

열연판을 사용한 방향성 박규소강대의 제작

강희우

주성대학 전자재료응용학과, 충북 청원 363-794

(2000년 10월 10일 받음, 2000년 12월 13일 최종수정본 받음)

열연판을 모재로하여 압연 및 열처리공정을 조합한 공정을 3회 냉간압연법을 사용하여 최종두께 100 μm 로 제작한 방향성 규소강대에 대하여, 직류자기 특성 및 결정입자의 열처리의존성, 결정방위 등을 조사하였다. 그 결과, (110)면이 거의 시료 전체표면에 성장하는 것이 관측되었으며, B_8 은 1.9 T정도, 평균 α 각은 약 4.6° 이었다. 향후 약간의 [001]조직의 집적도 개선이 추가된다면, 열가의 열연판을 모재로 사용하여 기존의 방향성 규소강판의 경우보다 훨씬 제조공정수를 단순화함으로써, 경제성이 우수한 방향성 극박 규소강대를 제작할 수 있는 가능성을 확인하였다.

I. 서 론

최근, 예측 불가능한 고유가 시대의 계속으로, 에너지절감 문제가 관심을 집중시키고 있다. 이것은 결국 전기기기의 효율성 제고로, 에너지손실을 감소시키는 적극적인 방법의 모색을 요구한다. 1999년도 우리나라의 배전용 변압기의 연간 손실전력은 16억4천백만 kWh에 이르고, 이 손실은 총 배전손실 중 가장 큰 41 %정도를 차지하고 있다 [1]. 이것은 변압기철심의 주재료로 이용되고 있는 3 % 규소강판의 손실저감의 여지가 여전히 큰 것을 의미한다.

현재 국내에서 생산 · 시판중인 3 % 규소강판의 대부분은 두께 0.3~0.2 mm의 방향성 규소강판이며, 외국에서는 규소강판의 저손실화를 달성할 목적으로, 두께 수십 μm 정도의 방향성 극박 규소강대 (grain-oriented ultra thin silicon steel ribbon)가 제안되었다 [2-5].

이것은 판두께가 얇고, 직류 자기특성이 우수하며 또한 표면이 매끄럽기 때문에, 종래의 방향성 규소강판에 비하여 1/4정도의 철손치를 갖고, 이 값은 아몰퍼스재료에 대한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다 [6].

이 방향성 규소강대의 제작은, 일본의 신일본제철(주)이나 가와사키제철(주)에서 사용하고 있는 불순물(inhibitor)을 사용한 입제에너지를 구동력으로하는 방법이 아니고, 3차재결정(tertiary recrystallized grain)의 특수한 방법에 의해서만 실현 가능하다.

이 메카니즘은, (110)[001]조직을 갖는 3 % Si-Fe방향성 규소강판에 냉간압연, 열처리를 행함으로써, (110)[001]조직을 갖는 결정립이 성장하는 것을 이용한다.

그러나, 3차 재결정법은 시판의 방향성 규소강판을 모재로 하기 때문에, 원료의 용해 · 주조로부터 제품까지의

제조공정은, 두께 0.2 mm 정도의 방향성 규소강판을 제작한 후에 다시 압연·열처리공정 등이 추가되어, 공정이 복잡하게 되는 등, 경제적으로 불리하게 된다.

방향성규소 강판의 제조공정에서 열간압연을 종료한 단계의 열연판조직은, 판 두께방향으로 복잡한 조직을 가지면서도, 표면층 부근에 약간의 (110)[001]조직을 갖고 있다 [7]. 방향성규소강판의 [001]방위집적은 냉간압연의 압연방향에 의존하고 [8], [001]방위집적을 향상시키는데 최적 압연율이 존재하는 것 등 [9]이 보고되어 있다.

그러므로, 열연판을 모재로 하고 다른 결정면과의 표면 에너지의 차를 구동력으로 성장시키는 (110)결정립의 [001]방위집적의 향상은, 적절한 열처리 및 압연조건의 제어에 의해 가능한 것이 예상된다.

본 연구에서는 규소강판의 원자재에 가까운 열연판을 출발재료로 사용하여, 냉간압연과 열처리공정을 조합한 공정으로, 방향성 박규소강대의 제작가능성에 대하여 검토한 것으로, 각 공정에서의 금속조직 및 직류 자기특성에 대하여 조사하였다.

II. 시료제작 및 실험

2.1. 극박 방향성 규소강대

1988년 Arai 등은, (110)[001]방위를 갖는 시판중의 방향성 규소강판을 모재로 하여 압연한 후, 적당한 조건하에서 열처리하면 시료전체에 (110)[001]방위를 갖는 3차 재결정립이 점유하는 것을 발견하였다.

그림 1은 규소강판의 압연방향으로 자화용이축(easy axis of magnetization)[001]을 갖고, 압연면이 (110)면에 평행한 결정배향을 갖는 다결정 방향성 규소강판의 Goss

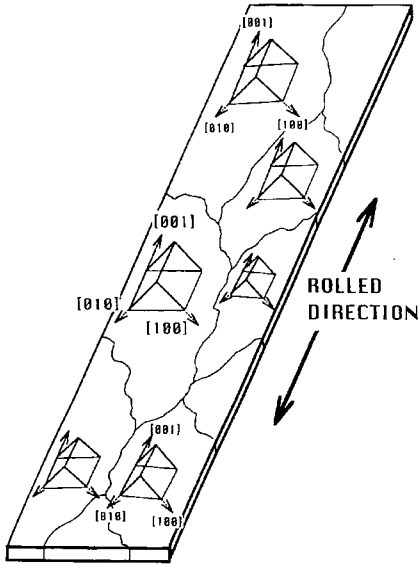


Fig. 1. The crystal grain texture of grain-oriented silicon steel plate.

조직(또는, (110) [001]조직)을 나타낸다. 이 (110)[001]집합조직을 갖는 규소강판을 [001]축 방향으로 두께 60 μm 까지 압연한 후 700 $^{\circ}\text{C}$ 의 열처리를 하면, 최초로 재결정하는 결정립(1차재결정)이 성장 완료하고, 이때 결정립의 직경은 약 30 μm 정도로 된다. 1,050 $^{\circ}\text{C}$ 정도까지 열처리 온도가 상승함에 따라, 1차 재결정의 약 10배 정도의 크기를 갖는 2차 재결정립이 나타나고, 이것은 1차 재결정립을 침식하며 전면을 덮는다. 열처리 온도가 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 까지 더욱 높아지면, 2차 재결정립중의 (110)[001]방위를 갖는 결정립만이 선택적으로 성장을 시작하고, 10분 이내에 그것이 시료전체를 덮게 되는데, 이것을 3차 재결정(tertiary recrystallized grain)이라고 부른다. 3차 재결정 성장이 완료된 뒤 결정립의 직경은 수 mm 정도까지 커진다.

이러한 결정성장에 따른 자기특성의 변화는, 1차 재결정 영역에서는 (110)[001]조직의 집합정도가 약하여, 800 A/m를 인가한 경우의 자속밀도인 B_8 은 1.8 T정도이고, 고집적 방향성 규소강판의 B_8 인 1.9 T에 비하면 낮다.

또, 2차재결정 영역에서 (110)[001]방위가 붕괴되고 [001]축의 집적이 약해지기 때문에, B_8 은 저하하게 된다. 그러나 3차 재결정에 있어서는 모든 결정립이 (110)[001]조직을 갖게되고, 이상적인 (110)[001]방위로부터 벗어난 α 각은, 약 2 $^{\circ}$ 이내로 작아지면서, B_8 은 모재이상의 우수한 특성을 갖는다.

그러나, 이 경우 수십 μm 의 방향성 극박규소강판의 제

작을 위해서는, 모재를 시판하고 있는 두께 0.3 mm의 고집방향성 규소강판을 사용해야 한다는 문제점이 있다. 그리고, 압연 및 열처리공정이 추가로 필요하여, 제조공정수가 늘어나고 복잡해져, 생산측면에서 대단히 불리하기 때문에, 제조공정을 획기적으로 감소시킬 수 있는 방법이 요구되었다.

2.2. 새로운 방향성 薄규소강대

이상과 같이, 3차 재결정법은 시판의 방향성 규소강판을 모재로 사용하고, 원료의 용해·주조에서 제품까지의 제조공정에서, 두께를 0.3 mm까지 방향성 규소강판을 제작한 후에 다시 압연·열처리공정을 필요로 하는 등, 아주 복잡하다.

여기서는 방향성 규소강판의 제조공정 중에서 열간압연이 끝난후의 결정조직에 주목하였다. 즉, 열연판은 판두께 방향으로 분포를 갖는 복잡한 조직을 갖고 있으나, 표면층 부근에 약간의 (110)[001]조직을 가지고 있다. 또, 방향성 규소강판의 [001]방위집적도는 냉간압연방향(cold rolling direction)에 의존하고, 이 [001]방위집적을 향상시키기 위한 최적압연율이 존재한다. 따라서, (110)[001]조직을 함유하고 있는 열연판에 적당한 조건으로 냉간압연 및 열처리를 한다면, 소량의 (110)[001]조직을 이용한 방향성 薄규소강대의 제작 가능성을 이용하기로 하였다.

2.3. 시료제작 및 실험방법

본 실험에서는 두께 약 2.0 mm의 열연판을 모재로 사용하였으며, 이 열연판에 냉간압연과 열처리를 반복한 경우의 직류자기특성 및 결정조직의 변화에 대하여 조사하였다. 이때 제작된 최종시료의 두께는 100 μm 정도로 하였다.

먼저, 냉간압연은 Work Roll 직경 50 mm의 2단 압연기 및 Work Roll 직경 20 mm인 4단 압연기를 사용하고, 모재의 열연방향으로 소정의 두께까지 압연하였다. Roll 면은 윤활을 하지 않았으며, 냉간압연한 시료는 폭 5~7 mm, 길이 100 mm 정도로 하였다. 여기서 냉간압연시에 들어가는 1, 2차 열처리 공정을 중간열처리, 3차로 실시하는 공정을 최종열처리라고 정하였다.

중간열처리는 저항가열로를 사용하였으며, 진공도 2×10^{-3} Pa 및 750 $^{\circ}\text{C}$, 1시간의 조건에서 고정하여 실시하였다. 최종열처리는 진공도 2×10^{-3} Pa 및 1,150 $^{\circ}\text{C}$, 1시간의 조건에서 적외선 가열로(眞空理工(주)사, RHL-410P)를 이용하였다. 이때 가열로의 승온속도는 3 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 로 하

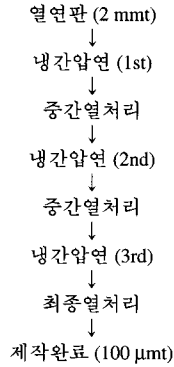


Fig. 2. The block diagram of new manufacturing process for the sample adapted by three times rolling.

였다.

Fig. 2는 열연판을 모재로 하는 방향성 박규소강대의 제조공정을 블록도로 나타내었다.

Table I은 실험에 사용된 열연판 모재에 포함된 화학성분의 분석결과를 나타낸다. 열연판 모재에는 Si 3 % 외에 여러 가지 불순물이 포함되어 있지만, 그 양은 극히 미미한 것을 알 수 있다. 각 공정에서의 시료의 결정립(crystal grain)은 10 % 硝酸수용액중에서 시료를 30 sec 동안 담고, 결정입계(crystal grain boundary)를 선명히 한 후 금속현미경으로 관측하였다. 재결정 집합조직은 에치피트법을 이용하였다.

에치피트는 2종류의 에칭액인 A액(중류수:과산화수소수:염산 = 100:6:0.6)에 10초 동안 담근 후, B액(중류수:에탄올:염화제2철포화수용액 = 40:20:40)에 50초 동안 담근 후에 에치피트를 관측하였다. 시료의 자기적 특성은 직류 BH-loop tracer를 사용하여 측정하였다.

압연조직 및 재결정 집합조직은 XRD(Mo-K α)를 사용하여 조사하고, 주사속도는 2°/min에서 측정하였다. 여기서 XRD를 사용한 조직평가의 방법으로 texture coefficient를 도입하고 있는데 [10], 이것은 각 결정면을 구조인자로부터 도출되는 회절강도비를 사용 보정한 값이고, 랜덤조직의 경우 모든 결정면의 값은 1이다.

Table I. Chemical composition of the hot-rolled silicon steel plate(wt%) used in experiment.

C	Si	Mn	P	S
0.0012	2.92	0.01	< 0.001	0.0002
N	Cu	Cr	Ni	Al
0.0007	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 열연판 집합조직

모재의 결정조직이 달라지면 압연조직, 재결정조직도 달라지고 마침내는 최종 결정조직에도 영향을 미칠 수 있다고 생각된다. 때문에 본 연구에서 사용하는 모재인 열연판조직에 대하여 두께방향의 금속조직을 XRD를 사용하여 조사하였다. 일반적으로 공업적으로 사용하는 열연판의 경우, 장소에 의한 조직의 불균일성을 억제하기 위하여 열연판을 열처리한다. 여기서 열처리하지 않은 열연판은 그림 3에, 그리고, 열처리한 열연판의 경우는 그림 4에 각

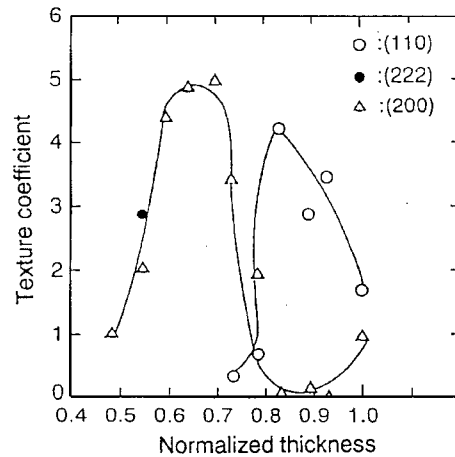


Fig. 3. The grain texture of plane direction for the sample of hot-rolled plate (without annealing) as a starting material.

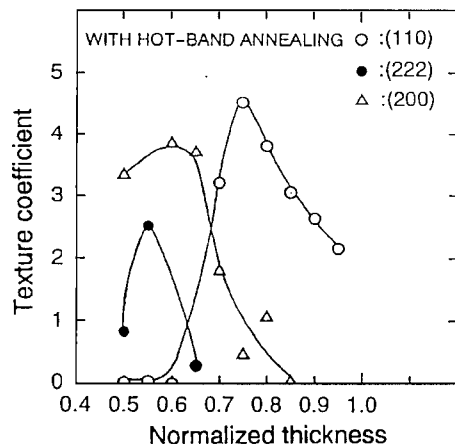


Fig. 4. The grain texture of plane direction for the sample of hot-rolled plate (after annealing) as a starting material. (a) The sample of hot-rolled plate(without annealing), (b) The sample of hot-rolled plate (after annealing).

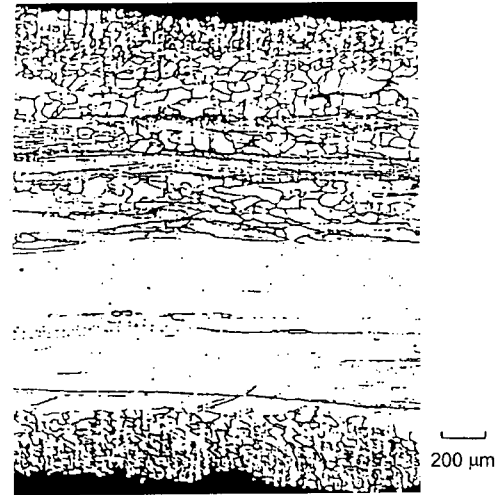
각 나타내었다. 가로축은 열연판 단면두께를 규격화한 것으로, 좌측의 1.0이 표면층, 0.5는 중심부를 의미한다. 세로축은 열연판 집합조직의 (110), (222), (200), (211), (310)면의 5종류의 결정면을 무방향배향(random orientation)으로 규격화한 (110), (200), (111)면의 세기를 표시하였다. 그림 3의 열처리하지 않은 경우, (110)면은 표면층에서 1/10~2/10부근 깊이에서 최대강도를 갖는 반면, (200)면은 3/10~4/10부근 깊이에서 최대강도로 된다. 이미 보고된 열연판 조직의 경우, 모재의 표면에서 1/10~1/5에서 (110)면이 최대강도를 나타내거나, 반대로 1/3~1/5 깊이에서 (110)면의 강도가 가장 약한 것이 알려져 있다. (110)조직의 유·무에 관심을 두는 이유는, 후에 제조공정을 거치면서, 최종단계에서 방위집적도를 높여 결정적으로 자기특성을 개선시키는 2차 재결정의 핵의 發生源으로 되기 때문이다.

본 실험에서 사용한 열연판 모재의 경우도 이와 유사한 조직을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 그림 4에서는 800 °C, 5분의 조건으로 소둔을 한 시료이다. 이것과 소둔하지 않은 경우의 그림 3과 비교할 때, 기본적으로 열연판 집합조직에는 거의 변화가 없으나, 다만 (110)면과 (200)면의 최대강도가 똑같이 중심부 쪽으로 이동하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 5는 열연판 소둔을 한 것과 하지 않은 경우의 각 단면을 관측한 것이다.

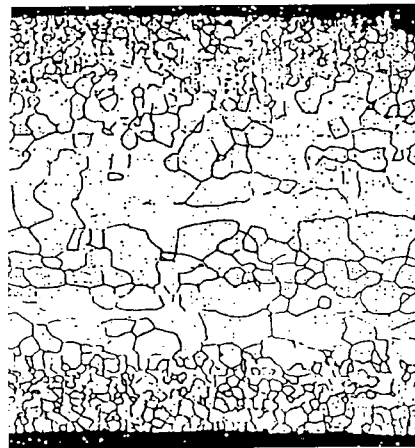
열연판 소둔을 실시한 것(그림(b))은, 실시하지 않은 것(그림(a))에 비하여, 중심부까지 완전히 재결정화로, 소둔목적을 충분히 달성하고 있는데, 이것은 조직적으로 불안정한 변형(distortion)이 함유된 상태에서부터 안정한 재결정상태로 변화하고, 또 장소에 따른 조직의 불균일성이 억제되는 등의 효과가 있다.

다음에, 규소강 박대의 제작에 3회 냉간압연법을 적용하여 최종 시료두께를 100 μm로 일정히 하고, B₈의 측정치를 기준으로 하여 냉간압연 조건을 조사한 결과를 그림 6에 나타내었다.

중간열처리는 750 °C, 1시간, 최종열처리는 1,150 °C, 1시간으로 고정하였으며, 1회, 2회 및 3회의 냉간압연율을 변화시킬 때, 각 압연율에 따른 시료의 직류 자기특성을 표시한다. 단, 각 ○점의 위치는 각각의 압연율을 나타내고, 측정값은 시료 4매의 평균치로 구했다. 이하 3회 냉간압연법의 압연율을 (1차 압연율)-(2차 압연율)-(3차 압연율)로 표기한다. 예로써, 시료두께를 2.0 mm → 500 μm → 200 μm → 100 μm로 3회 압연할 때, 압연율은 75 %~60 %~50 %가 된다. 그림에서 1차 압연율 80 %, 2차 압



(a) The sample of hot-rolled plate(without annealing).



(b) The sample of hot-rolled plate(after annealing)

Fig. 5. The photos of microscopic observation for the cross section of hot-rolled plate.

연율이 60 %일 때, B₈ 값은 1.89 T이고, 3차 압연율은 최종두께를 100 μm를 하였기 때문에, 50 %가 된다.

실험에서, 직류자기 특성 B₈은 상기 압연율에서 1.9 T 부근의 값을 나타낸다. 그 외에 50 %~80 %~50 %, 50 %~60 %~75 %의 조건의 경우도 역시, B₈은 1.9 T 정도의 높은 값이 얻어진다. 이들 3가지 압연조건으로 제작한 시료의 경우, 자기특성에 영향을 크게 미치는 (110)면 결정립이 시료의 전체표면에 걸쳐 성장하였고, 이 결과로부터 3회 냉간압연법의 효과와 응용가능성을 확인할 수 있었다.

다음에, 박규소강대의 열처리 온도에 대한 자기특성, 결정입경의 변화 및 결정방위를 조사하였다. 그림 7은 그림

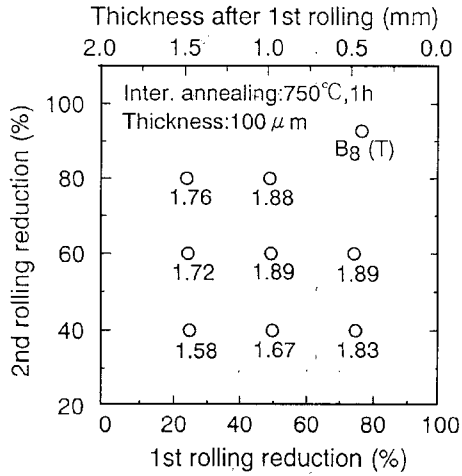


Fig. 6. The relation of the between cold rolling rates and B_8 for the samples adapted by three times rolling.

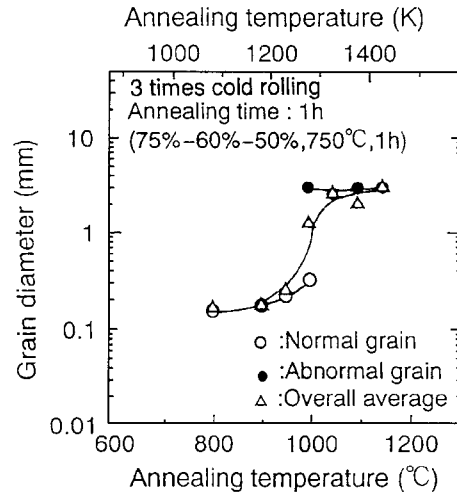


Fig. 8. The relation of the between crystal grain size and final annealing temperature.

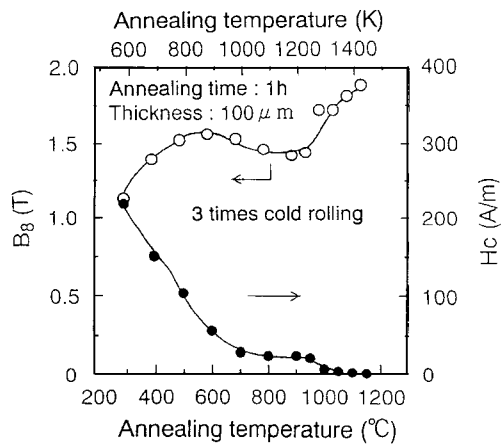


Fig. 7. The relation of the between DC magnetic properties and annealing temperature.

6에서 비교적 큰 B_8 값을 나타내었던 압연율 75%~60%~50%로 제작한 박규소강대에 대한 직류자기특성 B_8 과 H_c 에 대한 열처리 온도의존성을 나타내었다. 600 °C의 열처리 온도에서 B_8 은 1.5 T정도까지 상승하고, H_c 는 1/4 수준인 50 Oe정도까지 감소한다. 이러한 자기특성의 변화는 이 온도에서 압연에 의한 스트레스가 제거됨에 따라, 자기특성이 회복되고 있는 것으로 판단된다. 600 °C~1,000 °C부근의 온도에서는 오히려 B_8 의 값이 감소하고, H_c 는 처음과 달리 완만한 감소경향을 볼 수 있는데, 이것은 이 온도 영역에서 Goss조직[001](110) 이외의 결정립의 재결정 성장이 일어나고, 방위집적을 약화시켜 자기특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 1,000 °C 이

상이 되면, B_8 은 급격히 개선되어 1.9 T까지 상승하는 반면, H_c 는 거의 1 Oe이하로 감소하는 등, 비교적 우수한 직류자기 특성을 나타낸다.

3회 냉간압연법으로 제작한 시료의 B_8 이 1.9 T 정도의 높은 값을 나타내는 원인을 검토하기 위하여, 열처리하였을 때 결정립徑의 변화를 定常粒(○:1차 재결정립, normal grain)과 異常粒(●:그 외의 결정립, abnormal grain)으로 구분하고, 시료에 분포한 정상립과 이상립의 결정립徑의 평균치(△:overall average)도 아울러 조사하였다.

그림 8은 그림 7과 동일한 시료에 대하여 온도변화에 따른 결정립의 성장을 조사한 것이다. 定常粒은 800 °C~1,000 °C까지 비교적 완만하게 0.3 mm 정도까지 성장하고, 이 온도를 정점으로 그 이상의 온도에서 거의 침식당한다. 이에 대하여 異常粒의 경우는 1,000 °C 이상에서 갑자기 출현하여, 결정립의 표면구동력을 기반으로 크게 성장하는데, 최종온도 1,150 °C에서 결정립의 크기는 온도에 관계없이 3 mm 정도로 일정하다. 이상의 3회 냉간압연법으로 제작한 시료에서 자기특성과 결정립 성장과의 관계에서, 자기특성을 향상시키는 (110)결정립 성장의 핵을 많이 포함하고 있으며, 이것이 나중에 異常粒 출현의 기반이 되는 것으로 생각된다.

그림 9에서는 이들 異常粒의 결정방위에 대하여 좀더 상세히 조사하였다. 열처리 온도가 상승함에 따라, (110) 결정립의 면적비율은 급격히 증가하고, 최종온도 1,150 °C에서 시료표면을 덮는다. 이에 비하여 (111) 및 (100)결정립의 면적비율은 1,000 °C를 정점으로 한 후 크게 감소하

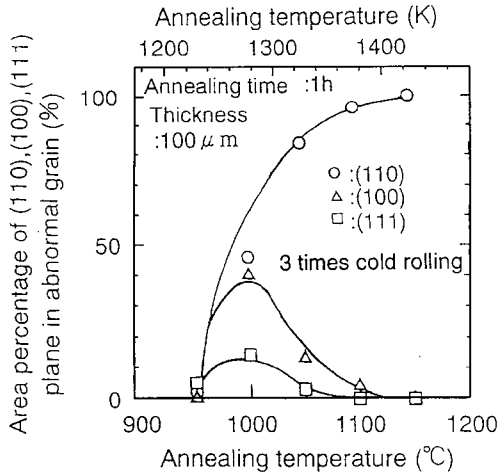


Fig. 9. The relation of the between crystal plane of abnormal grain and final annealing temperature.

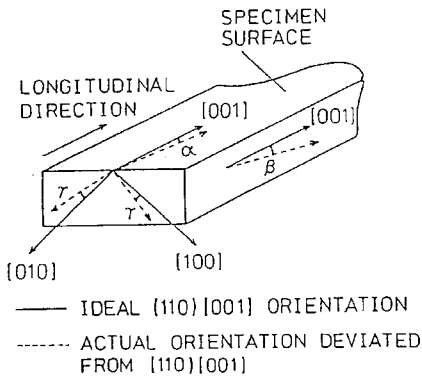


Fig. 10. The definitions of discrepancy angle, α , β and γ from the ideal Goss([001](110)) texture.

고, 최종온도에 도달하면서 소멸되어 0이 된다. 이것은 현재 채용하고 있는 열처리 조건에서 (110)결정립이 다른 결정립보다 우선 성장하기에 적합한 상태에 있고, 앞에서 설명한 3차 재결정과 동일한 成長機構에 의한 것으로, 다른 면과의 表面에너지 差를 구동력으로 성장하고 있는 것으로 추정된다.

또, 앞의 그림 7에서 나타난 800 °C~900 °C 이상의 열처리 온도에서 B_8 의 감소의 직접적인 원인은, [001]축을 면내에 포함하지 않는 (111)면이 주로 異常成長 하였기 때문으로 생각된다.

그림 10은 열처리 후, 시료의 [001]방위집적의 분산정도를 각도로 정의한 모식도이다. 여기서 α 각은 이상적인 Goss方位로부터 面內로 벗어난 각도를 말하며, β 는 표면으로부터의 경사각, 그리고 γ 는 [001]방향을 축으로 하여

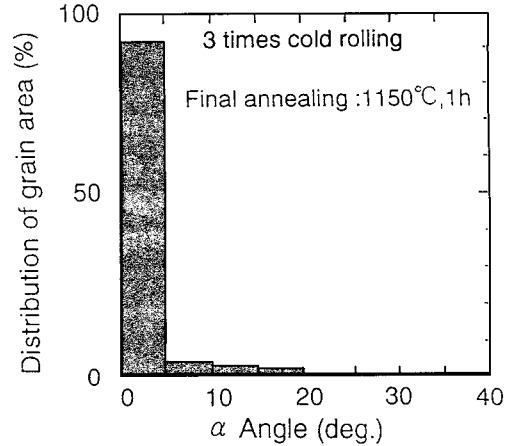


Fig. 11. The distribution diagram of α angles for the sample with rolling rates, 75%(1st)-60%(2nd)-50%(3rd).

회전한 각을 의미한다. 이 개념을 도입하여 시료의 방위집적도를 조사하였다.

1,150 °C, 1시간 열처리 후의 시료에 대하여 시료의 표면관측이 용이한 α 각의 크기, 즉 [001]방위집적을 광학현미경으로 관찰하였다. 그림 11에 그 결과를 나타낸다. 가로축은 결정립의 α 각이고, 세로축은 면적분포이다. 보통 시판중인 방향성 고급 규소강판의 방위집적도는 α 각이 3°이내인 것에 비하여, 위 그림에서는 5° 이상으로 큰 α 각을 갖는 결정립이 약 8 %정도 관측되고 있다. 또, 5° 미만의 α 각이 대부분인 92 %를 차지하고 있으며, 이 시료전체의 평균 α 각은 4.6°이다. 이 결과에서, 아직도 상용의 고급 규소강판에 비하여 방위집적이 약하고, 앞으로 개선의 여지가 많음을 알 수 있다. 그러나, 값싼 열연판을 모재로 하여 제조 공정수를 크게 줄인 새로운 3회 냉간압연방법을 더욱 연구, 개선이 이루어진다면, [001]방위집적이 향상된 영가의 박규소강판을 제조할 수 있는 가능성은 충분한 것으로 생각된다. 또, 이 제조공법으로 제작된 시료의 두께는 시판중인 것에 비하여 1/2정도인 100 μ m, 또는 그 이하도 가능할 것으로 예상되어, 상용주파수는 물론 고주파손실이 적은 철심재료로도 이용 가능할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

열연판을 모재로 하고 압연 및 열처리 공정을 조합한 3회 냉간압연법을 사용하여, 두께 100 μ m로 제작한 방향성 규소강판에 대하여, 직류자기특성 및 결정입자의 열처

리 의존성, 결정방위 등을 조사하였다. 그 결과, (110)면이 거의 시료 전체면에 성장하는 것이 관측되었으며, 이때 B_s 는 1.9 T정도, 평균 α 각은 4.6°정도가 각각 얻어졌다. 이것으로부터 방향성 박규소강대가 제작될 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 : 한국 전력설비 고장통계 자료(1999. 12).
- [2] K. I. Arai and K. Ishiyama : J. Appl. Phys., **64**, 5352 (1988).
- [3] K. I. Arai, K. Ishiyama and H. Mogi : IEEE Trans. Magn., **MAG-25**, 3439(1989).
- [4] 荒井賢一, 中野正基, 石山化志, 我妻成人, 姜熙雨 : 日本應用磁氣學會學術講演概要集, 18회, 418(1994).
- [5] 荒井賢一, 中野正基, 石山化志, 我妻成人, 姜熙雨 : 日本應用磁氣學會誌, **19**, 433(1995).
- [6] K. I. Arai, H. Satoh, S. Agatsuma and K. Ishiyama : IEEE Trans. Magn., **MAG-26**, 1969(1990).
- [7] 井口征夫 : 鉄と鋼, **15**, 15(1984).
- [8] 和田敏哉, 黒木克郎, 岩山健三 : 鉄と鋼, **15**, 275(1984).
- [9] 今中拓一, 菅孝宏, 小田良夫, 佐藤徹 : 日本特許公報昭 51-13469號.
- [10] C. S. Barrett and T. B. Massalski : Structure of Metals 3rd-ed, McGraw-Hill Book Co., (1966), pp. 205.

The Trial Manufacture of the Grain-Oriented Ultra-Thin Silicon Steel Ribbon using Hot-Rolled Plate

Hee Woo Kang

Dept. of Electronic Material & Application, Juseoung College, Chungbuk Cheongwon 363-794, Korea

(Received 10 October 2000, in final form 13 December 2000)

We investigated to DC magnetic characteristics, the dependence of annealing temperature on the crystal grain and the crystalline orientation for grain-oriented silicon ribbon with 100 μm final thickness manufactured by three times cold rolling method using the hot-rolled silicon steel plate as a raw material. The growth of (110)[001] Goss texture were almost observed in the whole area of the sample. The values of the saturation magnetic flux density B_s and the average α angle have 1.9 T and 4.6 degrees respectively. From this result we could be confirmed that the three times cold rolling method has a possibility of manufacture for oriented ultra-thin silicon ribbons much more simple and cheaper than the existing oriented silicon steel manufacturing method by means of more simplified producing process.