

Fe-Al-B-Zr-Cu 나노결정 합금의 연자기적 특성

성균관대학교 박진영*
한국과학기술연구원 김규진, 김광윤, 이중선
노태환, 강일구

Soft Magnetic Properties of Fe-Al-B-Zr-Cu Alloys
with Nano scale grains.

SungKyunKwan Univ. J.Y. Park.*
K I S T K.J. Kim, K.Y. Kim, J.S. Lee
T.H. Noh, I.K. Kang.

1. 서론.

Fe-Al-B계는 Fe-Si-B계(Finemet의 기본 성분계)와 유사한 물리적 특성(예:전기저항, 자속밀도 등)을 지니고 있으나^[1], Al함량의 증가에 따른 자왜 및 자기이방성계수가 급격히 커짐으로 인하여 연자성재료 개발에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

본 연구그룹에서는 새로운 연자성재료 개발을 위해 Fe-Al-B-Zr계를 선정하여 이들 합금계에 대한 체계적인 연구를 수행하여 왔다. 주요 결과를 살펴보면 액체 급냉법의 적용에 의해 제조한 Fe-Al-B-Zr계 비정질 리본을 결정화 이하의 온도에서 열처리시 연자기 특성이 향상되며, 특히 $Fe_{86-x}Al_4B_{10}Zr_x$ ($5 \leq X \leq 10$)의 합금조성 범위에서 가장 뛰어난 연자기 특성을 보였다^[2]: $\mu_e=17000 \sim 25000$, $B_{10}=0.59 \sim 1.10$ T, $H_c=25 \sim 35$ mOe, $T_c=413 \sim 473$ K.

이들 비정질 합금은 Zr함유에 의한 Invar효과에 기인하여 B_{10} 및 T_c 값이 낮아 실용상의 문제점이 제기되어, 적절한 합금 원소의 첨가 및 열처리 등에 의해 자기특성의 개선이 요구되었다.

한편, Fe-Si-B-Nb 및 Fe-M-B(M:천이금속) 등에 Cu를 첨가하여 제조한 비정질 합금을 결정화온도 이상에서 열처리함으로써 초미세 결정립으로 구성된 bcc-Fe상이 얻어지고 이로 인해 연자기 특성이 급격히 향상되며, 이것은 Cu가 주로 비정질상의 불안정 및 나노크기를 갖는 bcc-Fe상의 핵생성에 크게 기여하기 때문인 것으로 알려져 있다.

마찬가지로, Cu가 첨가된 Fe-Al-B-Zr계에 있어서도 비정질상의 결정화 과정에서 초미세한 bcc-Fe 결정립으로 구성된 합금계의 제조가 가능하다고 보여진다. 따라서 본 연구에서는 상기 실험된 Fe-Al-B-Zr계중 $Fe_{81}Al_4B_{10}Zr_5$ 합금을 설정하여 Cu의 소량 첨가에 따른 연자기 특성의 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법.

$Fe_{81-x}Al_4B_{10}Zr_5Cu_x$ ($X=0,1,2$)의 모합금을 Ar 분위기중 단롤형 액체 급냉장치를 이용하여 비정질합금을 제조하였으며, 이 합금계는 X-선 회절 분석결과에 의하여 모두 비정질상임을 확인하였다. 제조한 비정질상의 결정화 거동은 DTA에 의해, 생성된 상의 구조는 X-선 회절 및 TEM에 의해 조사하였다.

각 합금계에 대한 열처리온도에 따른 연자기 특성을 조사하기 위하여 실효 투자율은 임피던스 분석기, 자속밀도 및 보자력은 B-H 이력곡선 분석에 의하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰.

$Fe_{81-x}Al_4B_{10}Zr_5Cu_x$ 비정질 합금의 DTA 곡선의 분석 결과, $X=0$ 인 합금에서는 bcc-Fe 상 및 Fe-B 화합물이 생성되는 온도영역이 겹쳐지지만, $X=1$ 이상의 합금에서는 bcc-Fe 단상으로 생성될 수 있는 온도영역이 200 K 이상으로 크게 확장되었다.

그림 1, 2는 열처리 온도에 따른 실효 투자율 및 B_{10} 값의 변화를 나타낸 것으로 Cu가 첨가된 비정질 합금의 경우, 결정화 온도 영역에서 최대 투자율을 보여주며, 또한 B_{10} 값도 크게 향상된다. 743 K 온도에서 생성된 bcc-Fe 상의 결정립 크기는 XRD 및 TEM 분석 결과 6~8 nm 정도였으며, 이때의 자기적 특성은 다음과 같다. : $\mu_e=20000\sim25000$, $B_{10}=1.37\sim1.42$ T, $H_c=25\sim30$ mOe, $T_c=1040$ K.

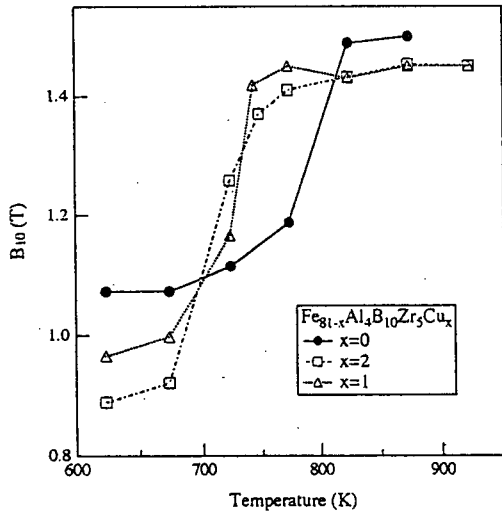


그림 1. $Fe_{81-x}Al_4B_{10}Zr_5Cu_x$ 합금의 열처리 온도에 따른 B_{10} 값의 변화.

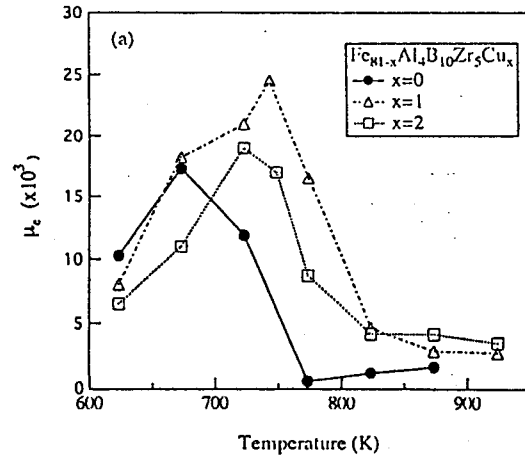


그림 2. 1kHz에서의 $Fe_{81-x}Al_4B_{10}Zr_5Cu_x$ 합금의 열처리 온도에 따른 실효 투자율.

4. 결 론.

$Fe_{81-x}Al_4B_{10}Zr_5Cu_x$ 비정질 합금을 열처리하여 구조 및 자기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 1~2 at%의 Cu 첨가에 의해 bcc-Fe상 단독으로 생성할 수 있는 온도영역은 200 K 이상으로 확장되었다.
- (2) Cu 첨가한 비정질 합금의 결정화 온도영역에서의 열처리에 의해 최대의 연자기 특성이 얻어지며, 더불어 B_{10} 및 T_c 도 크게 향상되었다.

5. 참 고 문 헌.

- [1] R.M. Bozorth, Ferromagnetism, Van Nostrand, New York, 1981, p67~210
- [2] K.J. Kim, J.Y. Park, K.Y. Kim, J.S. Lee and T.H. Noh., The Third International Symposium on Magnetin Materials(ISPMM 95), 1995, Seoul, Korea.