

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁷	(45) 공고일자	2000년09월 15일	
C21D 8/12	(11) 등록번호	10-0266552	
C21D 9/46	(24) 등록일자	2000년06월 27일	
(21) 출원번호	10-1995-0046893	(65) 공개번호	특 1996-0023141
(22) 출원일자	1995년 12월 05일	(43) 공개일자	1996년 07월 18일
(30) 우선권주장	94-300894 1994년 12월 05일 일본 (JP)		
	95-161958 1995년 06월 28일 일본 (JP)		
(73) 특허권자	가와사끼 세이데쓰 가부시카가이샤	에모토 간지	
	일본 효고현 고베시 주오구 기따촌마찌도리 1쵸메 1방 28고		
(72) 발명자	이노구찌유끼오		
	일본국지바겐지바시주오구가와사끼쵸 1반찌가와사끼세이데쓰가부시카가이샤		
	넛꼬겐규쇼나이		
(74) 대리인	박해선, 윤여범		

심사관 : 박기학

(54) 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판 및 그 제조방법

요약

본 발명은, 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판에 관한 것이며, 이 강판의 개개의 결정립중, 면적으로 적어도 95%가, 이 강판의 압연방향에 대해 5° 이내에 [001]축을 가지며, 또한 판면 수직방향에 대해 5° 이내에 [110]축을 갖는, 직경이 5~50nm의 조대한 2차 재결정립으로 이루어지고, 이와 같은 조대한 2차 재결정립중 또는 입계에, 이 조대 2차립의 [001]축에 대한 [001]축의 상대각도가 2~30°인, 직경이 0.05~2nm의 세결정립을 갖는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 손실이 낮은 일방향성 전자강판.

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판 및 그 제조 방법

[도면의 간단한 설명]

제1도는 코셀(Kosel)법에 의한 강판의 압연방향 RD 주변 및 판면 수직방향 ND 주변의 입체각의 설명도.

제2도는 본 발명 강판의 컴퓨터 · 컬러맵핑의 일례를 나타내는 모식도.

제3도는 (α , β , γ)각에 의한 방위표시의 설명도.

제4도는 종래 강판의 컴퓨터 · 컬러맵핑의 일례를 나타내는 모식도.

제5도는 큰 고스방위 2차 재결정립, MnSe 석출물 및 세립의 우선 방위와 격자정수의 관계를 나타내는 모식도.

제6도는 2차 재결정 소둔초기에 [001]축에서 약간 변위된 세결정립(사선으로 나타낸 입자)이 고스방위 2차 결정립에 잠식되지 않는 상황을 나타내는 모식도.

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판에 관한 것이며, 특히 규소강판의 2차 재결정집합조직을 제어함으로써 자기특성의 향상을 도모하려는 것이다.

일방향성 전자강판은 주로 변압기 및 그외의 전기기기의 철심으로 사용되고, 그 자화특성이 우수하다는 것, 즉, B_8 값으로 대표되는 자속밀도가 높으며, 또, $W_{17/50}$ 값으로 대표되는 철손이 낮을 것이 요구되고 있다.

이와 같은 일방향성 전자강판의 자기특성을 향상시키기 위하여는, 첫째, 강판중의 2차 재결정립의 <001>축을 압연방향에 고도로 맞추는것, 둘째, 최종제품중에 잔존하는 불순물이나 석출물을 가능한한 적게하는 것이 중요하다.

그래서, 엔.피.고스(N.P.Goss)에 의해서 일방향성 전자강판의 2단 냉연에 의한 기본적인 제조방법이 제

안된 이래, 그 제조방법에 많은 개선을 거듭하여, 자속밀도 및 철손치는 매년 개량되어 왔다. 그중에서도 특히 대표적인 것으로서는, 일본국 특공소 40-15644호 공보에 개시된 AIN 석출상을 이용하는 방법 및 일본국 특공소 51-13469호 공보에 개시된 소량의 Sb와, 미량의 Se, S의 어느 한쪽 또는 양쪽을 인히비터로서 이용하는 방법이 있으며, 이들 방법에 의하면 B_0 이 1.89T를 초과하는 제품을 얻을 수 있도록 되었다.

그러나, 전자의 AIN 석출상을 이용하는 방법은, 높은 자속밀도는 얻어지지만, 마무리 소둔 후의 2차 재결정이 커지기 때문에 철손이 비교적 크다는 결점이 있었다.

이점에 관하여는, 일본국 특공소 54-13846호 공보에 있어서, AIN 석출상을 이용한 고압하물의 냉연공정 도중에 온간압연을 실시함으로써 마무리 소둔후의 2차 재결정립을 미립화한다는, 철손의 개량법이 제안되고, 철손 $W_{17/50}$ 이 1.05W/kg보다 낮은 제품도 얻을 수 있게 되었지만, 자속밀도가 높은 것에 비해서 오히려 충분한 저철손화를 도모할 수 있다고는 말하기 어려운 것에 더하여, 특히 코일 소둔에 의한 온간압연공정이 공업적 생산으로서 경제적이지 못하며, 따라서 안정한 공정에 의해서 제조하는 데는 여전히 해결해야 할 문제점을 남기고 있었다.

한편, 후자의 Sb 이나 Se, S을 이용하는 방법은, 본 발명자에 의한 개발성과이며, 이 방법에 의해서도 자속밀도 B_0 이 1.90T이상이고, 또 철손 $W_{17/50}$ 이 1.05W/kg이하인 제품을 얻을 수 있지만, 저철손화에 대해서는 개량해야 할 점을 남기고 있었다.

특히 최근에는, 에너지 위기를 맞아 전력손실의 저감에 대한 요구가 특히 강해지고, 철심재료의 용도에서는 한층 더 개량이 요구되어, 제품의 자속밀도를 더욱 높게 즉 규소강판의 각 결정립의 방위를 {110} <001>의 이상방위에 매우 가까이 함으로써 철손의 저감이 한층 더 요구되어 왔다.

그러나 본 발명자는, 이전부터, 상기의 요구를 만족하는 우수한 규소 강판을 얻기 위하여, 1차 재결정립 나아가서는 2차 재결정립의 방위분포는 어떠해야 하는가에 대해서 근본적인 검토를 행해 왔다.

종래의 X선에 의한 집합조직변화의 관찰로부터 2차 재결정 생성기구를 구하는 이론의 진행방식에서는 현상론적인 관찰밖에 할 수 없었다.

그래서, 본 발명자는, 새롭게 주사전자상을 이용한 투과코셀(Kosel)장치를 개발하고(일본국 특개소 55-33660호 공보, 일본국 실개소 55-38349호 공보참조), 이 장치를 이용하여, 규소강판의 열연공정으로부터 탈탄·1차 재결정 소둔공정에 이르는 각 공정의 시료에 대하여 5~20 μ m 정도의 미소영역 또는 미세한 결정립의 결정방위를 측정하였다. 나아가서는 2차 재결정 도중 또는 2차 재결정 소둔후의 2차 재결정립의 개개의 결정방위에 대해서도 광범위하게 측정하였다.

다음에, 이와 같이 하여 측정한 결정방위의 데이터를 화상분석장치를 이용하여 결정방위 맵으로서 표시(컴퓨터·컬러맵핑)하는 것을 통하여, 고스방위 2차 재결정립의 우선성장기구의 해석을 행했다.

상기의 본 발명자가 개발한 투과코셀장치는, 코셀법에 의해, 결정립의 방위를 효과적으로 측정할 수 있는 장치이다.

본 발명에 있어서, 강판의 압연방향 RD에 대한 각도 및 판면 수직방향 ND에 대한 각도는, 코셀법 표시에 의하면, 제1도에 각각 나타내는 바와 같은 RD 및 ND 주위의 입체각을 의미한다.

얻어진 결과를 요약하면, 다음과 같다.

① 2차 재결정립을 우선적으로 발달시키는 고스핵은, 열연판 표면 근방의 정확한 고스방위의 소영역으로부터 발생한다.

이 고스핵은 냉간압연시에, (110) <001> 방위로부터 (111) <112> 방위로 변화하지만, 재결정 소둔에 의해, 또 (110) <001> 방위로 복귀한다.

이 스트럭처·메모리에 의해서 2차 재결정처리전의 탈탄·1차재결정 소둔판에서는, 고스핵은 (110) <001> 방위를 가진다.

② 탈탄·1차 재결정 소둔판의 표면근방에서는, 고스방위의 1차 재결정립이 집단의 군락을 형성한다. 이 군락의 평균면적은, 1차 재결정립의 평균 면적의 2~6배이다.

③ 다음의 2차 재결정 소둔에 있어서 강판 표면근방에서 우선 생성한 고스방위가 2차 재결정핵은, 다른 방위의 작은 1차 재결정립을 잠식(consume)하여 고스방위의 거대 2차 재결정립에 우선성장한다.

④ Se, Sb 및 Mo를 소량함유하는 일방향성 전자강판의 2차 재결정립의 결정방위를 컴퓨터·컬러맵핑에 의해 시각화한 결과, 큰 고스방위 2차 재결정립과 작은 결정립이 혼재하는 경우, 2차 재결정립의 결정방위는 (110)면 방위에 잘 집적하고, [001] 축 방위가 약간 변위된 상황으로 되어 있다. 이에 대하여, 큰 고스방위 2차 재결정립만이 존재하는 경우에는, 2차 재결정립의 결정방위는 (110)면 방위로부터 10~15° 정도 변위되어 있지만, [001]축방위가 강하게 집적되어 있다.

⑤ (a) Se 및 Al, (b) Se, Sb 및 Al, (c) Se, Sb, Mo 및 Al을 각각 소량 함유하는 일방향성 전자강판의 2차 재결정립의 결정방위를 컴퓨터·컬러맵핑에 의해 시각화한 결과, 고스방위 2차 재결정립의 매트릭스 중 또는 입계에 (110)이 면내회전한 세결정립을 우선생성시킴으로써, 저철손화를 도모할 수 있는 것을 알아내었다.

그리고, 자기특성이 나쁜 시료에서는, (111)면의 세립이 많은 집합체를 생성하는 것에 더하여, 이 주위의 고스방위 2차 재결정립은 [001] 축방위로 부터 조금 변위된 10° 정도로 면내 회전한 상태로 되어 있는 것도 아울러 관찰 하였다.

상술한 바와 같이, 코셀법 나아가서는 컴퓨터·컬러맵핑에 의해 새로운 사실을 알아내었지만, 그중에서도 특히 ⑤의 결과는 최근의 초저철손화를 달성할 수 있는 지표로서 주목받는다.

그래서 본 발명자는, 상기 ⑤의 사실에 의거하여, 최근의 요청에 응할 수 있는 저철손의 전자강판을 개발하기 위하여 예의 연구를 거듭한 결과, 인히비터 조성 및 제조공정에 연구를 더하여, 2차 재결정 집합 조직을 억제함으로써, 종래에 비교할 수 없는 우수한 자기특성의 전자강판을 얻는 것에 성공하였다.

본 발명은, 상기 사실에 입각한 것이다.

즉, 본 발명은, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 일방향성 전자강판으로서, i)상기 강판의 개개의 결정립중, 면적율로 적어도 95%가, 상기 강판의 압연방향에 대하여 5° 이내의 [001]축을 가지면서 판면 수직방향에 대하여 5° 이내의 [110]축을 갖는 직경이 5~50mm의 조대(粗大)한 2차 재결정립으로 이루어지고, ii) 이와 같은 조대한 2차 재결정립중에 또는 입계에, 이 조대한 2차 재결정립의 [001]축에 대한 [001]축의 상대각도가 $2\sim 30^\circ$ 인, 직경이 0.05~2mm의 세결정립을 갖는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판(제1발명)이다.

또, 본 발명은, 강 조성으로서, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량% 외에, 추가로 Sb : 0.005~0.2중량%를 함유시킨 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판(제2발명)이다.

또한, 본 발명은, 강 조성으로, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량% 외에, 추가로 Sb : 0.005~0.2중량%, Mo : 0.003~0.1중량%를 함유시킨 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판(제3발명)이다.

상기 제1~3발명에 있어서, 세립의 결정방위가, (α , β , γ)각 표시로 $\alpha \geq 2^\circ$ 이면서 $\alpha \geq 1.5\beta$ 및 $\alpha \geq 1.5\gamma$ 를 만족하는 경우에 특히 우수한 효과를 얻을 수 있다.

또한 본 발명은, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 방향성 전자강판용 슬라브를, 열간압연하고, 이어서 1회의 냉간압연 또는 중간소둔을 사이에 두는 2회의 냉간압연에 의해서 최종제품판두께로 마무리한 후, 탈탄·1차 개결정 소둔을 실시하고, 이어서 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔분리제를 도포하고 나서, 2차 재결정 소둔 및 순화소둔으로 이루어지는 최종 마무리 소둔을 실시함으로써 일방향성 전자강판을 제조하는 방법에 있어서, 상기 탈탄·1차 개결정 소둔공정에서, 450°C 부터 $800\sim 880^\circ\text{C}$ 의 온도 범위의 소정의 유지온도까지를 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 이상의 속도로 급속하게 가열함과 동시에, 이 탈탄·1차 개결정 소둔의 후반과정에서, 소둔 분위기를 노점이 -20°C 이하인 질소분위기로 하여 침질(浸窒)처리를 실시하는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판의 제조방법이다.

또한, 본 발명은, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 방향성 전자강판용 슬라브를, 열간압연하고, 이어서 1회의 냉간압연 또는 중간소둔을 사이에 두는 2회의 냉간압연에 의해서 최종제품판 두께로 마무리한 후, 탈탄·1차 개결정 소둔을 실시하고, 이어서 강판 표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔분리제를 도포하고 나서, 2차 재결정 소둔 및 순화소둔으로 이루어지는 최종 마무리 소둔을 실시함으로써 일방향성 전자강판을 제조하는 방법에 있어서, 상기 탈탄·1차 개결정 소둔에서, 450°C 부터 $800\sim 880^\circ\text{C}$ 의 온도범위의 소정의 유지온도까지를 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 이상의 속도로 급속하게 가열함과 동시에, 이와 같은 탈탄·1차 개결정 소둔후, 최종마무리 소둔에 앞서, 노점이 -20°C 이하인 질소분위기 중에서 침질처리를 실시하는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판의 제조방법이다.

상기 각 제조방법에 있어서, 탈탄소둔의 후반과정 또는 탈탄 소둔후에 별도로 실시하는 침질처리에 의한 강판 표층부에 있어서의 N 농도의 상승은 $20\sim 200\text{ppm}$ 정도로 하는 것이 바람직하다.

이하, 본 발명에 대해서 구체적으로 설명한다.

먼저, 본 발명을 완성하는데 이른 실험결과에 대해서 상세하게 설명한다.

C : 0.068중량%, Si : 3.34중량%, Mn : 0.076중량%, Sb : 0.030중량%, Mo : 0.012중량%, Al : 0.025중량%, Se : 0.019중량%, P : 0.004중량%, S : 0.003중량% 및 N : 0.0072중량%를 함유하고, 잔부는 실질적으로 Fe의 조성으로 이루어지는 규소강판 슬라브를, 1380°C 에서 4시간 가열하고 규소강종의 인히비터를 해리·고용한 후, 열간압연에 의해 2.2mm 두께의 열연판으로 하였다. 이어서, 1050°C 로 균일화 소둔후, 1030°C 의 중간소둔을 사이에 두는 2회의 냉간압연에 의해서 0.23mm의 두께로 마무리하였다. 그리고, 2회째의 압연시에는 250°C 에서의 온간압연을 실시하였다.

다음에 이 냉연판에 대하여, 노점 : 50°C 의 습수소중에서 840°C 의 탈탄·1차 재결정 소둔을 실시하였다. 이 탈탄·1차 재결정 소둔에 있어서, 회복·재결정 영역의 450°C 로부터 840°C 의 유지온도까지는 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 이상의 급속으로 가열하였다.

그리고, 이와 같은 탈탄·1차 재결정 소둔의 후반과정에서는, 소둔분위기를 노점이 -20°C 이하인 질소분위기로하여 강판표면으로부터 침질처리를 실시하여, 산화를 방지하면서, 강판표면의 질소농도를 높였다.

그후, 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔분리제를 도포하고 나서, 850°C 에서 15시간의 2차 재결정 소둔을 실시하고, 이어서 그 온도로부터 $10^\circ\text{C}/\text{h}$ 로 1050°C 까지 승온시켜 고스방위로 강하게 집적한 2차 재결정립을 발달시킨 후, 1200°C 에서 순화소둔을 행하였다.

이렇게하여 얻어진 제품판의 자기특성은, $B_8=1.969\text{T}$, $W_{17/50}=0.79\text{W/kg}$ 라는 매우 양호한 자기특성을 나타냈다.

그후, 이 제품판에, 플라스마 조사에 의해서 압연방향에 직각방향으로 8mm간격으로 미소변형을 도입한 후의 자기특성을 측정한 바, $B_8=1.969\text{T}$, $W_{17/50}=0.67\text{W/kg}$ 로, 한층 양호한 자기특성을 나타낸 것이 판명되었다.

그래서, 이 제품판의 2차 재결정립의 결정방위를 코셀법으로 조사하고, 또한 이에 의해 얻은 결정방위 데이터를 화상해석장치를 이용하여 컴퓨터·컬러맵핑한 바, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

제2도에, 제품판의 고스방위 2차 재결정립과 인접 2차 결정립의 결정립계를 나타내는 전형적인 컴퓨터·컬러맵핑을 모식도로 나타낸다.

이 시료에서는, 35.7mm의 큰 고스방위 2차 재결정립중 또는 입계를 따라서, 0.2~1.4mm정도의 5개의 작은 결정립(도면중, 번호 2, 5, 6, 9, 10)이 생성되어 있다.

그런데, 전자강판의 결정방위는, 결정립의 대부분을 차지하는 조대 2차 재결정립이 대략 고스방위에 가까운 것도 있어, 상기한 RD 및 ND 주위의 입체각으로 나타내는 것 보다도, 제3도에 나타내는 바와 같이, 판면에 평행한 면내의 각도 α , 이 면에 수직이면서 RD를 포함하는 면내의 각도 β 및 상기 2개의 면에 각각 수직인 면내의 각도 γ 로 나타내는 쪽이, 보다 정확하게 파악할 수 있는 경우가 있으므로, 필요에 따라서 이 α , β , γ 로 나타내는 것으로 한다.

그리고, 제2도에 나타낸 조대 2차 재결정립의 방위는, $\alpha : -1.0^\circ$, $\beta : 0^\circ$, $\gamma : -1.0^\circ$ 이며, 거의 정확한 고스방위 2차 재결정립이라 할 수 있다.

이에 대하여, 5개의 작은 2차 재결정립의 결정방위는, 특정의 우선 방위를 나타내고는 있지 않지만, 5개의 결정립의 방위의 평균 α , β , γ 는 각각, $\alpha : 14.5^\circ$, $\beta : 8.9^\circ$, $\gamma : 8.6^\circ$ 이며, α 값만이 β , γ 값 보다 2배정도 큰 것이 주목된다.

또, 이와는 별도로, 종래의 제조법에 의해 제조한 다음의 시료에 대해서도 동시에 코셀법으로 결정립의 결정방위를 측정하였다.

이 시료는, 탈탄·1차 재결정소둔후, 상술한 바와 같은 특별한 침질처리를 실시하지 않고, 또 2차 재결정소둔할 때에, 850℃에서의 유지처리를 행하지 않고, 단지 850℃로부터 10℃/h의 속도로 1050℃까지 승온하여 고스방위 2차 재결정립을 발달시킨 후, 1200℃에서 순화소둔을 실시하여 얻은 제품판이다.

이 제품판의 자기특성은, $B_8=1.895T$, $W_{17/50}=0.88W/kg$ 이며, 상술한 본 발명의 것에 비하면 자속밀도와 철손이 모두 열화되어 있었다. 제4도에 종래의 제조법에 의해 제조한 제품판의 고스방위 2차 재결정립과 인접 2차 결정립의 결정립계를 나타내는 전형적인 컴퓨터·컬러맵핑을 모식도로 나타낸다.

제4도의 시료에 있어서, 왼쪽 위(제4도에서는 일부밖에 보이지 않음)의 직경 21mm와 오른쪽 아래의 직경 32mm의 큰 고스방위 2차 재결정립($\alpha : 1.5^\circ$, $\beta : 0.5^\circ$, $\gamma : 2.0^\circ$)에 둘러싸여서, 0.2~1.0mm의 작은 다수의 결정립이 집합체로 생성되어 있는 것이 주목된다.

이들 작은 결정립은, 판면에 평행하게(111)면을 갖는 것(도면중, 번호 18, 21, 22, 25, 27, 28, 29, 31, 34, 38)이나, RD방향으로 [110]축을 갖는 것(도면중, 번호 18, 20, 25, 42)이 다수 존재하고 있는 것이 주목된다.

이상의 실험의 결과로부터, 큰 고스방위 2차 재결정립중에 또는 입계에, [001]축이, 이 조대 2차 재결정립의 [001]축으로부터 어느정도 변위된 세립, 비껴말하면 (110)면이 [001]축을 중심으로 하여 면내회전한 세결정립을 우선생성시키면, 자속밀도가 우수하면서 철손이 낮은 전자강판을 얻을 수 있는 것이 규명된 것이다.

이전부터 지적되고 있는 바와 같이, 상기 ⑤ (a) Se 및 Al, (b) Se, Sb 및 Al, (c) Se, Sb, Mo 및 Al을 각각, 소량 함유한 소재의 규소강 성분계는, 상기 ④의 Se, Sb 및 Mo를 소량 함유하는 소재의 규소강 성분계에 비하면, 2차 재결정립의 생성상황이 극단적으로 다르다.

이와 같은 2차 재결정립 생성상황의 극단적인 상위는, 상기 ⑤의 경우는 상기 ④의 경우와 다르게 열연판 표면근방의 고스방위의 집합조직강도가 약하기 때문에, 중간공정의 약간의 상위에 의해서 2차 재결정립의 발달이 극단적으로 상위하게 되는 것에 기인한다고 생각된다.

즉, 상기 ⑤의 경우에는 열연판으로부터의 고스방위 집합조직의 계승기구, 소위 스트러처·메모리의 효과가 작으므로, 제품판의 2차 재결정립은 커지고, 자속밀도가 높은 것에 비해서는 철손이 높다는 것이 지적되고, 이 문제의 해결이 큰 기술과제였지만, 본 발명에 의해서 그것을 해결할 수 있었다.

이하, 이점에 대해서 상술한다.

제2도로부터 알 수 있는 바와 같이, 큰 고스방위 2차 재결정립중 또는 입계에 따라서 0.2~1.4mm정도의 5개의 작은 결정립이 생성되고 있는 것이, 철손이 비교적 낮은 이유로서 지적할 수 있다.

더구나, 이들 세립의 결정방위는 5개의 결정립의 결정방위가, β , γ 값이 작으며 α 값만이 큰 값을 나타내고 있는 것이 주목된다.

이것은, 큰 고스방위 2차 재결정립이라도, 이들의 2차 재결정립의 매트릭스중에 또는 입계에 (110)면이 면내 회전한 세립을 우선생성시키는 것이, 철손의 저감에 유효한 것을 나타내는 사례로서 매우 주목된다.

즉, 제4도에 나타내는 바와 같은 (111)면의 세립이 아닌, (110)면이 면내 회전한 세립을 고스방위의 매트릭스중에 또는 입계에 우선 생성시킴으로써, 철손의 저감화가 유리하게 실현되는 것이다.

이와 같이, α 값만이 큰 값을 나타내는 이유는, 제5도에 나타내는 바와 같은, 고스방위 2차 재결정립, MnSe 석출물 및 세립의 우선방위와 격자정수의 관계에 대해 해석한 결과로부터, 다음과 같이 생각할 수 있다.

즉, 큰 고스방위 2차 재결정립의 2개의 단위격자의 [001]축방향의 격자정수는 $2 \times 0.2856(nm) = 0.5712(nm)$ 이다. 이에 대하여, 중앙의 MnSe 석출물은 매트릭스와의 정합관계가 $(012)_{MnSe} // (110) \alpha$, $[100]_{MnSe} // [001] \alpha$ 인 것이 보고되고 있으며(일본금속학회지, 제49권, 1985년, 제1권, P. 15참조), 고스방위 결정립중에서는 MnSe의 미세석출물이 [100]축방위에 안정석출된다고 생각되고 있다.

제5도의 중앙의 MnSe 석출물의 [001] 축방향의 격자정수는 0.5462(nm)로, 큰 고스방위 2차 재결정립의 2개의 단위격자의 [001] 축방향의 격자정수 보다 약간 작은 것을 알 수 있다. 제5도의 좌측의 세립의 모식도는 [001]축 보다 약 17° 회전(즉 α 축 회전)시키면, 중앙의 MnSe 석출물의 격자정수 0.5462(nm)와 같은 크기로 되는 것이 주목된다.

즉, 2차 재결정의 초기 단계에 있어서, α 값만이 약 17° 정도 회전한 1차 재결정립은 MnSe 석출물에 의해 매우 안정한 상황하에 있기 때문에, 고스방위 2차 재결정립에 잠식되지 어렵고, 또한 이 결정립중의 MnSe 석출물의 해리·고용도 다른 방위의 결정립에 비교하여 늦어지는 것이라 생각된다.

제6도는 2차 재결정 소둔의 초기 단계에서의 [001]축으로부터 조금 변위된 세결정립이 고스방위 2차 재결정립에 잠식되지 않고 남는 모습을 반응의 진행순으로 (a), (b) 및 (c)의 모식도로 나타낸 것이다.

사선으로 나타낸 [001]축으로부터 조금 변위된 세결정립이, 검게 나타낸 고스방위 2차 재결정립중에 잠식되지 않는 상황을 나타내고 있다. 이 사선으로 나타낸 세립중에서는 제5도의 MnSe 석출물이 안정 석출되고 있으며, 또한 해리·고용도 다른 방위의 결정립에 비교하여 늦다고 생각된다.

먼저, 본 발명의 강판의 성분 조성 범위에 대하여 설명한다.

Si : 2.5~4.0중량%

Si량이, 2.5중량%에 미달하면 전기저항이 낮기 때문에, 과전류 손실의 증대를 초래하며, 이에 따라 철손치가 증대하고, 한편 4.0중량%를 넘으면 냉연시 취성(脆性)균열이 발생하기 쉬워지므로, Si량은 2.5~4.0중량%의 범위로 한정하였다.

Al : 0.005~0.06중량%

Al은 강중에 포함되는 N과 결합하여 AlN의 미세 석출물을 형성하여 강력한 인히비터로서 유효하게 작용한다. 그러나, 함유량이 0.005중량%에 미달하면 인히비터로서 AlN 미세 석출물의 절대량이 부족하기 때문에, 고스방위의 2차 재결정립의 발달이 불충분해지고, 한편 0.06중량%를 넘으면 오히려 고스방위립의 발달이 저해되므로, 0.005~0.06중량%의 범위로 한정하였다.

이하 기본성분에 대하여 설명했는데, 본 발명에서는 상기의 성분외에, Sb 내지는 Mo를 적당량 첨가할 수 있고, 이에 의해 큰 고스방위 2차 재결정립을 더욱 안정화할 수 있다.

Sb : 0.005~0.2중량%

Sb는 탈탄·1차 재결정 소둔후 및 2차 재결정 소둔시에 1차 재결정립의 정상 성장을 억제하고, {110}<001>방위의 2차 재결정립의 성장을 촉진시켜, 이에 의해 제품의 자기특성을 한층 향상시키는 역할을 한다. 따라서, 본 발명에서는 인히비터로서, 후술하는 AlN이나 MnSe, MnS외에 Sb를 이용하지만, 함유량이 0.005중량%에 미달하면 그 첨가효과가 부족하고, 한편 0.2중량%를 넘으면 냉연가공성 뿐만 아니라 자기특성의 열화를 초래하므로, 0.005~0.2중량%의 범위로 함유시키는 것으로 하였다.

Mo : 0.003~0.1중량%

Mo는 Sb와 함께 1차 재결정립의 정상성장을 억제하는 유용한 원소이지만, 함유량이 0.003중량%미만에서는 그 첨가효과가 부족하고, 한편 0.1중량%를 넘으면 역시 냉연가공성 및 자기특성의 열화를 초래하므로 0.003~0.1중량%의 범위로 함유시키는 것으로 하였다.

Mn : 0.02~0.2중량%

강판중에는 Mn도 함유된다. Mn은 후술하는 바와 같이 MnSe, MnS 인히비터의 형성원소로서 유용한 외에, 열간 취성의 향상 및 냉연성의 향상에도 유효하게 기여하지만, 함유량이 0.02중량%에 미달하면 그 첨가효과가 부족하고, 한편 0.2중량%를 넘으면 자기특성의 열화를 초래하므로 0.02~0.2중량%의 범위로 함유시키는 것이 바람직하다.

또한, 제품판중의 바람직한 성분은 상술한 바와 같지만, 소재중에는 인히비터 형성 원소로서 Se나 S를 0.005~0.05중량%정도, 또 N을 0.001~0.020중량%정도, 또한 C를 0.05~0.10중량%정도의 범위로 함유시키는 것이 유리하다.

이것은 이들 Se 및 S는 모두 강중의 Mn과 결합하여 MnSe, MnS의 미세석출물을 형성하고, Al과 N과의 결합에 의해 형성된 AlN과 같은, 강력한 인히비터로서 유효하게 작용하기 때문이며, 또 C는 결정립의 미세화 및 γ 변태에 의한 조직제어에 의한 기여가 크기 때문이다. 그러나, 이들의 성분은 순화 소둔시에 강으로부터 제거되므로, 제품판 중에는 존재하지 않는다.

본 발명에서는 상기 성분조성으로 조정한 다음, 개개의 결정립중, 적어도 95%는, 압연 방향 RD에 대해 5° 이내에 [001]축을 갖고, 또한 판면 수직 방향 ND에 대하여 5° 이내에 (110)면을 갖는 (바꿔말하면 판면에 대한 (110)면이 경사가 5° 이내인 것), 직경이 5~50mm의 조대한 2차 재결정립으로 하는 것이 불가결하지만, 그 이유는 다음과 같다.

먼저, 압연방향 RD에 대하여 5° 이내에 [001]축을 갖고, 또한 판면 수직 방향 ND에 대하여 5° 이내에 [110]축을 갖는다는 것은, 고스 방위에 가깝다는 의미이며, 따라서 [001]축 및 [110]축의 압연방향 RD 및 판면 수직방향 ND에 대한 변위는 보다 적게 3° 이내인 것이 더 바람직하다.

그리고 이와 같은 고스방위립의 비율이 95%에 미달하면, 자기특성 특히 자속 밀도의 향상이 충분해지지 않으므로, 고스립의 비율을 95%이상으로 한정하였다.

또 상기의 방위조건은 만족하고 있어도 결정립이 5mm에 미달하거나, 50mm를 웃돌면, 본 발명에서 목적으로 하는 정도의 철손의 개선을 기대할 수 없으므로, 고스방위립의 입경은 5~50mm, 바람직하게는 10~20mm로 할 필요가 있다.

또한, 상기의 2차 재결정립중 또는 입계에 존재하는 세결정립의 [001]축이 조대 2차 결정립의 [001]축에 대하여 상대각도가 $2\sim 30^\circ$ 의 범위를 일탈한 경우에는, 역시 충분히 만족할 정도의 철손의 향상을 볼 수 없으므로, 상대각도는 $2\sim 30^\circ$, 바람직하게는 $2\sim 15^\circ$ 로 할 필요가 있다.

또한, 이와 같은 세결정립자의 방위에 대해서는 (α , β , γ) 각표시로 나타내어, $\alpha \geq 2^\circ$ 이면서 $\alpha \geq 1.5\beta$ 및 $\alpha \geq 1.5\gamma$ 를 만족시키는 것이 바람직하다. 이것은 이러한 방위를 만족하는 경우에 우수한 철손 특성을 얻을 수 있기 때문이다. 또한 보다 적절한 각도 범위는, $\alpha \geq 5^\circ$ 이면서 $\alpha \geq 2.0\beta$ 및 $\alpha \geq 2.0\gamma$ 이다.

또한, 세결정립의 입경이 0.05~2mm의 범위를 일탈한 경우에는, 역시 철손의 개선면에서 문제가 있으므로, 입경은 0.05~2mm, 바람직하게는 0.1~1.0mm의 범위로 한정하였다.

다음에, 본 발명의 제조방법에 대하여 설명한다.

상기의 최적인 성분 조성으로 조정된 용강을, 연속 주조 또는 조괴-분괴법 (continuous casting or ingot blooming)에 의하여 소정 두께의 슬라브로 한 후, 인히비터 성분인 Al이나, Se, S를 완전히 고용시키기 위하여 1350~1380℃로 가열한다.

상기 슬라브 가열 후, 열간압연을 행하고, 필요에 따라 열연판 소둔을 실시한 후, 1회의 냉간압연 또는 중간소둔을 사이에 두는 2회의 냉간압연에 의하여 0.15~0.5mm의 최종제품 판두께로 마무리한다.

이어서, 탈탄·1차 재결정 소둔을 실시하는 것인데, 본 발명에 따른 원하는 2차 재결정 조직을 얻기 위해서는, 상기한 성분조성과 함께 이공정이 특히 중요하다.

즉, 탈탄·1차 재결정 소둔은 습수소중에서 800~880℃의 온도 범위로 1~10min정도의 소둔을 실시하는 것인데, 소정의 유지온도 까지의 승온에 있어서는 회복·재결정 영역의 450℃부터 유지온도까지는 10℃/min이상으로 급속 가열할 필요가 있다. 이것은 가열속도가 10℃/min미만에서는 {110} <001> 방위의 1차 재결정립의 집합체의 형성이 충분해지지 않기 때문이다.

또한 이와 같은 탈탄·1차 재결정 소둔 공정의 후반과정에 있어서, 저로점(低露点)의 질소분위기 중에서 침질처리를 실시하는 것이 중요하며, 이에 관련된 침질처리에 있어서의 분위기 노점은 -20℃이하로 할 필요가 있다. 이것은 노점이 -20℃를 웃돌면 본 발명에서 목적으로 하는 만큼의 양호한 자기특성의 개선을 기대할 수 없기 때문이다. 그리고, 이와 같은 침질처리에 의하여 강판 표면의 N 농도를 20~200ppm 정도 높이는 것이 중요하다. 이것은 이와 같은 침질처리를 실시하지 않으면, 성분조정 및 상기한 탈탄·1차 재결정 소둔에 있어서의 승온 속도제어를 행하여도, 원하는 2차 재결정 조직을 얻을 수 없기 때문이다.

또한, 상기한 탈탄처리와 침질처리는 탈탄·1차 재결정 소둔 공정에 있어서 연속으로 행하는 것이 경제성과 고품질 강판의 안정된 생산의 관점에서 바람직하지만, 별도 공정으로 나누어 행하여도 아무런 문제는 없다.

그 후, 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 도포한 후, 840~870℃에서 10~20h정도의 2차 재결정 소둔을 실시하고, 바람직하게는 계속하여 그 온도부터 8~15℃/h정도의 승온속도로 1050~1100℃정도까지 승온하여 고스방위로 강하게 집적한 2차 재결정립을 발달시킨 후, 1200~1250℃에서 5~20h정도의 순화 소둔을 행한다.

그 후, 제품판에 대하여 필요에 따라 플라즈마조사나 레이저조사 등의 자구(磁區) 세분화 처리를 실시하는 것이 철손의 저감에 유리하다.

[실시예]

[실시예 1]

시료 (a)로서, C : 0.068중량%, Si : 3.44중량%, Mn : 0.079중량%, Al : 0.024중량%, P : 0.002중량%, S : 0.002중량%, Se : 0.024중량% 및 N : 0.0076중량%를 함유하고, 잔부는 실질적으로 Fe의 조성으로 이루어지는 규소강 슬라브를 1420℃에서 3h 가열하여 규소강중의 인히비터를 해리·고용한 후, 열간압연을 실시하여 2.3mm 두께의 열연판으로 하였다. 이어서, 1020℃에서 균일화 소둔후 1050℃의 중간 소둔을 사이에 두는 2회의 냉간압연을 실시하여 0.23mm 두께로 마무리 하였다. 그리고 2회째의 압연에 있어서는, 250℃에서의 온간압연을 실시하였다.

다음에, 이 냉연판에 습수소중에서 850℃의 탈탄·1차 재결정 소둔을 실시했지만, 이 탈탄·1차 결정 소둔에 있어서, 450℃부터 850℃의 유지 온도까지는 15℃/min의 속도로 급속 가열하였다.

또, 이와 같은 탈탄 소둔의 후반과정을 분위기 노점이 -30℃인 질소분위기로 하고, 이와 같은 질소분위기 속에서 800℃, 1.2min의 침질처리를 실시하고, 강판 표면의 질소농도를 80ppm 높여, 0.0145중량%로 하였다.

그 후, 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 도포하고 나서, 850℃에서 15h의 2차 재결정 소둔을 실시하고, 계속하여 그 온도에서 10℃/h의 속도로 1050℃까지 승온하여 고스방위로 강하게 집적된 2차 재결정 입자를 발달시킨 후, 1200℃에서 순화 소둔을 행하였다.

또 시료(b)로서, C : 0.074중량%, Si : 3.58중량%, Mn : 0.082중량%, Sb : 0.031중량%, Mo : 0.013중량%, Al : 0.026중량%, P : 0.003중량%, S : 0.002중량%, Se : 0.019중량% 및 N : 0.0065중량%를 함유하며, 잔부는 실질적으로 Fe의 조성으로 이루어지는 규소강 슬라브에 시료(a)와 동일한 처리를 하였다.

이렇게 하여 얻어진 제품판의 자성특성을 측정한 결과

시료 (a) : $B_8=1.958T$, $W_{17/50}=0.80W/kg$

시료 (b) : $B_0=1.969T$, $W_{17/50}=0.78W/kg$

이라는 매우 양호한 자기특성이 얻어졌다.

또 그 후, 시료(b)의 제품판에, 플라즈마 조사에 의해, 압연 방향에 직각 방향으로 8mm간격으로 미소 왜곡을 도입한 후의 자기특성을 측정한 바,

$B_0=1.966T$, $W_{17/50}=0.68W/kg$

의 매우 양호한 자기 특성을 나타냈다.

상기의 시료 (a), (b)의 제품판에 대해, 재결정립의 결정방위를 코셀법으로 조사하고, 또한 이에 의해 얻은 결정방위 데이터를 화상해석 장치를 이용하여 컴퓨터·컬러맵핑한 바, 다음과 같은 데이터를 얻을 수 있었다.

먼저, 시료(a)의 제품판에 대해서는, 큰 고스방위 2차 재결정립($\alpha : 1.2^\circ$, $\beta : 0.5^\circ$, $\gamma : 0.8^\circ$)중 또는 입계를 따라 0.5~2.0mm의 7개의 작은 결정립이 생성되었다.

이들 7개의 세결정립의 α , β , γ 값은 각각 $\alpha : 16.8^\circ$, $\beta : 4.2^\circ$, $\gamma : 6.8^\circ$ 이며, α 값만이 β , γ 값 보다 3~4배 정도 큰 것이 주목된다.

시료(b)의 제품판에 대해서는, 큰 고스방위 2차 재결정립($\alpha : -0.3^\circ$, $\beta : 0.2^\circ$, $\gamma : -0.9^\circ$)중 또는 입계를 따라 0.2~1.4mm 정도의 8개의 작은 결정립이 생성되었다. 이들 8개의 세결정립의 결정방위는 특징의 우선방위를 나타내지 않지만, 8개의 결정립의 방위의 평균의 α , β , γ 값은 각각, $\alpha : 15.5^\circ$, $\beta : 3.9^\circ$, $\gamma : 4.8^\circ$ 이며, α 값만이 β , γ 값 보다 4배 정도 큰 것이 주목된다.

[실시예 2]

표 1에 나타나는 여러가지의 성분 조성으로 이루어지는 규소 강 슬라브를, 1360℃로 가열 후, 열간압연에 의해 2.3mm 두께의 열연판으로 한 후, 1000℃로 균일화 소둔 후, 980℃의 중간 소둔을 사이에 두는 2회의 냉간 압연을 행하여 0.23mm 두께로 마무리 하였다.

다음에, 이 냉연판에, 표 2에 나타나는 여러가지의 조건하에서 탈탄·1차 재결정 소둔을 실시하고, 이어서 침질 처리를 하였다.

그 후, 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 도포하고 나서, 850℃에서 15h의 2차 재결정소둔을 실시하고, 계속해서 그 온도에서 8℃/h의 속도로 1080℃까지 승온하여 고스 방위에 강하게 집적된 2차 재결정립을 발달시킨 후, 1200℃에서 순화 소둔을 행하였다.

이렇게 하여 얻어진 제품판의 자성특성을 측정한 결과를, 표 3에 나타낸다.

또 표 3에는, 컴퓨터·컬러맵핑에 의해 구한 조대 고스방위 2차 재결정립 및 미세 2차 재결정립의 크기 및 결정방위에 대하여 조사한 결과도 병기하였다.

표 3에서, 본 발명의 전자강판은, 비교예에 비하여 자기특성이 뛰어남을 알 수 있다.

[표 1]

기 호	성분조성 (중량 %)									비 고
	C	Si	Mn	Sb	Al	Mo	S	Se	N	
A	0.065	3.41	0.082	0.019	0.022	0.013	-	0.019	0.0086	제 3 발명
B	0.083	3.15	0.091	0.035	0.041	-	-	0.022	0.0090	제 2 발명
C	0.049	3.31	0.072	0.015	0.020	0.019	-	0.025	0.0082	제 3 발명
D	0.059	3.31	0.093	0.035	0.018	0.015	0.018	0.010	0.0068	제 3 발명
E	0.071	3.20	0.065	0.021	0.026	-	0.015	0.009	0.0078	제 2 발명
F	0.068	3.09	0.080	0.031	0.031	0.016	-	0.019	0.0069	제 3 발명
G	0.079	3.53	0.083	-	0.029	-	-	0.024	0.0072	제 1 발명

[표 2]

번호	강종류	탈탄·1차 재결정소둔			침 질 처 리		
		승온속도 (℃/min)	균열온도 (℃)	분위기노점 (℃)	균열온도 (℃)	분위기노점 (℃)	N 증가량 (ppm)
1	A	10	840	+50	800	-20	60
2	B	12	850	+45	840	-25	80
3	C	14	835	+55	820	-35	85
4	D	11	825	-50	840	-30	81
5	E	15	840	+50	840	-35	91
6	F	10	850	+55	800	-28	69
7	B	4	840	+55	-	-	-
8	D	8	835	+60	-	-	-
9	F	6	850	+50	-	-	-
10	G	13	845	+50	830	-25	70

[표 3]

번 호	자기특성		고스방위 2차림의 방위·입경				세립의 방위·입경				비 고
	Fe (T)	W ₁₇₅₀ (W/kg)	α (°)	β (°)	γ (°)	입경 (mm)	α (°)	β (°)	γ (°)	입경 (mm)	
1	1.97	0.78	1.5	0.5	0.9	15	8.2	0.3	4.3	0.8	제 3 발명
2	1.97	0.77	2.0	0.6	1.2	16	10.2	5.1	3.2	0.09	제 2 발명
3	1.98	0.75	1.6	0.8	1.6	20	3.9	0.4	2.1	1.0	제 3 발명
4	1.96	0.79	2.8	1.1	1.0	12	5.6	3.1	3.1	0.9	제 3 발명
5	1.96	0.80	0.9	1.0	1.0	15	2.9	2.1	2.0	1.2	제 2 발명
6	1.97	0.77	0.7	0.5	0.5	13	8.9	0.4	1.6	1.5	제 3 발명
7	1.94	0.85	3.0	0.8	1.2	20	-	-	-	-	비교예
8	1.94	0.85	3.5	1.2	1.9	18	-	-	-	-	비교예
9	1.95	0.84	2.5	0.9	2.1	15	-	-	-	-	비교예
10	1.96	0.80	1.2	0.7	0.9	22	14.5	4.2	8.1	0.7	제 1 발명

이와 같은 본 발명에 의하면, 종래와는 비교되지 않는 높은 자속밀도와 낮은 철손의 양자를 겸하여 얻을 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 일방향성 전자강판으로서, 상기 강판의 개개의 결정립중, 면적율로 적어도 95%가, 상기 강판의 압연방향에 대해 5° 이내에 [001]축을 가지며, 또한 판면 수직방향에 대해 5° 이내에 [110]축을 갖는, 직경이 5~50nm의 조대한 2차 재결정립으로 이루어지고, 이와 같은 조대한 2차 재결정립중에 또는 입계에, 상기 조대 2차림의 [001]축에 대한 [001]축의 상대각도가 2~30°인, 직경이 0.05~2mm의 세결정립을 갖는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판.

청구항 2

제1항에 있어서, 전자강판이, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%외에, Sb : 0.005~0.2중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 자속 밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판.

청구항 3

제1항에 있어서, 전자강판이, Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량% 외에, Sb : 0.005~0.02중량% 및 Mo : 0.003~0.1중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판.

청구항 4

제1항, 2항 또는 3항에 있어서, 세결정립의 결정방위가 (α , β , γ) 각 표시로, $\alpha \geq 2^\circ$ 이고 또 $\alpha \geq 1.5$ β 및 $\alpha \geq 1.5\gamma$ 를 만족하는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판.

청구항 5

Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 방향성 전자강판용 슬라브를 열간 압연하고, 이어서 1회의 냉간 압연 또는 중간 소둔을 사이에 두는 2회의 냉간 압연에 의해 최종 제품판 두께로 마무리한 후, 탈탄·1차 개결정 소둔을 하고, 이어서 강판 표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 도포한 후, 2차 재결정 소둔 및 순화 소둔으로 이루어지는 최종 마무리 소둔을 실시함으로써 일방향성 전자강판을 제조하는 방법에 있어서, 상기 탈탄·1차 재결정 소둔공정에서, 450℃부터 800~880℃의 온도 범위의 소정의 유지온도까지를 10℃/min이상의 속도로 급속 가열함과 동시에, 이 탈탄·1차 개결정 소둔의 후반 과정에서, 소둔 분위기를 노점이 -20℃이하인 질소 분위기로 하여 침질 처리를 하는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판의 제조방법.

청구항 6

Si : 2.5~4.0중량%, Al : 0.005~0.06중량%를 함유하는 조성으로 이루어지는 방향성 전자강판용 슬라브를 열간 압연하고, 이어서 1회의 냉간압연 또는 중간 소둔을 사이에 두는 2회의 냉간 압연에 의해 최종 제품판 두께로 마무리한 후, 탈탄·1차 개결정 소둔을 실시하고, 이어서 강판표면에 MgO를 주성분으로 하는 소둔 분리제를 도포한 후, 2차 재결정 소둔 및 순화 소둔으로 이루어지는 최종 마무리 소둔을 실시함으로써 일방향성 전자강판을 제조하는 방법에 있어서, 상기 탈탄·1차 개결정 소둔공정에서, 450℃부터 800~880℃의 온도 범위의 소정의 유지 온도까지를 10℃/min이상의 속도로 급속하게 가열함과 동시에, 이와 같은 탈탄·1차 개결정 소둔 후, 최종 마무리 소둔에 앞서, 노점이 -20℃이하인 질소 분위기중에서 침질처리를 실시하는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판의 제조방법.

청구항 7

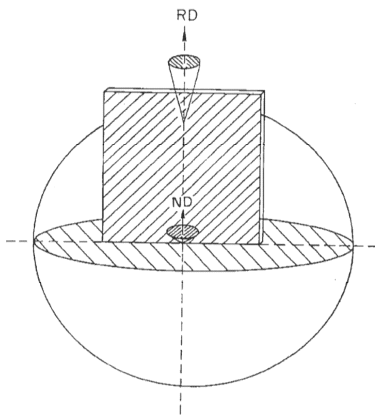
제5항에 있어서, 침질처리에 의해 강판 표층부에서의 N농도를 20~200ppm 높이는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자 강판의 제조방법.

청구항 8

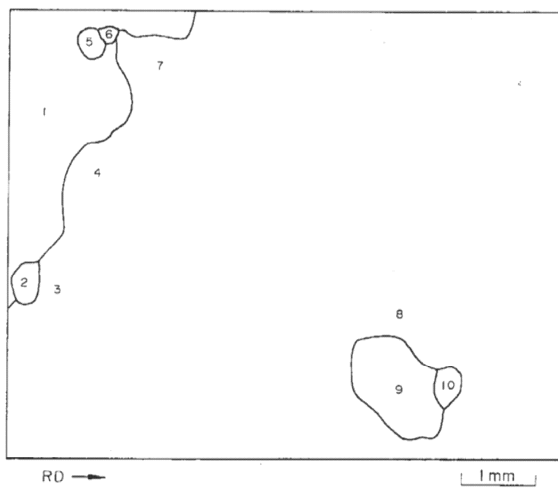
제6항에 있어서, 침질처리에 의해 강판 표층부에서의 N농도를 20~200ppm 높이는 것을 특징으로 하는 자속밀도가 높으면서 철손이 낮은 일방향성 전자강판의 제조방법.

도면

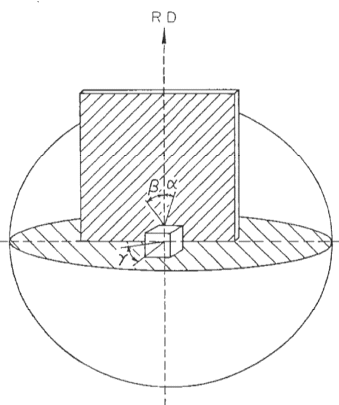
도면1



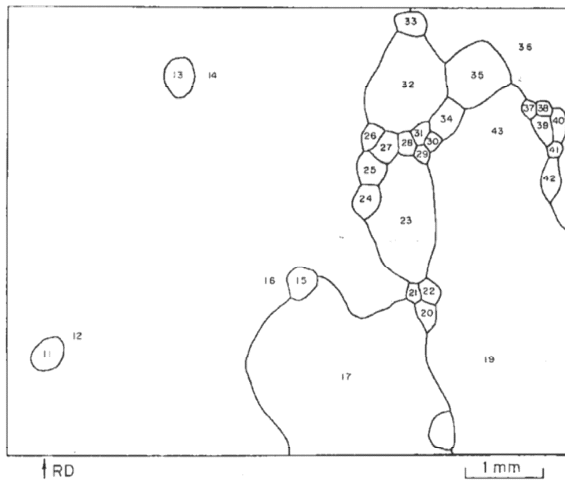
도면2



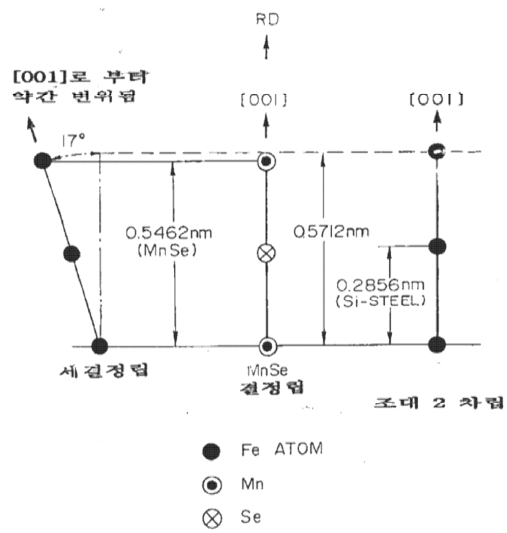
도면3



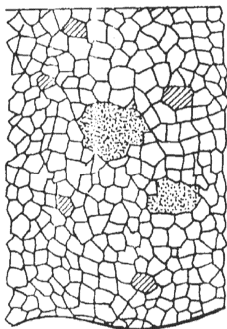
도면4



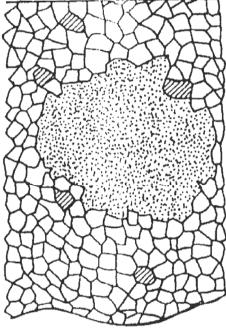
도면5



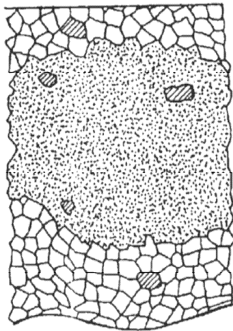
도면6a



도면6b



도면6c



- 조 2 차립
- ▨ [001]로 부터 약간 변위됨