

극박형 철계 초미세 결정 리본 합금의 자기적 특성

한국과학기술연구원 김 광 윤

Magnetic Properties of Ultrathin Fe-based Nanocrystalline Ribbon Alloys

KIST K.Y. KIM

1. 서 론

최근 컴퓨터, 통신기기, 가전기기 등 각종 전기 전자 장치의 소형 경량화 및 기능의 고성능화가 급속히 진전되면서 거기에 사용되는 전원장치의 소형화 및 저에너지화가 요구되고 있다. 전원 장치에 사용되는 연자성 부품의 경우 구동 주파수와 자속밀도를 증가시킴으로 소형화가 가능한데 현재 100 - 200 kHz대역의 고주파용 전원장치에 사용되는 연자성 재료로는 코발트계 비정질 합금(두께 20-30 μ m 정도)이 최적 합금으로 제시되고 있다. 그러나 이 들 주파수를 1 MHz 대역 까지 증가시켜 보다 고도의 소형화를 달성하고자 하는 노력이 일본에서 이루어지고 있으며, 이에 대응가능한 재료로서 두께를 통상의 비정질 합금보다 약 1/3- 1/4 로 감소시켜 와전류 손실을 최대한 억제한 저손실 코발트계 극박형 비정질 합금이 보고되고 있다[1].

그러나 이러한 극박형 코발트계 비정질 합금의 경우 자속밀도가 0.5-0.7 T로 매우 낮으며, 또한 열역학적으로 불안정하여 경시변화가 큰 것이 단점으로 지적되고 있다.

한편 액체급냉법으로 제조한 특정조성의 철계 비정질 합금을 결정화 온도이상에서 열처리 하면 나노미터 크기의 결정립 조직을 갖는 초미세 결정구조가 형성되면서 영자왜 코발트 비정질 합금과 비슷한 연자성과 동시에 높은 포화자속밀도를 나타내는 새로운 연자성체가 얻어짐이 밝혀졌다. 이와 같은 철계 초미세결정 합금은 1988년 히타찌 금속의 Yoshizawa[2] 등에 의해 Fe-Cu-Nb-Si-B계 합금의 적정 열처리에 의해 직경 10 nm 정도의 bcc-Fe 상의 나노결정구조를 얻은 이후 알프스의 Suzuki[3] 등은 Fe-M-B-(Cu)계 에서도 유사한 결과를 얻고 있다. 이 합금계는 전자에 비해서 상대적으로 높은 Fe의 분율에 의해 포화자속밀도가 약 1.5 ~ 1.7 T에 이르고, 자심손실이 낮다는 등의 장점이 있다.

본 연구에서는 제조공정상으로는 극박형 리본 제조를 위해 진공중 급냉용고 기술을 개발하고, 특성상으로는 고평화자속밀도의 합금조성과 미세조직을 정밀제어하여 보다 소형화가 가능한 MHz 대역 고주파용 극박형 철계 초미세 결정 연자성 합금을 개발 하고자 하였다.

2. 실험방법

순도 99.9 % 이상의 Fe, Nb, B, Cu, Al 원료금속을 소정의 조성대로 평량한후 진공 아-크 용해로를 사용하여 모합금을 제조하였다. 비정질 합금리본은 진공 및 분위기를 유지할 수 있는 단롤형 급냉용고 장치를 사용하였으며, 모합금의 용해는 최대 출력 5 kW인 고주파 유도로를 사용하였다. 두께 10 μ m 이하의 극박 비정질 리본시료는 통상의 제조조건으로는 표면이 양호한 시료를 제조할 수 없기 때문에 진공중에서 제조하였으며, 선 속도 50~60 m/sec, 분사압력 0.005~0.02 kg/cm², 정방형 석영슬릿의 크기 0.2×4 mm 등의 제조조건으로 두께 10 μ m 이하, 폭 3~4 mm의 극박리본을 제조하였다. 제조된 리본은 X-선 회절분석을 통하여 비정질임을 확인하고, 외경 21 mm의 구리 보빈에 적정 길이만큼 토로이드 형태로 감아 10⁻³ Torr 이하의 진공도를 유지할 수 있는 석영관 내에서 1시간 동안 열처리 한 후 Ar 분위기에서 공냉하였다. 열처리에 사용된

열처리로는 유도자기장이 발생하지 않도록 무유도 권선방식으로 감은 열처리를 사용하였고, 시료의 저항을 이용하여 급속가열이 가능한 순간 열처리 장치(flash annealing)를 제작하여 미세조직을 제어하는 열처리를 실시하였다.

열처리한 시료의 자기적 특성을 조사하기 위하여 토로이드 형태로 감은 시료의 직류 및 교류 자기 특성을 측정하였다. 교류 실효 투자율은 임피던스 측정기(Hewlett Packard, 4192A), 직류 자기특성은 DC Recording Fluxmeter(Toei, TRF-5AH1)에 의하여 측정하였다. 자심손실의 측정에는 B-H Analyser (Iwatzu, SY820)을 사용하였으며, 열처리후 결정화된 시편의 미세조직 및 상분석을 위하여 Cu-K α 선에 의한 X-선 회절시험(Rigaku)기 및 투과전자 현미경(Transmission Electron Microscope : Philips, CM30)으로 관찰을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

극박형 (두께 10 μm 이하의 리본)비정질 리본을 제조하기 위한 진공중 급냉응고기술은 기존의 비정질 제조기술과 비교할 시 제조변수가 다양하며 또한 엄격한 변수제어를 통해서만이 양질의 극박형 비정질 리본을 제조할 수 있다. 본 연구에서는 나노결정구조의 형성이 예상되는 고포화자속밀도의 Fe 계를 기본으로한 Fe-B-Nb-Cu 합금을 이용하여 표 1에서 제시하는 변수들을 잘 제어하여 극박형 리본의 제조에 성공하였다. 이 중 가장 중요한 변수로는 용탕온도, 용탕분사압, 냉각률 회전속도 등이 었다.

7 μm 의 두께를 갖는 극박형 Fe₈₃B₉Nb₇Cu₁ 리본 합금의 열처리후 자기적 특성을 조사한 결과 실효투자율은 1 MHz에서 3,000, 자심손실은 1 MHz, B_m= 0.2 T 의 조건에서 2,072 W/kg이었다. 고주파에서 높은 투자율을 갖는 원인은 나노 미터크기를 갖는 bcc-Fe 상의 석출에 기인되며, 두께 감소에 따른 와전류 손실의 감소가 고주파에서 낮은 자심손실을 갖는 것으로 생각된다.

본 발표에서는 상기 조성 이외에 고주파 특성이 우수한 신 합금의 자기적 특성 및 극박형 리본 합금의 다양한 열처리를 통한 고주파 연자기특성향상 및 그 원인에 관해서 체계적으로 보고하고자 한다.

표 1 극박형 리본합금의 대표적 제조조건

condition	ultrathin ribbon	conventional ribbon
roll material	steel	copper
nozzle type	rectangular	circular
ejection pressure (kg/cm ²)	0.04	1.2
roll speed (m/s)	55	45
vacuum	10 ⁻⁵ Torr	Ar atmosphere
roll-nozzle distance (mm)	0.4	0.8

참고문헌

- [1] M. Yagi, T.Sato, Y.Sakaki, T.Sawa and T.Inomata : *J. Appl. Phys.*, 64, 6050 (1988)
- [2] Y.Yoshizawa, S.Oguma and K.Yamauchi.: *J.Appl.Phys.*, 64, 6044 (1988)
- [3] K. Suzuki, A. Makino, A. Inoue and T. Masumoto : *J.Appl.Phys.*, 70, 6232 (1991)