

Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈M₂합금의 연자성 특성에 미치는 첨가원소 M의 영향

김휘준*, 이주호, 임준우, 이성호, 배정찬
한국생산기술연구원

1. 서론

연자성소재는 자동차, 가전기기, 통신, 컴퓨터 산업분야에 사용되고 있는 전자기 부품의 코어를 형성하는 핵심 소재로서 우리 생활을 혁신시키고 있으며, 이들 산업이 추구하는 기기의 고효율화 및 부품의 경박단소화의 요구에 부응하기 위해 낮은 자기손실, 높은 자속밀도 및 투자율을 동시에 충족시킬 수 있는 새로운 연자성 소재에 대한 연구개발이 활발히 수행되고 있다¹⁻³⁾.

최근 금속글라스 합금을 기반으로 하는 Fe-[B, P, C]-[Y, Ga, Hf]-[전이금속] 합금군의 높은 투자율 및 낮은 보자력 등의 우수한 연자성 특성이 보고되면서 비정질 및 나노결정질 소재의 특성한계를 극복할 수 있는 새로운 연자성 소재에 대한 기대가 높아지고 있다⁴⁾. 금속글라스 합금의 경우, 비정질 소재와는 달리 상온에서부터 승온시 유리질 전이온도(Tg) 및 결정화온도(Tx) 사이의 과냉각액체구간(ΔT_x)이 있으며, 이 온도구간에서 연신율 500% 이상의 초소성 특성을 갖고 있어 낮은 에너지하에서도 고밀도 성형이 가능하다는 장점도 있다⁵⁾. 그러나, 이들 합금의 경우 침입형 합금원소인 B, P, C의 함유량이 20 at.%를 넘어 상온에서 취성을 갖고 있고, 고가의 희유금속의 함유량이 높다. 본 연구에서는 자성 특성을 유지하면서 침입형 합금원소 및 희유금속의 함유량을 저감한 새로운 금속글라스 기반 Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈M₂(M=Nb, Hf, Zr, Cu, Al, Si) 합금에 있어 첨가원소 M에 따른 연자성 특성(포화자속밀도, 보자력)의 변화에 대해 고찰했다.

2. 실험방법

순도 99% 이상의 구성 원소들을 진공아크용해에 의해 Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈M₂(M=Nb, Hf, Zr, Cu, Al, Si)조성의 모합금으로 제조한 다음, 단롤 멜트 스피너를 이용하여 두께 0.035 mm, 폭 10 mm의 리본을 제조했다. 제조된 리본을 673 K에서부터 873 K까지 50 K 간격으로 온도를 변화시키면서 1시간 동안 열처리 한 다음 각 조건에 따라 SEM 및 EDS를 통해 미세구조 및 석출상의 성분을 측정했으며, DSC 및 XRD를 이용하여 구조분석을 수행했고, VSM을 이용하여 포화자속밀도 및 보자력의 변화를 측정했다.

3. 실험결과 및 고찰

제조된 리본에 대해 첨가원소 M에 따른 비정질상 형성 여부를 그림 1 (a)의 XRD 패턴을 통해 조사해 보면, Al, Hf, Zr을 첨가한 경우 2 θ 가 54°를 중심으로 넓게 펼쳐진 전형적인 비정질상의 XRD 형태를 나타내고 있으나, Cu, Si을 첨가한 경우 α -Fe에 해당하는 2 θ 위치에서 피크를 관찰할 수 있어 결정질상이 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

리본을 673 K에서부터 873 K까지 50 K 간격으로 각각 1시간 동안 유지한 다음 포화자속밀도의 변화를 측정한다. 그림 1 (b)를 통해 열처리 온도에 따른 포화자속밀도의 변화를 살펴보면, 전체 합금계에 걸쳐 멜트스핀 리본보다는 열처리를 통해 포화자속밀도가 증가하고 있으며, 온도의 증가와 함께 증가하던 포화자속밀도는 773 K 이후에는 다시 감소하고 있다. Al > Si > Cu > Hf \approx Zr 순으로 포화자속밀도가 높았으며, Al을 첨가한 Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈Al₂합금 리본의 경우 172 emu/g의 높은 포화자속밀도를 나타냈다.

한편, 열처리 온도에 따른 보자력의 변화를 나타낸 그림 1 (c)를 살펴보면, Cu를 제외한 Al, Si, Hf, Zr의 첨가에 의해 3 ~ 4 Oe의 낮은 보자력을 나타냈으며, 열처리 온도에 따라 변화가 없던 보자력이 777 K이후에 급격하게 증

가했다.

열처리 온도에 따른 포화자속밀도 및 보자력의 변화는 주조응력의 감소, 나노크기의 결정상의 석출, 그리고 석출상의 조대화와 밀접한 관계가 있음을 열처리한 리본의 XRD분석, SEM 및 EDS분석을 통해 확인할 수 있었다. 특히 Y-Fe계 석출상의 경우, 석출 초기의 수 십 나노 크기의 경우는 Fe함량이 높았으나, 열처리 온도가 높은 리본에서 관찰된 수 마이크로 크기의 조대한 석출상의 경우 Y함량이 높은 금속간화합물이 석출됨을 확인할 수 있었으며, 이들 석출물의 조대화로 인해 포화자속밀도 및 보자력 등의 연자성 특성에 변화가 생기는 것을 확인하였다.

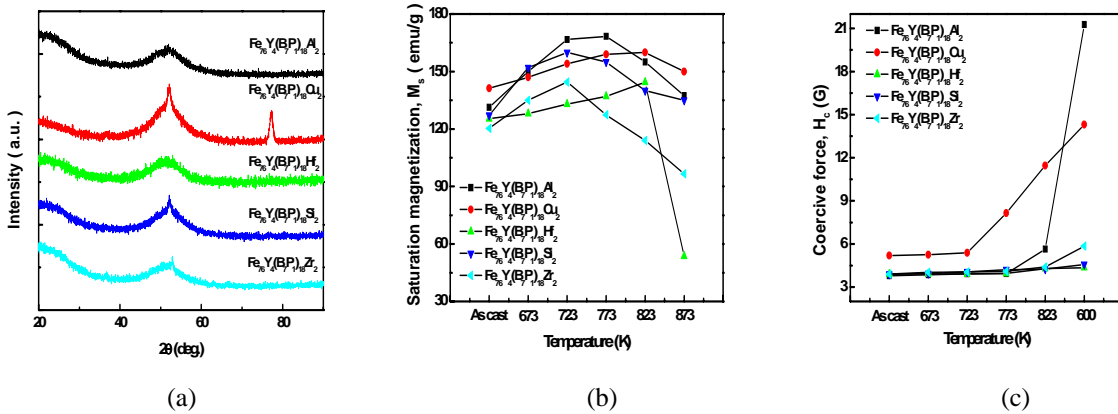


그림 1. Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈M₂(M=Nb, Hf, Zr, Cu, Al, Si) 합금의 조성에 따른 (a) 멜트스핀 리본의 XRD 패턴, 열처리 온도별 (b) 포화자속 밀도 및 (c) 보자력의 변화

4. 결론

본 연구에서는 새로운 금속글라스 기반 Fe₇₆Y₄(B₉P₁)₁₈M₂(M=Nb, Hf, Zr, Cu, Al, Si) 합금에 있어 첨가원소 M에 따른 연자성 특성의 변화에 대해 고찰하여, Al 및 Si을 첨가한 합금계에서 침입형 첨가 원소의 함량을 감소시키면서 포화자속밀도 및 보자력을 향상시킬 수 있었다.

열처리 온도가 높을수록 Y함량이 높은 금속간화합물이 석출되고, 이들 석출물의 조대화로 인해 포화자속밀도 및 보자력 등의 연자성 특성이 감소했다.

6. 참고문헌

1. H. Shokrollahi and K. Janghorban, J. Mater. Proc. Tech., 189 (2007) 1-12
2. T. Maeda, H. Toyoda, T. Nishioka and A. Ikegaya, SEI tech. review, 60(2005) 3-9
3. K. Asaka and C. Ishihara: Hitachi Powdered Metals Tech. Report, 4(2005) 3-9
4. H.W. Chang, Y.C. Huang and W.C. Chang, J. Alloys and Comp. 472 (2009) 166-170
5. Kawamura Y, Kato H, Inoue A and Masumoto T. Appl. Phys. Lett. 67(1995)2008.

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.