

Fe-B-Si 비정질 합금의 자장중 열처리 효과

(Magnetic Annealing of Amorphous Fe-B-Si Alloy)

* 강원구, * 김은동, 이연용, 김기욱, 이원재, 민복기, 송재성, 홍진완, 윤문수

* 한전기술연구원, 한국전기연구소

* Kang Won-Koo, * Kim Yoon-Dong, Lee Eun-Yong, Kim Ki-Uk, Lee Won-Jae, Min Bok-Ki, Song Jae-Sung, Hong Jin-Wan, Yoon Moon-Soo

* Research Center KEPCO, KERI

Abstract

For improving magnetic properties of the amorphous Fe-B-Si alloy, we annealed in a magnetic field oriented in the plane of the ribbon longitudinal to its long axis. By field annealing, coercive force and total core loss are reduced from 0.04 Oe to 0.02 Oe, and from 0.25 watt/kg to 0.15 watt/kg respectively comparing with non-field annealed specimen.

These reductions were caused by the formation of 180° domains parallel to the annealing field due to the induced anisotropy.

I. 서론

액체 급랭법으로 제조된 transition metal-metalloid 비정질 합금에 대한 연구결과가 많은데^{1),2)} 이는 이 재료가 부자율이 높고, 철손(core loss)이 작기 때문에 magnetic shield, power transformer, magnetic head 등에서의 산업적 이용가치가 크기 때문이다. 그러나 as-quenched 상태의 비정질 재료는 10°deg/sec 정도의 냉각속도로 급랭에 의하여 제조되므로 stress를 강하게 받고 있는 상태이기 때문에 부자율, 보자력(coercive force) 등 자기적 성질이 좋지 못하고 철손도 크다.

따라서 비정질 재료의 stress relaxation을 위하여 열처리를 행하여야 하는데 열처리 조건에 따라 특성변화가 크므로 이에 대한 연구가 활발하다. 또 최근에는 hard magnet의 각형비를 증대시키기 위하여 이용되는 자장중 열처리 방법을 Co-base 비정질 재료에 적용함으로써

자기특성 및 철손이 개선된다고 보고되고 있다.^{3),4),5)}

본 연구에서는 변압기 철심재료로 유망한 Fe계의 Fe₇₈B₁₃Si₉ 비정질(Netglas 2605-S2) ribbon을 공급받아서 ribbon 길이 방향으로의 static field를 가하면서 열처리 하여 자장효과에 의한 자기특성 및 core loss 변화를 측정 하였으며 이를 magnetic domain 및 induced anisotropy의 관점에서 고찰하였다.

II. 실험 방법

As-quenched 상태의 Fe₇₈B₁₃Si₉ 비정질 ribbon(폭 25μm, 두께 20μm)을 직경 25mm의 bobbin에 winding 하여 toroid 시료로 제작하였다.

열처리는 Ar 분위기로 340°C~440°C의 온도영역에서 ribbon 길이 방향으로 0~20 Oe DC field를 가하는 자장중에서 행하였다. 자기적 특성은 B-H meter를 이용하여 측정하였고, 철손은 전력계-전류계-전압계 법을 이용하였으며 Bitter method에 의하여 magnetic domain을 관찰하였다.

또 induced anisotropy constant(Ku)는 ribbon 길이 방향으로 external field를 걸어주면서 열처리한 시료(H_L)와 ribbon 폭방향으로 external field를 걸어주면서 열처리한 시료(H_T)의 초차화곡선으로 부터

$$Ku = \int_0^{B_s} (H_T - H_L) dB \text{에 의하여 구하였다.}$$

III. 결과 및 고찰

Fig.1은 10 Oe의 자장중 혹은 무자장중에서 2시간 동안 열처리한 시료의 열처리 온도에 따른 1.2T/60Hz에서의 total core loss를 나타내는데 10 Oe의 자장중

에서 열처리한 시료의 경우가 무자장에서 열처리한 시료보다 철손이 크게 작고, 철손이 최소가 되는 peak가 나타나는 열처리 온도가 20~30°C 낮았다. Total core loss는 hysteresis loss(W_h)와 eddy current loss(W_e)의 합으로 표시되는데 Fig.1의 결과를 W_h 와 W_e 로 분리하여 열처리 온도에 따라서 단위 cycle당 loss로 표시하여 Fig.2, Fig.3에 나타내었다. 열처리 온도에 따라 eddy current loss는 큰 변화가 없는 반면에 hysteresis loss가 크게 달라졌는데 hysteresis loss의 변화가 Fig.4의 coercive force의 변화와 거의 같은 경향을 띄고 있다. 결과적으로 total core loss가 coercive force의 변화에 크게 의존하는 것을 알 수 있다.

Fig.4에서 낮은 온도영역에서 열처리 온도가 증가함에 따라 coercive force가 감소하는 것은 급랭 상태에서 발생되었던 내부응력이 이완됨으로서 stress-magnetostriction anisotropy가 사라지고, magnetically induced나 strain induced 또는 directional ordering anisotropy만 남게 되어 magnetic domain의 이동이 용이해지기 때문인 것으로 사료된다. 또 적정 열처리 온도 이상의 온도에서 coercive force가 다시 증가하는 것은 주로 고온에서 원자확산으로 인해 화학적 단거리 질서(CSR0)가 증가되고 내부조직에 microcrystalline이 형성되어 자벽이동이 방해 받기 때문인 것으로 여겨진다.

Core loss 및 coercive force가 최소가 되는 열처리 온도가 자장중 열처리한 시료의 경우가 무자장 열처리한 경우보다 낮은 것은 자장 효과에 의하여 원자확산이 촉진되어 CSR0가 증가된 결과로 생각된다.

Fig.5에 열처리 온도에 따른 domain width의 변화, Fig.6에 domain의 배열이 ribbon의 길이방향에서 벗어난 정도를 나타내었는데 390°C에서 자장을 걸어주면서 열처리한 시료의 경우에 가장 낮은 domain 배열이 이루어진 것을 알 수가 있는데 이는 Fig.7의 induced anisotropy constant(K_u)의 결과와 일치하는 것이다.

IV. 결 론

변압기 철심용 비정질 재료인 $Fe_{78}B_{13}Si_9$ (Metglas 2605-S2)의 자장중 열처리 효과 연구로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자장중 열처리에 의하여 무자장 열처리한 경우보다 coercive force는 50%, core loss(1.2T/60Hz)는 60%의 감소효과가 있었다.
2. 10 Oe의 자장중에서 열처리 했을 때 380~390°C의 열처리 온도에서 가장 우수한 특성을 얻을 수 있었는데 이는 이 조건에서 uniaxial anisotropy가 가장 크게 유도돼 180° domain의 형성이 용이했기 때문인 것으로 사료된다.
3. 자장중 열처리에 의하여 core loss가 최소가 되는 열처리 온도가 낮아지는 것은 field 효과에 의한 원자 확산의 촉진에 기인하는 것으로 생각된다.
4. 상용주파수 영역에서는 total core loss에서 hysteresis loss가 차지하는 비중이 eddy current loss에 비하여 훨씬 크다.

(참고문헌)

- 1) R. Hasegawa : J. Magn. Magn. Mater., 41 (1984) 79-85.
- 2) S. Aly et.al. : J. Magn. Mag. Mater., 75 (1988) 88-90.
- 3) S. Tsunashima et. al. : IEEE Trans. on Mag. Vol.17 (1981) 3073
- 4) P. J. Flanders et. al. : IEEE Trans. on Mag. Vol.19 (1983) 1904
- 5) 홍진완 외 : 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집 (1990) 52-55

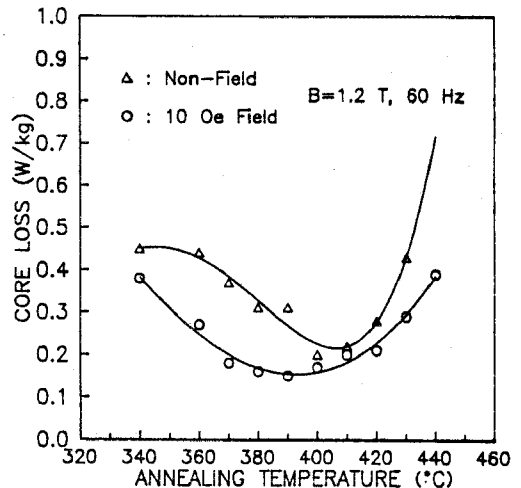


Fig.1 Core loss vs. annealing temperature in amorphous $Fe_{78}B_{13}Si_9$ alloy annealed without field(Δ), and annealed in static field(\circ).

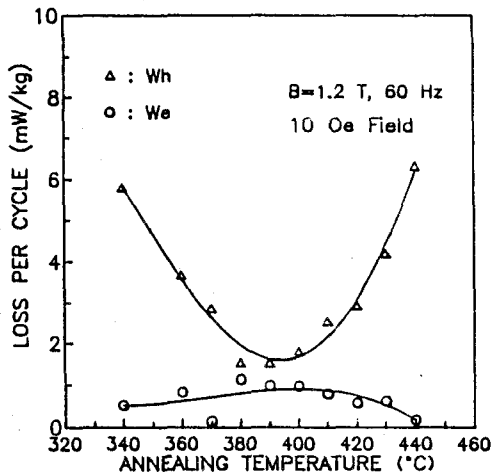


Fig.2 Core losses versus annealing temperature in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed in static field, at $B = 1.2T$, $f = 60$ Hz.

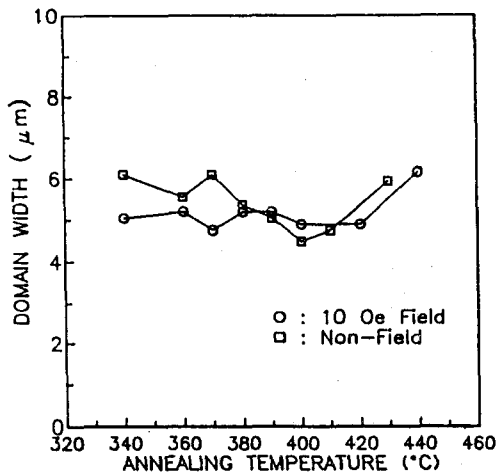


Fig.5 Domain width as a function of annealing temperature in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed without field(\square), and annealed in static field(\circ). Applied field was 10 Oe.

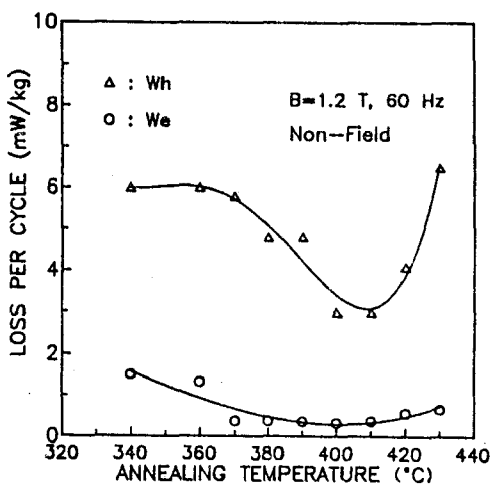


Fig.3 Core losses versus annealing temperature in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed without field, at $B = 1.2T$, $f = 60$ Hz.

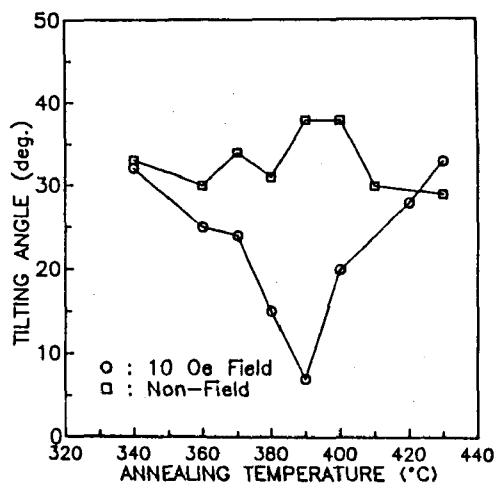


Fig.6 Effect of annealing temperature on the alignment of domain to ribbon length axis in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed without field(\square), and annealed in static field(\circ). Applied field was 10 Oe.

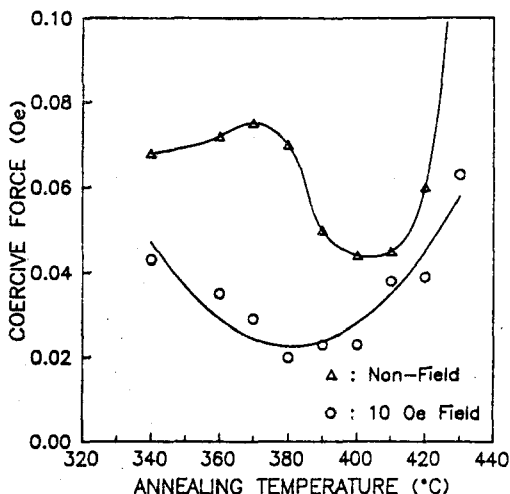


Fig.4 Coercive force vs. annealing temperature in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed without field(Δ), and annealed in static field(\circ).

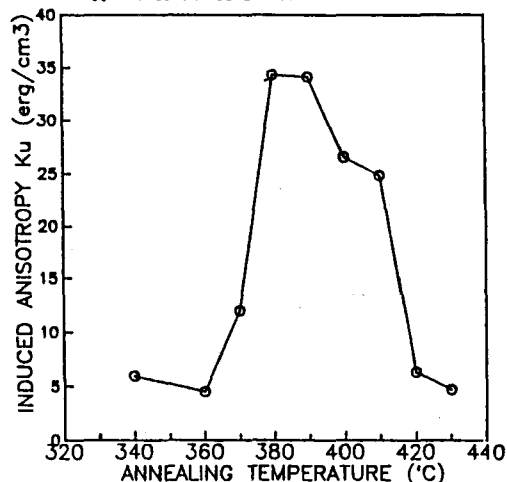


Fig.7 Induced anisotropy as a function of annealing temperature in amorphous $Fe_{70}B_{13}Si_{17}$ alloy annealed in static field. Applied field was 10 Oe.