

Fe₈₇Zr₇B₅Ag₁(at%) 비정질 합금의 연자기 특성

The Soft Magnetic Properties of Fe₈₇Zr₇B₅Ag₁ Amorphous Alloy

김 현식*, 오 영우

경남대학교 무기재료공학과

김 병걸, 정 순종, 김 기욱, 민 복기, 송 재성

한국전기연구소 비정질재료 연구팀

H.S. KIM*, Y.W. OH

Kyungnam University

B.G. KIM, S.J. JEONG, K.U. KIM, B.K. MIN, J.S. SONG

KERI

Abstract

We examined the magnetic properties as a function of annealing temperature of the as-quenched Fe₈₇Zr₇B₅Ag₁ amorphous alloy.

The values of H_c=30mOe, B₉₀=0.44T and μ_i=146000 at 300°C annealing treatment are obtained. The excellent soft magnetic properties seem to result from the annihilation of quenching-induced internal stress by the heat treatment and the change of microstructure due to the different relaxation behavior owing to adding insoluble element such as Ag.

Therefore, the Fe₈₇Zr₇B₅Ag₁ amorphous alloy is quite promising for practical use as a core material in various transformers of high frequency.

1. 서론

원자 배열의 규칙성을 가지고 있지 않은 비정질 합금은 결정질 합금에 대조되는 물질로써, 1960년대 Duwez등에 의해 최초로 연구가 된 이후, 새로운 실용 합금으로써 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 이런 비정질 합금은 결정질 합금에 비해 기계적, 화학적, 전기적 및 자기적으로 독특한 물성을 나타내고 있다. 특히, 이런 비정질 합금의 가장 중요한 응용분야로써 연자기 재료 분야가 가장 기대되고 있으며, 이미 일부는 실용화 되고 있다[1].

현재 연구된 연자기 비정질 합금은 Fe계 비정질 합금과 Co계 비정질 합금으로 크게 나눌 수 있다. Fe계 비정질 합금 중 Fe-반금속계는 상용 주파수 영역에서 높은 포화자화 및 낮은 자기이력손실등 우수한 연자기적 성질을 나타내므로 변압기 자심 재료등으로 현재 실용화 단계에 있으며, Co계 비정질 합금은 영자기변형 조성에서 높은 투자율과 고주파 영역에서 기존의 Mn-Zn ferrite보다도 높은 포화자속밀도 및 낮은 자기이력손실을 나타내므로 전자부품의 고성능화, 자기헤드 및 고주파용 자심재료로 사용되고 있다[2].

그러나 이들 연자기 비정질 합금은 모두 결점을 가지고 있다. 즉, Fe계 비정질 합금은 자기변형이 크고, 고주파 특성이 나쁘고, Co계는 높은 가격과 상용조성에서 낮은 포화자속밀도를 나타낸다. 또한, 이들 합금은 모두 비정질상이기 때문에 열적 안정성이 나쁘다. 따라서 높은 포화자속밀도 및 고주파 영역에서 높은 투자율을 가지며, 열적으로 안정한 재료의 개발이 계속되고 있다.

이와같은 목적을 달성하기 위하여 Yoshizawa등[3]은 Fe-Nb-Cu-Si-B계 비정질 합금에서, 또한 Suzuki등[4]은 Fe-Zr-B-Cu계 비정질 합금에서 열처리하여 초미세 결정립 합금을 개발하여 고투자율, 고포화자속밀도의 연자기특성이 우수한 재료를 개발한 바 있다. 이런 재료는 초기 액체급냉에 의해 비정질상을 형성시킨 후 비교적 높은 온도에서 열처리하여 10-20nm 크기의 미세한 bcc α-Fe상을 석출시킴으로 인하여 자왜를 크게 감소시켜 자기적특성을 향상시킨 것이다. 그러나 이와 같은 재료는 고온의 열처리에 의해 결정화됨에 따라 소재 자체가 대단히 취약하고, 투자율도 기존의 Co계

비정질 합금을 대체할 수 있을 정도의 값이 얻어지고 있지 않다.

따라서 본 실험은 Fe계 비정질 연자성 재료를 가격 면에서 5배 가량 비싼 Co계 비정질합금을 대체하기 위하여 기존에 알려진 발상에서 벗어나 Fe와 비고용원소인 Ag를 첨가하여 열처리초기에 미세한 α -Fe cluster를 비정질 matrix에 미세분산시켜 그 재료의 자기적 특성 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 Fe-B합금과 순수한 Fe, Zr 및 Ag를 30g으로 칭량한 후, 모합금은 아르곤 분위기에서 아크용해하여 제조하여, 여기서 얻은 모합금의 일부 약 5g정도를 아르곤 분위기 중에서 약 폭 2mm, 두께 20 μ m의 $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ 비정질 리본을 액체급냉법으로 제조하였으며, X-선 회절실험으로 비정질임을 확인하였다. 그리고, 제조한 비정질 합금을 DSC로 각각의 합금의 결정화 온도를 조사하여, 각각의 시료를 진공 속에서 10 $^{\circ}$ C/min의 승온 속도로 200 $^{\circ}$ C에서 600 $^{\circ}$ C사이에서 1시간 동안 열처리한 후 냉각 속도를 다르게 하였다. 열처리를 한 시료를 X-선 회절 실험으로 결정화 여부 및 생성된 결정을 조사하였다. 그리고, 포화 자화는 VSM을 이용하여 측정하였고, 보자력은 직류자기이력곡선 장치(DC B-H loop tracer)를 이용하여 측정하였으며, 초투자율은 각 주파수 영역에 LCR meter를 이용하여 자기적 특성을 측정했다. 그림 1에 실험 공정도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2에 $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ 비정질 합금의 열처리 온도 따른 보자력의 변화를 나타내었다. As-quenched 리본의 보자력은 125mOe이지만, 300 $^{\circ}$ C에서 열처리하였을 때 보자력은 30mOe로 상당히 감소하였고, 이는 내부에 잔존해 있는 응력의 완화에 의한 것이라고 생각되며, 결정화가 시작되는 400 $^{\circ}$ C에서는 보자력 140mOe로 상당히 증가하지만, bcc α -Fe 초미세 결정립이 생성되는 500 $^{\circ}$ C에서는 70mOe로 다시 감소하며, 열처리 온도가 더욱 증가함에 따라 결정립의 성장 때문에 보자력은 급격히 증가함을 나타낸다.

그림 3은 $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ 비정질 합금의 열처리 온도에 따른 포화자속밀도의 변화를 나타낸 것이다. As-quenched한 비정질 합금의 포화자속밀도는 0.49T이며, 열처리온도가 증가함에 따라 증가하고 있다. 열처리 온도가 600 $^{\circ}$ C에서 포화자속밀도는 1.58T까지 증가함을 보인다.

그림 4는 열처리 온도에 따른 초투자율의 변화를 나타낸 것이다. 서냉의 경우, 비정질 상에서 7000이지만 열처리 온도가 300 $^{\circ}$ C일때 초투자율은 146000으로 대단히 높은 값을 나타내고, 이후 열처리온도에서는 감소하고 있음을 알 수 있다. 300 $^{\circ}$ C 열처리온도에서 얻어진 값은 지금까지 철계 비정질 합금에서 얻어진 값중에 최고의 값이고, 철순도 대단히 적으리라 생각되며, Co계 비정질 합금 보다 높은 값을 나타내고 있다. 이것으로부터 고주파영역에서도 충분히 그 능력을 발휘할 수 있는 재료라고 판단된다.

4. 결론

$Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ 비정질 합금을 열처리 하여 자기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 낮은 열처리 온도(300 $^{\circ}$ C, 400 $^{\circ}$ C)에서 매우 우수한 연자기특성이 얻어진다.
2. $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ 비정질 합금을 300 $^{\circ}$ C에서 열처리한 후 서냉하였을 때 보자력은 30mOe, 포화자속밀도는 0.44T, 초투자율은 1KHz에서 146000으로 매우 우수한 연자기 특성을 가진다.
3. 이와 같은 재료는 Co계 비정질합금을 대체할 수 있으리라 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] 増本 健 : アモルファス金屬の 基礎, (1980)
- [2] N. Saegusa and A.H.Morrish : Phys. Rev. B, 26 (1982) 305
- [3] Y. Yoshizawa, S. Oguma and K. Yamauchi : J. Appl. Phys, 64, (1988) 6044
- [4] K. Suzuki, A. Makino, N. Kataoka, A. Inoue, T. Masumoto : Mater. Trans. JIM, 32, 93 (1991)

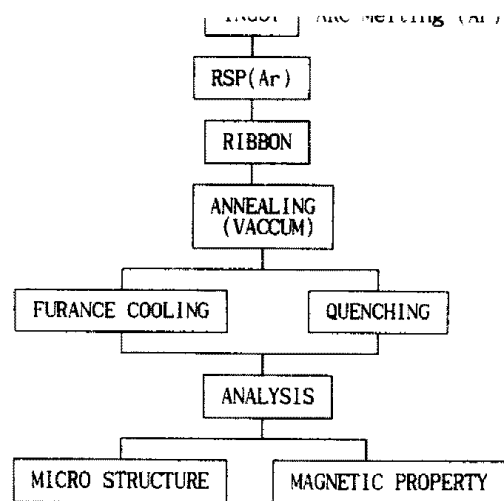


Fig. 1. Experimental procedure

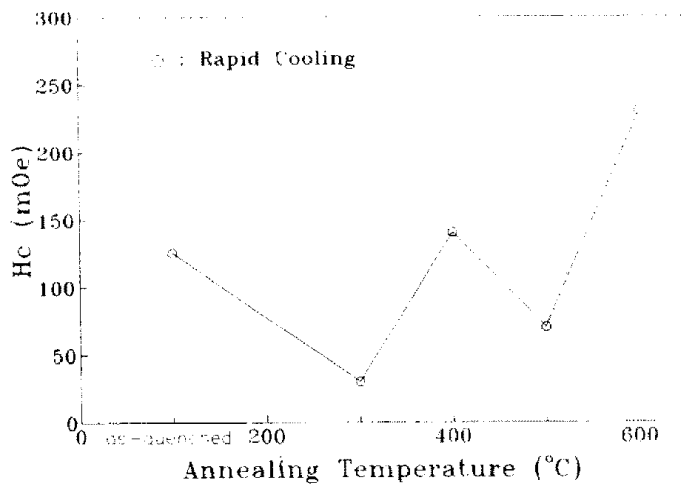


Fig. 2. The coercive force(H_c) as a function of annealing temperature for $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ alloy

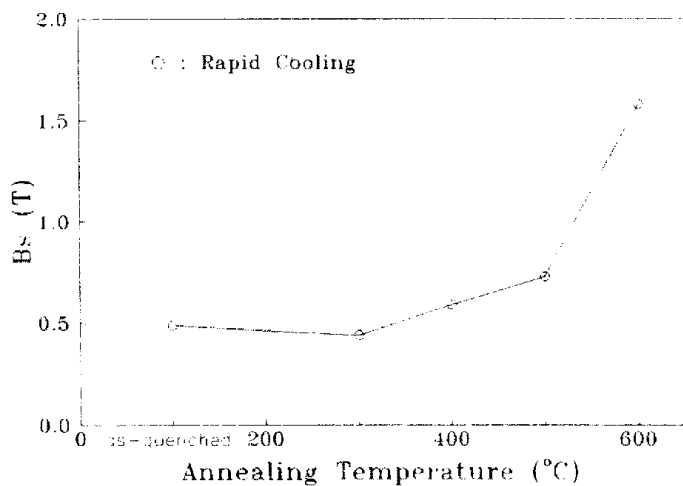


Fig. 3. The saturation magnetic flux density(B_s) as a function of annealing temperature for $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ alloy.

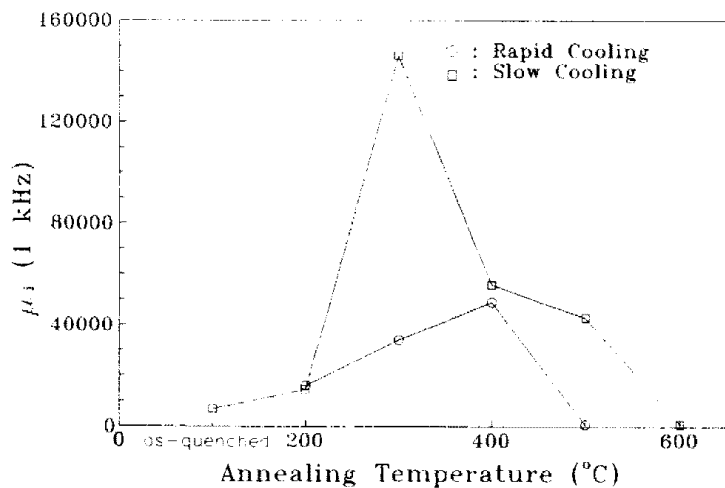


Fig. 4. The initial permeability(μ_i) at 1kHz as a function of annealing temperature for $Fe_{87}Zr_7B_5Ag_1$ alloy