 있다.

[0081] Co 함량이 너무 많을 경우, 오스테나이트 상변태량이 증가하여 미세조직, 석출물 및 집합조직에 부정정인 영향을 미칠 수 있다.

[0082] 더욱 구체적으로 Co를 0.01 내지 0.05 중량% 포함할 수 있다.

[0083] 후술하듯이, 슬라브 내에는 Co를 0.0005 내지 0.1 중량% 포함하나, 최종 제조되는 전기강판 기재에는 Co를 0.0003 내지 0.097 중량% 포함할 수 있다. 이는 금속 산화물 층으로 Co가 일부 확산되기 때문이며, 이로 인해, 최종 제조되는 전기강판 기재에서는 슬라브 내의 Co에 비해 함량이 적을 수 있다. Co는 25% 이하로 확산될 수 있다. 더욱 구체적으로 최종 제조되는 전기강판 기재에는 Co를 0.008 내지 0.05 중량% 포함할 수 있다.

[0085] Al: 0.005 내지 0.04 중량%

[0086] 알루미늄(Al)은 열간 압연과 열연판 소둔 시에 미세하게 석출된 AlN 이외에도 냉간 압연 이후의 소둔공정에서 암모니아가스에 의해서 도입된 질소이온이 강중에 고용상태로 존재하는 Al, Si, Mn과 결합하여 (Al,Si,Mn)N 및 AlN 형태의 질화물을 형성함으로써 강력한 결정립 성장 억제제의 역할을 수행할 수 있다.

[0087] Al을 더 포함할 경우, 너무 적게 포함되면, 질화물이 형성되는 개수와 부피가 상당히 낮은 수준이기 때문에 억제제로의 충분한 효과를 기대할 수 없을 수 있다. Al 함량이 너무 많을 경우, 조대한 질화물을 형성함으로써 결정립 성장 억제력이 떨어질 수 있다.

[0088] 더욱 구체적으로 Al을 더 포함할 경우, Al을 0.01 내지 0.035 중량% 포함할 수 있다.

[0090] Mn: 0.01 내지 0.2 중량%

[0091] 망간(Mn)은 Si과 동일하게 비저항을 증가시켜 와전류손을 감소시킴으로써 전체 철손을 감소시키는 원소이다. 소강상태에서 S와 반응하여 Mn계 황화물을 만들 뿐만 아니라 Si과 함께 질화처리에 의해서 도입되는 질소와 반응하여 (Al,Si,Mn)N의 석출물을 형성함으로써 1차 재결정립의 성장을 억제하여 2차 재결정을 일으키는데 중요한 원소이다. 따라서, Mn을 더 첨가할 수 있다.

[0092] Mn을 더 첨가하는 경우, Mn이 너무 적게 포함되면, 석출물이 형성되는 개수와 부피가 낮은 수준이기 때문에 억제제로서의 충분한 효과를 기대할 수 없다. Mn 함량이 너무 많을 경우, 강판 표면에 Fe_2SiO_4 이외에 (Fe, Mn) 및 Mn 산화물이 다량 형성되어 고온 소둔 중에 형성되는 베이스코팅 형성을 방해하므로 표면품질을 저하시킬 수 있다. 2차 재결정 소둔공정에서 페라이트와 오스테나이트 간 상변태를 유발하기 때문에 집합조직이 심하게 훼손되어 자기적 특성이 크게 저하될 수 있다. 더욱 구체적으로 Mn을 더 포함할 경우, 0.05 내지 0.15 중량% 포함될 수 있다.

[0094] N: 0.01 중량% 이하

[0095] 질소(N)는 Al과 반응하여 AlN 을 형성하는 중요한 원소로서, 슬라브 내에 N을 더 포함할 경우, 첨가되는 N의 함량은 0.01 중량% 이하로 첨가된다. N을 너무 많이 첨가할 경우, 열간 압연 이후의 공정에서 질소확산에 의한

Blister라는 표면결함을 초래하고, 슬라브 상태에서 질화물이 너무 많이 형성되기 때문에 압연이 어려워져 이후의 공정이 복잡해지고, 제조단가가 상승하는 원인이 될 수 있다.

[0096] 한편, (Al,Si,Mn)N, AlN, (Si,Mn)N 등의 질화물을 형성하기 위해 추가로 필요한 N은 냉간 압연 이후의 소둔공정에서 질화 가스를 이용하여 강중에 질화처리를 실시하여 보강한다. 2차 재결정 소둔 과정에서 N이 일부 제거된다. 따라서, 최종 제조되는 전기강판의 N 함량이 0.01 중량% 이하일 수 있다.

[0098] S: 0.01 중량% 이하

[0099] 황(S)은 함량이 너무 많을 경우, MnS의 석출물들이 슬라브 내에서 형성되어 결정립성장을 억제하게 되며, 주조시, 슬라브 중심부에 편석하여 이후 공정에서의 미세조직을 제어하기가 어렵다. 따라서 MnS를 결정립성장 억제제로서 사용하지 않을 경우, S가 불가피하게 들어가는 함량 이상으로 첨가하지 않을 수 있다.

[0101] P: 0.0005 내지 0.045 중량%

[0102] 인(P)은 결정립계에 편석하여 결정립계의 이동을 방해하고, 동시에 결정립 성장을 억제하는 보조적인 역할이 가능하며, 미세조직 측면에서 {110}<001>집합조직을 개선하는 효과가 있다.

[0103] P를 더 포함할 경우, P 함량이 너무 적으면, 첨가효과가 미미하며, P 함량이 너무 많은 경우, 취성이 증가하여 압연성이 크게 나빠질 수 있다.

[0105] 다시 제조 방법에 대한 설명으로 돌아오면, 슬라브를 가열 시, 1250℃ 이하로 가열할 수 있다. 이로 인해 고용되는 Al과 N, M과 S의 화학당량적 관계에 따라 Al계 질화물이나 Mn계 황화물의 석출물이 불완전용체화 내지 완전용체화되도록 할 수 있다.

[0106] 다음으로, 슬라브의 가열이 완료되면 열간 압연을 행하여 열연판을 제조한다. 열연판의 두께는 1.0 내지 3.5mm가 될 수 있다.

[0107] 이후, 열연판 소둔을 실시할 수 있다. 열연판 소둔하는 단계에서 균열 온도는 800 내지 1300℃가 될 수 있다.

[0108] 다음으로, 열연판을 냉간 압연하여 냉연판을 제조한다. 냉간 압연하는 단계는 1회의 냉간 압연 또는 중간 소둔을 포함한 2회 이상의 냉간 압연을 실시할 수 있다. 냉연판의 두께는 0.1 내지 0.5mm가 될 수 있다.

[0109] 다음으로, 냉연판을 1차 재결정 소둔한다. 1차 재결정 소둔 공정에서 습윤분위기의 수분은 지철과 지철에 함유되어있는 Si과 반응하여 산화층을 형성하게 되는 데, 산화층이 필요 이상으로 과도하게 치밀하게 형성되면 기지금속 내부 탄소가 외부로 원활히 탈탄되지 못해 페라이트와 오스테나이트간 상변태가 지속되어 1차 재결정 집합조직 중 고스 집합 조직이 훼손되게 된다. 또한, 강판 내의 합금 원소 중 Co가 과도하게 산화층으로 확산하고, 강판 내부에는 Co가 적절히 잔존하지 않게 되는 문제가 발생한다. Co가 강판 내부에 잔존하지 않을 경우, Co 첨가를 통한 자성 향상 효과를 적절히 얻을 수 없다.

[0110] 전술한 산화층 형성에 있어서 가열대 및 균열대의 산화능을 적절히 제어하면 이러한 고스집합조직 훼손을 최소화할 수 있다. 또한, Co가 산화층으로 과도하게 확산하는 것을 억제할 수 있다.

[0111] 구체적으로 1차 재결정 소둔하는 단계는 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계를 포함하고, 제1 승온 단계의 산화능(P_{H2O}/P_{H2})은 0.7 내지 2.0이고, 제2 승온 단계의 산화능은 0.05 내지 0.6이고, 균열 단계의 산화능은 0.3 내지 0.6이다.

[0112] 제1 승온 단계의 산화능은 0.7 내지 2.0일 수 있다. 제1 승온 단계의 산화능이 너무 작으면, 탈탄반응에 필요한 수분이 충분히 공급되지 못하여 탈탄이 지연되어 고스집합조직 훼손을 초래할 수 있다. 제1 승온 단계의 산화능이 너무 크면, 기지금속의 표면에 산화층이 치밀하게 형성되게 되어 탈탄거동이 지연되고 결국 고스집합조직 훼손을 초래하게 된다. 더욱 구체적으로 제1 승온 단계의 산화능은 0.8 내지 1.5 일 수 있다.

[0113] 제1 승온 단계는 냉연판을 710 내지 770℃의 종료온도까지 승온하는 단계이다. 더욱 구체적으로 제1 승온 단계의 종료 온도는 720 내지 760℃이다. 더욱 구체적으로 제1 승온 단계의 종료 온도는 740℃이다.

[0114] 제2 승온 단계의 산화능은 0.05 내지 0.6 일 수 있다. 제2 승온 단계의 산화능이 너무 작으면, 분위기 가스 중

의 수분에 의한 산소의 빠른 확산속도에 비해 산소공급량이 부족하여 탈탄이 지연될 수 있다. 제2 승온 단계의 산화능이 너무 크면, 표면에 산화층이 과도하게 치밀해져 탈탄 거동이 지연되는 문제가 발생할 수 있다. 더욱 구체적으로 제2 승온 단계의 산화능은 0.1 내지 0.3 일 수 있다.

[0115] 제2 승온 단계는 제1 승온 단계의 종료 온도에서 830 내지 890℃의 종료온도까지 승온하는 단계이다. 즉, 710 내지 770℃의 시작 온도에서 830 내지 890℃의 종료온도까지 승온하는 단계이다. 더욱 구체적으로 제2 승온 단계의 시작 온도는 720 내지 760℃이고, 종료 온도는 840 내지 880℃이다. 더욱 구체적으로 제2 승온 단계의 시작 온도는 740℃이고, 종료 온도는 860℃이다.

[0116] 제1 승온 단계의 산화능 및 제2 승온 단계의 산화능이 하기 식 1을 만족할 수 있다.

[0117] [식 1]

[0118] $0.3 \leq [P1] - [P2] \leq 1.6$

[0119] (식 1에서 [P1] 및 [P2]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 제2 승온 단계의 산화능을 의미한다.)

[0120] 식 1을 만족할 시, 탈탄을 원활하게 수행하면서, 동시에 표면에 산화층이 과도하게 치밀해지는 문제를 해결할 수 있다. 더욱 구체적으로 식 1의 하한은 0.5 상한은 1.0이 될 수 있다.

[0121] 균열 단계의 산화능은 0.3 내지 0.6 일 수 있다. 균열 단계의 산화능이 너무 작으면, 분위기 가스 중 수분에 의한 산소공급량이 부족해져 탈탄소둔 후에도 잔류탄소가 많이 남게 되어 최종제품의 악영향을 미치는 자기시효 효과가 나타날 수 있다. 균열 단계의 산화능이 너무 크면, 과도하게 치밀한 외부산화층이 형성되어 추가적인 탈탄을 방해하게 되어 전술한 효과와 마찬가지로 자기시효 효과가 높아져 최종제품의 사용 중 지속적인 자성열화를 일으킬 수 있다. 더욱 구체적으로 균열 단계의 산화능은 0.35 내지 0.55 일 수 있다.

[0122] 균열 단계는 제2 승온 단계의 종료 온도 내지 900℃의 범위에서 온도를 유지 하는 단계이다. 즉, 830 내지 890℃의 시작 온도에서 900℃의 범위에서 온도를 유지 하는 단계이다. 더욱 구체적으로 균열 단계는 840℃ 내지 900℃의 범위에서 온도를 유지 하는 단계이다. 더욱 구체적으로 균열 단계는 860℃ 초과 내지 900℃ 범위에서 온도를 유지 하는 단계이다.

[0123] 제2 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능이 하기 식 2를 만족할 수 있다.

[0124] [식 2]

[0125] $-0.1 \leq [P3] - [P2] \leq 0.5$

[0126] (식 2에서 [P2] 및 [P3]는 각각 제2 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

[0127] 식 2을 만족할 시, 탈탄을 원활하게 수행하면서, 동시에 표면에 산화층이 과도하게 치밀해지는 문제를 해결할 수 있다. 더욱 구체적으로 식 2의 하한은 0.05 상한은 0.4가 될 수 있다.

[0128] 제1 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능이 하기 식 3를 만족할 수 있다.

[0129] [식 3]

[0130] $0.3 \leq [P1] - [P3] \leq 1.5$

[0131] (식 3에서 [P1] 및 [P3]는 각각 제1 승온 단계의 산화능 및 균열 단계의 산화능을 의미한다.)

[0132] 식 3을 만족할 시, 탈탄을 원활하게 수행하면서, 동시에 표면에 산화층이 과도하게 치밀해지는 문제를 해결할 수 있다. 더욱 구체적으로 식 3의 하한은 0.5 상한은 1.0이 될 수 있다.

[0133] 전술한 것과 같이, 1차 재결정 소둔 공정 중 산화능을 정밀히 제어함으로써, 고스 집합 조직의 훼손을 방지할 수 있고 또한, Co가 산화층으로 과도하게 확산하는 것을 방지할 수 있다. 또한, 최종 제조되는 방향성 전기강판에서의 고스 집합 조직의 집적도가 향상 되며, 2차 재결정립 크기가 조대해져 자기적특성이 열위해지는 문제를 방지할 수 있다. 또한, 강판 기재에 Co가 다량 잔존하고, 금속 산화물층으로 확산하는 Co의 양을 저감할 수 있다. 더 나아가, 1차 재결정 소둔 공정 중 산화능을 정밀히 제어함으로써, 2차 재결정 소둔 이후, 2차 재결정의 평균 β 각도를 3° 이하로 제어할 수 있다. 이를 통해 우수한 자기적 특성을 확보할 수 있다. β 각도란 압연 수직면을 기준으로 보았을 때, 집합 조직의 [001]방향이 압연 방향축과 이루는 각도를 의미한다.

[0134] 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계 중 어느 하나 이상의 단계에서 분위기 가스가 질화 기체를 50 중량

% 이하로 포함할 수 있다. 질화 기체는 구체적으로 암모니아를 포함할 수 있다. 질화 기체를 적정량 포함함으로써, 강판에 질소이온을 도입하여 억제제인 (Al,Si,Mn)N, AlN 등을 석출하여 억제제로서 활용할 수 있다.

[0135] 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계는 온도구간에 따라 구별되는 것이며, 각 단계는 연속적으로 수행될 수 있다.

[0136] 다음으로, 1차 재결정 소둔 열처리가 종료되기 직전 내지 직후 환원성 분위기에서 1차 재결정 소둔된 강판의 표면에 형성된 외부산화층 중 일부 내지 전부를 환원시켜 제거할 수 있다.

[0137] 다음으로, 1차 재결정 소둔한 냉연판을 2차 재결정소둔할 수 있다. 2차 재결정 소둔 전에 강판에 소둔 분리제를 도포할 수 있다. 소둔 분리제에 대해서는 널리 알려져 있으므로, 자세한 설명은 생략한다. 일 예로 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 사용할 수 있다.

[0138] 2차 재결정 소둔의 목적은 크게 보면 2차 재결정에 의한 {110}<001> 집합조직 형성, 1차 재결정 소둔 시 형성된 산화층과 MgO의 반응에 의한 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 균열단계에서는 100% 수소분위기에서 장시간 유지하여 불순물을 제거한다.

[0139] 2차 재결정 소둔하는 단계는 900 내지 1210℃의 균열 온도에서 수행할 수 있다.

[0140] 2차 재결정 소둔 단계에서 1차 재결정 소둔 과정에서 형성된 산화층과 소둔 분리제 성분이 반응하여 금속 산화물층을 형성하게 된다.

[0141] 이 때, 금속 산화물층은 Co를 0.0005 내지 0.25 중량% 포함한다. 전술하였듯이, 1차 재결정 소둔 과정에서 산화도를 정밀하게 제어함으로써, 산화층으로의 Co 확산을 억제하여, 금속 산화물 층 내에 Co 함량이 전술한 것과 같이, 포함하게 된다. 금속 산화물층이 Co를 너무 많이 포함할 시, 반대로 강판 기재 내에 Co가 적게 포함되므로, Co로 인한 자성 향상 효과를 얻기 어렵다. 더욱 구체적으로 금속 산화물층은 Co를 0.005 내지 0.25 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 금속 산화물층은 Co를 0.008 내지 0.23 중량% 포함할 수 있다. 금속 산화물층 내의 합금 성분은 두께에 따른 농도 구배를 가질 수 있으며, 본 발명의 일 실시예에서 금속 산화물 층의 합금 성분은 금속 산화물층 내의 평균 함량을 의미한다.

[0142] 금속 산화물층은 Co 외에도 Si:10 내지 30 중량%, O: 30 내지 55 중량%, Mg:25 내지 50 중량% 및 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 더 포함한다. Si, Fe 등은 강판 기재로부터 유래될 수 있다. Mg는 소둔 분리제로부터 유래될 수 있다. O는 1차 재결정 소둔 과정에서 분위기 중 산소의 확산으로부터 유래될 수 있다.

[0143] 금속 산화물층은 0.5 내지 10 ㎛ 두께로 형성될 수 있다. 더욱 구체적으로 0.5 내지 5 ㎛ 두께로 형성될 수 있다. 더욱 구체적으로 1 내지 3㎛ 두께로 형성될 수 있다. 이 때 두께는 평균 두께를 의미한다.

[0144] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판의 단면을 도 2에서 개략적으로 나타낸다. 도 2에 나타나듯이, 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 전기강판 기재(10) 및 전기강판 기재(10)의 표면 상에 위치하는 금속 산화물층(20)을 포함한다. 도 2에는 금속 산화물층(20)이 일면에 위치하는 예를 나타내었으나, 이에 제한되지 아니하며, 금속 산화물층(20)은 전기강판 기재(10)의 표면 중 일면 또는 양면 상에 위치할 수 있다.

[0146] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 기재(10)는 중량%로, Si: 2.0 내지 6.0%, C: 0.005% 이하, Sb: 0.01 내지 0.05%, Sn:0.03 내지 0.08%, Cr:0.01 내지 0.2% 및 Co: 0.0003 내지 0.9% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함한다.

[0147] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 기재(10)는 Al: 0.005 내지 0.04 중량%, Mn: 0.01 내지 0.2 중량%, N:0.01 중량% 이하, S:0.01 중량% 이하 및 P:0.0005 내지 0.045 중량% 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.

[0148] 방향성 전기강판의 합금 성분 및 미세 조직은 전술한 것과 동일하므로, 중복되는 설명은 생략한다.

[0149] 또한, 금속 산화물층(20)은 Co를 0.0005 내지 0.5 중량% 포함할 수 있다.

[0150] 금속 산화물층(20)은 Si:10 내지 30 중량%, O: 30 내지 55 중량%, Mg:25 내지 50 중량% 및 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 더 포함할 수 있다. 금속 산화물층(20)은 그 밖의 Mn, Al 등을 더 포함할 수 있다.

[0151] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판 기재는 2차 재결정을 포함하고, 2차 재결정의 평균 β 각도가 3°

이하이다.

[0152] 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 철손 및 자속밀도 특성이 특히 우수하다. 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 자속밀도(B_8)이 1.9T 이상이고, 철손($W_{17/50}$)이 0.85W/kg 이하일 수 있다. 이 때, 자속밀도 B_8은 800A/m의 자기장하에서 유도되는 자속밀도의 크기(Tesla)이고, 철손 $W_{17/50}$은 1.7Tesla 및 50Hz 조건에서 유도되는 철손의 크기(W/kg)이다. 더욱 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 의한 방향성 전기강판은 자속밀도(B_8)이 1.91T 이상이고, 철손($W_{17/50}$)이 0.83W/kg 이하일 수 있다.

[0154] 이하 본 발명의 구체적인 실시예를 기재한다. 그러나 하기 실시예는 본 발명의 구체적인 일 실시예일뿐 본 발명이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0156] **실시예**

[0157] 중량%로, Si : 3.4%, C : 0.06%, S : 0.005%, N : 0.005%, Al : 0.029%, Sb 0.027%, Sn 0.065%, P : 0.030%, Cr 0.04% 및 Co: 0.032% 나머지 성분은 잔부 Fe와 기타 불가피하게 함유되는 불순물을 함유하는 강재를 진공용해한 후 잉곳을 만들고, 이어서 1150℃의 온도로 가열한 다음 두께 2.3㎜로 열간압연하였다. 열연판은 1085℃의 온도로 가열한 후 920℃에서 160초간 유지하고 물에 급냉하였다. 열연판 소둔판은 산세한 후 0.23㎜ 두께로 1회 압연하고, 하기 표 1에 기재된 산화능으로 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계의 분위기를 제어하고, 암모니아 혼합 가스 분위기에서 유지하여 탄소 함량 30ppm 이하, 질소함량이 170ppm이 되도록 탈탄 및 질화하였다. 제1 승온 단계는 상온 내지 740℃에서 평균 수행하였다. 제2 승온 단계는 740℃ 초과 내지 860℃에서 수행하였다. 균열 단계는 860℃ 내지 900℃의 온도 범위에서 유지하였다.

[0158] 전기강판의 양 표면에 약 2.8 ㎛ 평균 두께의 금속 산화물층이 형성된 것을 확인하였다. 금속 산화물층 내의 Co 함량은 강판 기재 내의 Co 함량을 측정한 후, 슬라브의 Co 함량(0.032 중량%)에서 강판 기재 내의 Co 함량을 제외하고, 금속 산화물층으로 확산된 Co 함량의 총량을 표 2에 표시하였다. 확산된 Co 함량에서 금속산화물층의 평균 두께로 환산하여, 금속 산화물층 내의 Co 함량을 구하였다.

[0159] 금속산화물층은 Co외에 Si: 약 21 중량%, O: 약 32 중량%, Mg: 약 45 중량%을 포함하고, 잔부는 Fe 및 불가피한 불순물이었다.

[0161] 이 강판에 소둔분리제인 MgO를 도포하여 2차 재결정 소둔하였고, 2차 재결정 소둔은 1200℃ 까지는 25 부피% 질소 + 75 부피% 수소의 혼합분위기로 하였고, 1200℃ 도달후에는 100 부피% 수소분위기에서 10시간 이상 유지후 노냉하였다. 각각의 조건에 대하여 자기적 특성 및 β각도를 측정한 값은 표 1과 같다. 2차 재결정 소둔 후 강판의 자속밀도(B_8,800A/m) 및 철손($W_{17/50}$)을 single sheet 측정법을 이용하여 측정하여 하기 표 2에 정리하였다.

표 1

[0162]

온도 영역별 산화능			식1	식 2	식 3	구분
제1 승온 단계	제2 승온 단계	균열 단계				
0.46	0.044	0.18	0.416	0.136	0.28	비교재1
0.39	0.012	0.53	0.378	0.518	-0.14	비교재2
0.4	0.036	0.87	0.364	0.834	-0.47	비교재3
0.33	0.07	0.22	0.26	0.15	0.11	비교재4
0.14	0.426	0.54	-0.286	0.114	-0.4	비교재5
0.36	0.329	0.96	0.031	0.631	-0.6	비교재6
0.38	0.95	0.23	-0.57	-0.72	0.15	비교재7
0.59	0.8	0.49	-0.21	-0.31	0.1	비교재8
0.18	0.62	0.85	-0.44	0.23	-0.67	비교재9
1.18	0.027	0.16	1.153	0.133	1.02	비교재10
1.84	0.015	0.56	1.825	0.545	1.28	비교재11
1.02	0.027	0.71	0.993	0.683	0.31	비교재12
1.44	0.1	0.11	1.34	0.01	1.33	비교재13

1.83	0.388	0.47	1.442	0.082	1.36	발명재1
0.95	0.256	0.51	0.694	0.254	0.44	발명재2
0.79	0.398	0.47	0.392	0.072	0.32	발명재3
1.53	0.234	0.58	1.296	0.346	0.95	발명재4
0.71	0.423	0.33	0.287	-0.093	0.38	발명재5
1.51	0.59	0.55	0.92	-0.04	0.96	발명재6
1.71	0.406	0.46	1.304	0.054	1.25	발명재7
1.02	0.136	0.33	0.884	0.194	0.69	발명재8
1.69	0.116	0.46	1.574	0.344	1.23	발명재9
0.76	0.159	0.39	0.601	0.231	0.37	발명재10
0.97	0.266	0.51	0.704	0.244	0.46	발명재11
1.2	0.24	0.46	0.96	0.22	0.74	발명재12
0.84	0.067	0.51	0.773	0.443	0.33	발명재13
1.76	0.371	0.47	1.389	0.099	1.29	발명재14
1.27	0.26	0.74	1.01	0.48	0.53	비교재14
1.01	0.79	0.15	0.22	-0.64	0.86	비교재15
1.88	0.81	0.38	1.07	-0.43	1.5	비교재16
0.96	0.85	0.85	0.11	0	0.11	비교재17
2.48	0.015	0.13	2.465	0.115	2.35	비교재18
3.4	0.031	0.48	3.369	0.449	2.92	비교재19
2.43	0.019	0.92	2.411	0.901	1.51	비교재20
3.45	0.056	0.12	3.394	0.064	3.33	비교재21
3	0.381	0.43	2.619	0.049	2.57	비교재22
3.13	0.202	0.71	2.928	0.508	2.42	비교재23
3.26	0.72	0.21	2.54	-0.51	3.05	비교재24
2.44	0.71	0.52	1.73	-0.19	1.92	비교재25
2.94	0.69	0.63	2.25	-0.06	2.31	비교재26

표 2

[0163]

철손 ($W_{17/50}$)	자속밀도 (B_8)	전기강판 기재 내의 Co 함량(중량%)	금속 산화물 층으로의 Co 확산양(중량%)	금속 산화물 층 내의 Co 함량(중량%)	평균 β각도(°)	구분
0.88	1.86	0.0204	0.0116	0.476	6	비교재1
0.85	1.88	0.0196	0.0124	0.509	5.4	비교재2
0.91	1.86	0.0232	0.0088	0.361	5.8	비교재3
0.88	1.89	0.021	0.011	0.452	4.6	비교재4
0.84	1.9	0.0208	0.0112	0.46	3.7	비교재5
0.87	1.88	0.0239	0.0081	0.333	5.8	비교재6
0.88	1.86	0.0236	0.0084	0.345	5.5	비교재7
0.88	1.89	0.0205	0.0115	0.472	5.1	비교재8
0.9	1.86	0.0244	0.0076	0.312	5.4	비교재9
0.88	1.89	0.0234	0.0086	0.353	5.1	비교재10
0.84	1.9	0.0214	0.0106	0.435	4.4	비교재11
0.88	1.89	0.0203	0.0117	0.481	5.4	비교재12
0.86	1.89	0.0201	0.0119	0.489	4.5	비교재13
0.8	1.92	0.0287	0.0033	0.136	2.6	발명재1
0.8	1.92	0.0317	0.0003	0.012	2.9	발명재2
0.81	1.92	0.0272	0.0048	0.197	1.8	발명재3
0.8	1.92	0.0269	0.0051	0.209	1.9	발명재4
0.81	1.94	0.0283	0.0037	0.152	2.7	발명재5
0.79	1.93	0.0265	0.0055	0.226	2.6	발명재6
0.79	1.94	0.0273	0.0047	0.193	1.9	발명재7
0.8	1.92	0.0301	0.0019	0.078	2.9	발명재8
0.81	1.92	0.0271	0.0049	0.201	2.9	발명재9
0.79	1.94	0.031	0.001	0.041	2.1	발명재10
0.81	1.93	0.0318	0.0002	0.008	2.6	발명재11
0.8	1.91	0.0271	0.0049	0.201	2.6	발명재12

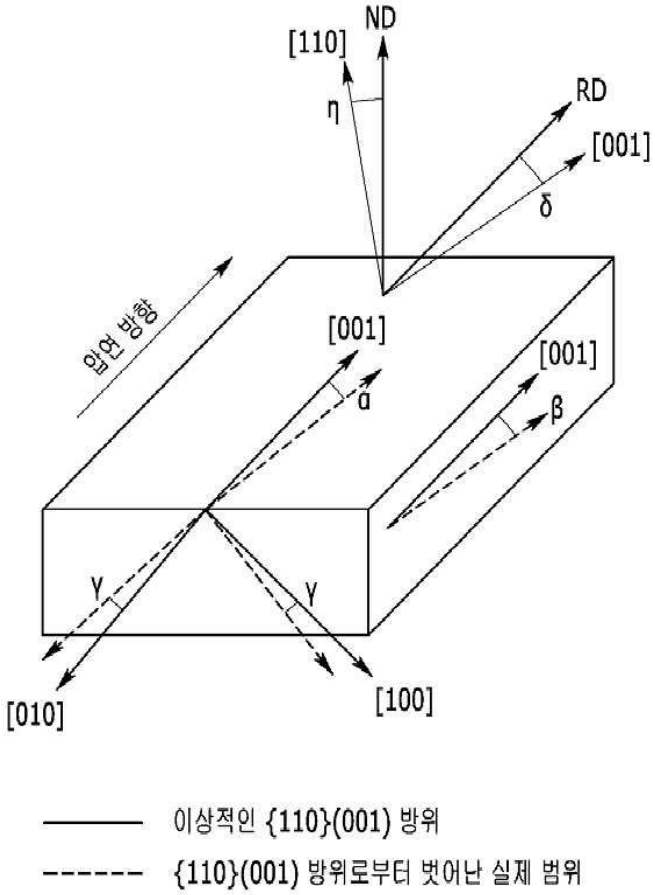
0.81	1.94	0.0264	0.0056	0.23	2.1	발명재13
0.81	1.93	0.0276	0.0044	0.181	2.6	발명재14
0.84	1.89	0.0234	0.0086	0.353	3.8	비교재14
0.85	1.89	0.0198	0.0122	0.501	5.1	비교재15
0.86	1.9	0.0197	0.0123	0.505	3.5	비교재16
0.85	1.88	0.0209	0.0111	0.456	5.1	비교재17
0.95	1.86	0.0195	0.0125	0.513	5.9	비교재18
0.85	1.88	0.0217	0.0103	0.423	5.2	비교재19
0.93	1.85	0.0253	0.0067	0.275	5.1	비교재20
0.86	1.88	0.019	0.013	0.534	5	비교재21
0.84	1.9	0.0239	0.0081	0.333	3.7	비교재22
0.85	1.89	0.021	0.011	0.452	5.1	비교재23
0.95	1.87	0.0252	0.0068	0.279	5.3	비교재24
0.88	1.88	0.0252	0.0068	0.279	5.2	비교재25
0.89	1.85	0.0251	0.0069	0.283	5.2	비교재26

[0164] 상기 표 1 및 표 2와 같이, 제1 승온 단계, 제2 승온 단계 및 균열 단계의 산화능을 적절히 제어한 발명재가 비교재에 비해, 금속 산화물층으로 Co의 확산이 억제되었으며, 2차 재결정의 평균 β 각도가 작고 궁극적으로 자기적 특성이 우수함을 확인할 수 있다.

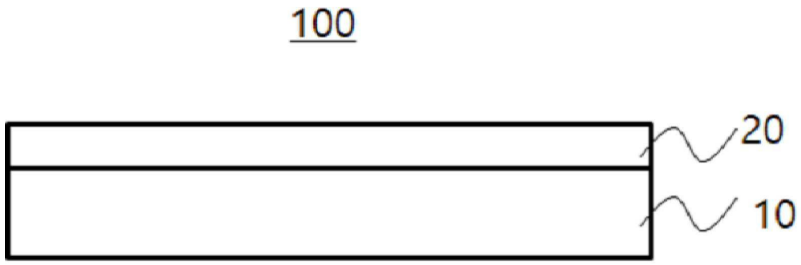
[0165] 본 발명은 상기 구현예 및/또는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 구현예 및/또는 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

도면1


ND
[110]
η
RD
[001]
δ
압연 방향
[001]
α
[001]
β
γ
γ
[010]
[100]
이상적인 {110}(001) 방위
{110}(001) 방위로부터 벗어난 실제 범위

도면2


100
20
10