

용탕인출법으로 제조한 퍼말로이 박판의 Si 함량 및 열처리가 미세조직에 미치는 영향

임경록*, 남궁정**, 강주석*, 김문철**, 박찬경*

The effects of Si addition and annealing temperature on microstructure of permalloy fabricated by melt drag casting

K.M.Lim*, J. Namkung**, J.S.Kang*, M.C.Kim** and C.G.Park*

Abstract

Permalloys were successfully fabricated by melt drag casting in the present study, and their variation of microstructure and consequent magnetic properties were investigated as a function of Si contents and annealing temperature. The increases in Si content and annealing temperature resulted in the increases of grain size and amount of FeNi₃ ordered phase. Both the grain size and FeNi₃ ordered phase controlled by Si and annealing temperature had a important role on permeability of permalloys.

Key Words : permalloys, melt drag casting, grain size, texture, permeability

1. 서론

현재는 전기 전자산업과 정보통신 기술이 발달로 인하여 생활의 편리함과 풍요로움을 누리는 시대이다. 하지만 이로 인해 문명의 혜택을 누리는 사람들에게 조차 전자파 유해성 논란이 일고 있고 뿐만 아니라 통신의 장애, 그리고 기기의 오동작 또한 심각한 문제를 일으키고 있다 [1]. 이런 문제점의 발생으로 인해 세계는 전자파 장애 관련 기준을 강화할 뿐 아니라 전자파를 발생하는 전자제품의 수입에 상당한 제제를 가하고 있다. 선진국의 경우 전자파 차폐 기술 개발에 상당한 관심을 갖기 시작하였고 이에 따라 막대한 자본을 여기에 투자하고 있으며 그 결실은 기기로부터 발생하는 불필요전자파의 발생을 최소화시키고 있다. 이에 따라 짧은 기간에도 불구하고 전자 전기 산업과

정보통신이 주산업이 된 우리 나라도 국내제작으로 생산되는 전기, 전자기기에 대한 국제 경쟁력 향상이 필요한 실정이다 [1].

35-80%Ni-Fe 이원합금 또는 이에 Mo, Cu, Si, Mn 등의 원소가 첨가되는 퍼말로이(permalloy)는 1900년대 초부터 활발한 연구가 진행되어왔고, 또한 자장 중 열처리에 의한 일축 자기 이방성 등이 많이 연구되었다 [2]. 자기이방성은 결정학적 방향에 따라 자기적 성질이 다른 것을 말하는데 이러한 자기 이방성을 전자기 부품 예를 들어 자기 차폐체나 head core 등에 사용하여 그 향상을 증가시키고 있다. 자기 이방성은 압연공정과 재결정 과정에서 형성되는 결정 방향성에 의해 자기이방성이 발달하므로 permalloy 박판 제조 공정조건을 최적화하여 적절한 결정 방향성을 가지도록 제어하는 것이 매우 중요한 문제이다.

* 포항공과대학교 신소재공학과

** 포항산업과학연구원 신금속연구팀

기존의 퍼말로이 박판 제조는 합금 용해 주조후 열간 압연과 냉간 압연, 그리고 열처리를 거치는 공정으로 제조하였다. 본 연구에서는 용탕 인출법을 이용함으로써 기존 공정 중 열간 압연 또는 열간 압연과 냉간압연 모두를 생략할 수 있는 박판제조 공정을 확립하고자 하였다. 또한 퍼말로이 박판의 자기적 성질에 가장 큰 영향을 미치는 미세조직의 변화에 압연을 및 열처리조건이 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 기존의 Fe-79Ni 퍼말로이를 기본 조성으로 하여 Si 이 첨가된 새로운 합금계를 개발하였다. Si 의 첨가는 퍼말로이의 주조가능 온도를 넓히는 역할을 하여 퍼말로이의 주조성이 개선되었다. 표 1 에 본 연구에서 상용한 퍼말로이의 조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of permalloys used in the present study

	Ni	Fe	Mo	Si
A	79	16	4	1
B	79	19	-	2
C	79	16	-	5

그림 1 은 본 연구에서 사용한 용탕인출 주조기의 개략도를 나타낸다.

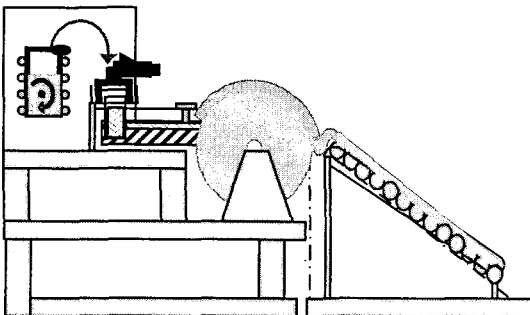


Fig. 1 Schematic diagram of melt drag casting facilities

용탕 주조 온도는 1580℃, 주조 속도는 약 2m/sec 으로 제조하였다. 냉간 압연 후 Si 함량을 달리한 각 시편을 1000, 1100, 1200℃에서 3 시간동안 열처리를 함으로써 열처리 온도가 미세

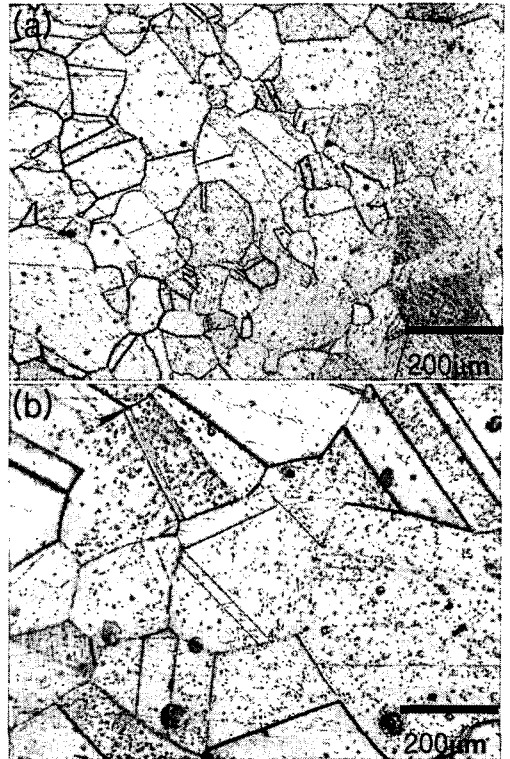


Fig. 2 Optical microstructure of permalloys after annealing at 1100°C; (a) 1% Si and (b) 5% Si

조직 및 자기적 특성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

용탕인출법으로 제조한 퍼말로이 박판의 미세 조직과 시편의 방향성 관찰은 광학 현미경(OM), 주사전자 현미경(SEM), 투과전자현미경(TEM), EBSD(Electron Back-Scattered Diffraction) 등을 사용하였다.

3. 실험 결과

그림 2 는 Si 함량 변화에 따른, 1100℃ 3 시간 소둔열처리 후의 미세조직의 변화를 나타낸다. Si 함량의 증가에 따라 결정립의 크기는 약 8µm 에서 약 26 µm 까지 점진적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 소둔 쌍정의 발생 빈도도 함께 증가하였으나, Si 함량 증가에 따라 그 차이가 크지는 않았다. 이 들의 ODF 분석 결과, 2% Si 이 첨가된 퍼말로이에서 {001}<100> {124}<211> 집합조직이 미약하게 형성되었으나,

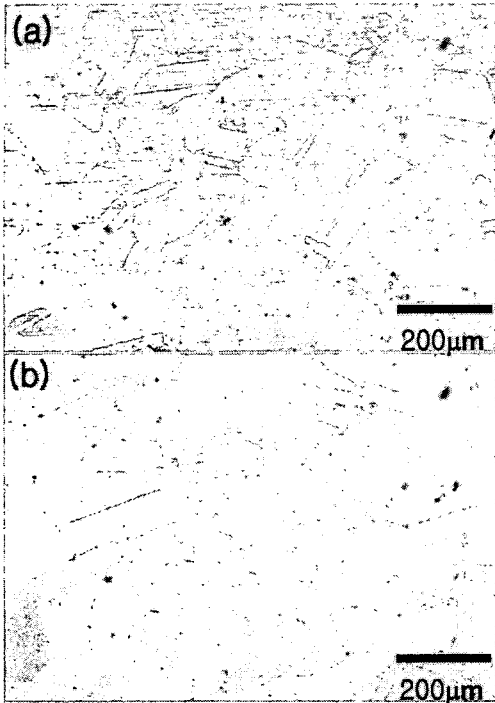


Fig. 3 Optical microstructure of 2%Si permalloys after annealing at (a) 1000°C and (b) 1200°C

1%와 5%의 Si 이 첨가된 경우에는 집합조직이 거의 형성되지 않은 것으로 판단되었다.

그림 3 은 2%의 Si 가 첨가된 퍼말로이 합금을 냉간 압연한 후 각각 1000°C, 1100°C, 1200°C에서 3 시간 진공 소둔 열처리 한 후 노냉한 시편의 광학 현미경 사진 분석 결과이다. 냉간 압연한 시편에 비해 결정립 크기가 증가한 것으로부터 고온 소둔 열처리시 결정 성장이 일어났음을 알 수 있다. 또한 1000°C ~ 1200°C 범위에서 소둔 온도가 증가함에 따라 결정립 크기가 증가하는 것이 관찰되었으며, 시편 모두에서 소둔 쌍정이 생성되었다. 이들의 집합조직 분석 결과, 전체적인 집합조직의 발달이 미약하였으며, 이러한 경향은 열처리 온도에 상관없이 모든 시편에서 유사하게 나타났다.

그림 4 는 Si 함량 및 소둔열처리 온도에 따른 투자율 (effective permeability)의 변화를 나타낸다. 비자성원소인 Si 이 일부 첨가되었음에도 본 연구에서 개발한 퍼말로이 합금은 비교적 우수한 투자율을 나타내었다.

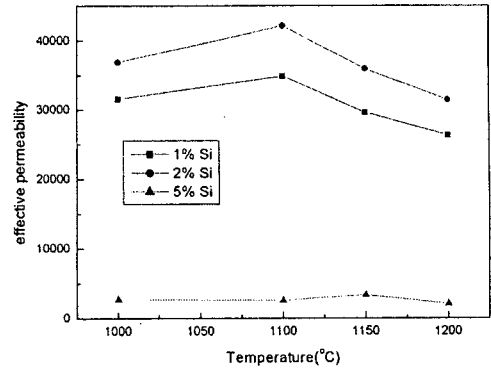


Fig. 4 Effective permeability of permalloys depending on Si contents and annealing temperature

2%의 Si 를 포함하는 퍼말로이 합금이 가장 우수한 자기적 특성을 나타내었으며, 열처리 온도의 경우에는 합금의 종류에 상관없이 1100°C 에서 열처리한 경우의 투자율이 가장 높은 값을 나타내었다. 결정립계는 자구의 이동 및 회전에 대한 장벽으로 작용하므로, 결정립의 크기는 연자성 금속재료의 투자율과 밀접한 관계를 갖는다. 즉, 결정립의 크기가 클수록 투자율이 증가하는 것이 일반적인 현상이다. 그림 2 에서 소둔 열처리 후 결정립의 크기는 Si 함량의 증가에 따라 증가하였다. 이를 그림 5 의 투자율 변화와 비교하여 보면, 2%이하의 Si 가 첨가된 경우에는 결정립의 크기와 투자율의 변화가 잘 일치하고 있으나, 2% 이상의 Si 이 첨가된 경우에는 결정립 크기가 증가하였음에도 투자율이 크게 감소하여 미세구조의 변화만으로 자성특성을 설명하기에 어려움이 있었다. 또한, 그림 4 에서 소둔열처리 후 결정립의 크기는 열처리 온도에 따라 증가하였다. 1100°C 이하의 열처리 온도에서는 열처리 온도 증가에 따라 투자율이 증가하였으며, 이는 결정립 크기 변화와 잘 일치하였다. 그러나, 1100°C 이상의 열처리 온도에서는 결정립의 크기가 컸던 1200°C 에서 열처리한 퍼말로이가 더 낮은 투자율 값을 나타내었기 때문에 미세조직 및 집합조직의 차이로 1100°C 이상의 열처리 온도에서 나타난 투자율의 변화를 설명하기에는 부족하였다.

일반적으로 퍼말로이 합금의 자성특성에 영향을 치는 요소로는 합금의 미세구조, 집합조직 형성 여부, 상변화 등이 있다. 실험 결과 부분에서 제시한 바와 같이 본 연구에서 개발한 퍼말로이의 경우, 집합조직의 형성이 매우 미약하였기

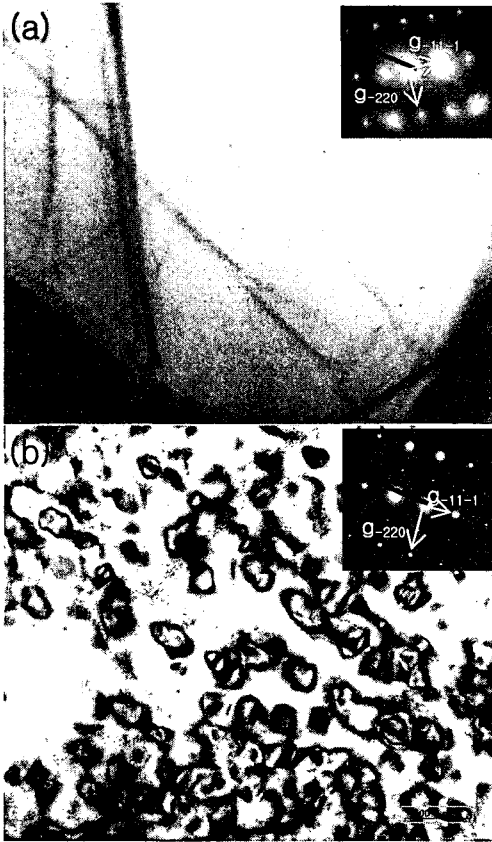


Fig. 5 TEM micrographs showing the microstructure of permalloys depending on Si contents; (a) 1%Si and (b) 5% Si

때문에 집합조직의 형성 여부는 투자율의 변화에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다. 또한 미세조직의 변화만으로 Si 함량 및 열처리 온도에 따른 투자율의 변화를 충분히 설명할 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 투과전자현미경을 이용하여 각 합금들에 형성된 상을 확인해 보았다. 그림 5는 Si 함량에 따른 투과전자현미경으로 관찰한 퍼말로이 합금의 미세구조를 나타낸다. 1%와 2%의 Si가 함유된 경우에는, 두 합금 사이에 미세구조의 차이가 크게 발견되지 않았으며, 회절도형의 분석결과, (Fe, Ni) 고용체가 형성되었다(그림 5 (a)). 그러나, 5%의 Si가 함유된 경우에는, 다른 두 합금계와는 전혀 다른 미세조직을 나타내었으며, 회절도형 분석결과, $FeNi_3$ 규칙격자가 광범위하게 형성되었음을 알 수 있었다. $FeNi_3$ 규칙격자는 퍼말로이의 자기 이방성을 크게 하여 자성특성을 급격하게 감소하는 것으로 알려져 있

다 [3]. 또한, Si은 이러한 규칙격자를 안정화시키는 원소이다 [4]. 따라서, 5%의 Si를 함유한 퍼말로이의 경우, 많은 양의 Si 첨가에 의해 규칙격자가 안정화되어 광범위한 $FeNi_3$ 규칙격자의 형성이 일어났으며 이에 따라 투자율이 급격히 감소한 것으로 판단되었다. 그러나, 열처리 온도에 따라서는 투과전자현미경을 통한 관찰결과, 뚜렷한 차이를 발견하지 못했으며, 1100°C 이상의 열처리 온도에서 나타난 자성특성의 변화를 설명하기 위해서는 쌍정의 영향, 불순물 등 다른 요소들의 영향에 대한 연구가 더 필요하다.

4. 결론

- (1) 용탕인출법을 이용하여 퍼말로이 박판을 성공적으로 제조하였으며, 이들은 기존의 공법으로 제조된 퍼말로이 합금과 거의 유사할 정도로 우수한 자성특성을 나타내었다.
- (2) 퍼말로이에 첨가된 Si은 첨가량에 따라 퍼말로이 합금의 결정립 크기 및 $FeNi_3$ 규칙격자의 형성에 큰 영향을 미쳤으며, 이에 따라 투자율 크기의 차이가 나타났다.
- (3) 퍼말로이 열처리 온도의 증가에 따라, 결정립 크기가 증가하였으며, 쌍정의 형성 빈도 또한 높아졌다. 이러한 미세구조의 변화와 자성특성의 관계를 통하여 최적의 열처리 조건을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발 사업의 재정적 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) A. Tsaliovich, 1999, "Electromagnetic shielding handbook for wired and wireless EMC applications", Kluwer Academic Publisher.
- (2) F. Pfeiffer and C. Radloff, 1980, J. Magn. Magn. Mater., Vol. 19, p190.
- (3) F. Pfeifer and H. Wegerle, 1983, J. Magn. Magn. Mater., Vol. 38, p287.
- (4) E. P. Wohlfarth, 1986, "Ferromagnetic materials", North-Holland physics publishing.