가스 분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 연자성 특성

박은수*, 김휘준, 배정찬, 허무영[1]
한국생산기술연구원 주조공정연구그룹
[1]고려대학교 신소재공학과

1. 서 론

Fe-Si-Al (Sendust) 합금은 자기이방성 및 자왜 상수가 거의 0에 가까운 값을 가짐으로서 투자율이 매우 높아 에너지 효율이 높다[1]. 그러나 소성 변형이 없기 때문에 최종 연자성 부품으로의 성형이 어려워 현재는 리본이나 분말을 제조 후 바인더를 이용하여 최종 제품을 성형하여 사용하고 있다[2]. 따라서 최종 제품의 성능은 성형공정뿐만 아니라 리본이나 분말의 연자성 특성이 매우 중요하다. 그러나 아직까지 냉각속도가 리본에 비해 비교적 낮은 가스 분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 Si과 Al의 화학 조성에 따른 연자성 특성을 연구한 내용은 거의 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는 Fe-Si-Al 합금 분말의 연자성 특성에 미치는 Si과 Al의 합금 원소의 영향을 알아보기 위하여, 다양한 Si과 Al의 화학조성을 갖는 Fe-Si-Al 합금 분말을 제조하고 연자성 특성을 VSM을 이용하여 알아보았다.

2. 실험방법

다양한 Si과 Al의 화학 조성을 갖는 Fe-Si-Al 합금 분말은 가스 분무법을 이용하여 제조하였다. 표 1은 다양한 Fe-Al-Si 합금 분말의 화학 조성 표이다. Fe-Si-Al 합금 분말은 용탕의 온도 1773 K, 대기 중에서 Ar 가스를 이용하여 70 bar의 분무압력으로 제조하였다.

표 1 Fe-Si-Al 합금 분말의 화학 조성표

Atom	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Fe (wt.%)	84	84	88	84	86	86	85.4	84.6	84.6	86.6
Si (wt.%)	8	12	8	10	8	10	9.3	8.7	10.7	8.7
Al (wt.%)	8	4	4	6	6	4	5.3	6.7	4.7	4.7

가스 분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 형상, 미세조직과 구조는 주사전자현미경(SEM)과 X-선 회절(XRD)을 이용하여 관찰하였으며, 연자성 특성은 VSM (vibrating sample magnetometer)을 이용하여 보자력과 포화자속밀도를 알아보았다. 또한, Fe-Si-Al 합금 분말을 700°C에서 1시간 동안 열처리 후 합금 분말의 연자성 특성의 변화도 함께 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 가스 분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 형상을 SEM으로 관찰 한 결과이다. 그림에서 보는 봐와 같이 모든 조성의 합금분말이 거의 구형의 형상을 가짐을 알 수 있고, EDS(energy dispersive spectrometer) 분석 결과 합금 분말 표면에 Fe_2O_3의 얇은 산화막이 존재함을 알 수 있다. 따라서 대기 중에서 Ar을 이용한 가스 분무 시 구형의 분말이 제조되며, 대기 중 산소에 의해 표면에 얇은 산화막이 형성됨을 알 수 있다.

대기 중에서 가스 분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 Si과 Al 함량에 따른 연자성 특성을 알아보기 위하여, VSM을 이용하여 포화자속밀도와 보자력을 측정하였고 그림 2에 그래프로 나타내었다. 그림에서 보는 봐와 같이 Fe-8Si-4Al 합금 분말이 135 emu/g의 가장 높은 포화 자화값이 얻어졌으며, Fe-10Si-6Al 합금 분말은

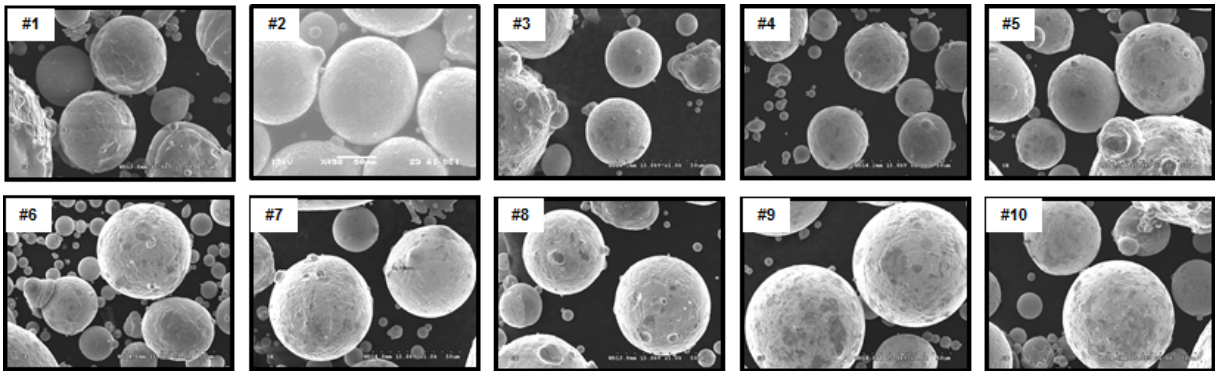
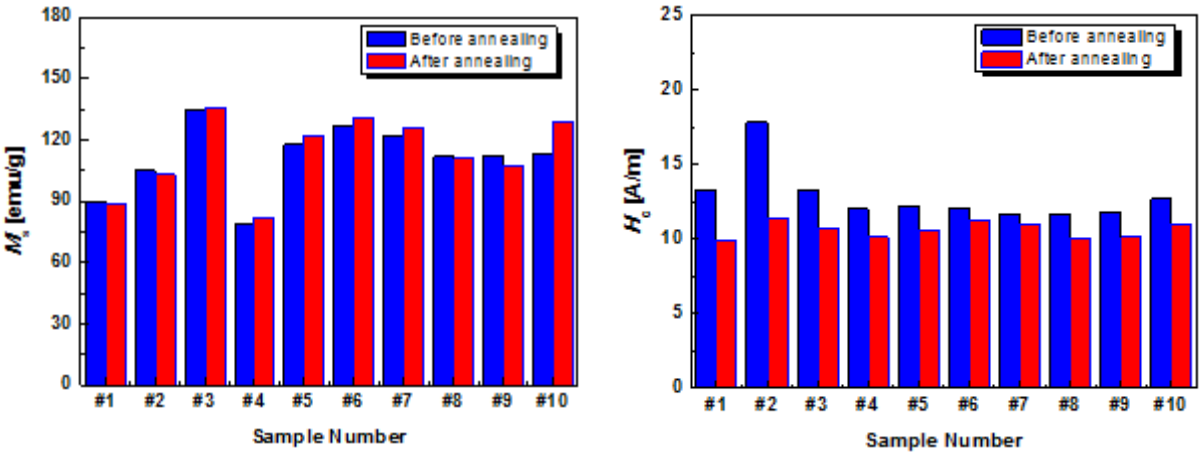


그림 1. 가스분무법으로 제조된 Fe-Si-Al 합금 분말의 형상



(a) Magnetic saturation (Ms) (b) Coercivity (Hc)

그림 2. Fe-Si-Al 합금 분말 열처리 전-후 (a)포화자화와 (b)보자력의 변화

79 emu/g의 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한, 보자력 값은 11.7에서 17.8 A/m까지 얻어졌으며, Fe-12Si-4Al 합금에서 가장 높은 보자력 값을 나타내었다. 따라서 가장 좋은 연자성 특성은 Fe-8Si-4Al 합금 분말에서 얻어졌으며, 포화 자화값과 보자력값은 각각 135 emu/g와 13.3 A/m 이다. 또한, 열처리 후 Fe-Si-Al 합금 분말의 연자성 특성을 살펴보면, 포화 자화값은 증가하였으며, 보자력 값은 감소함을 그림 2의 (a)와 (b)를 통하여 알 수 있다. 이러한 결과는 열처리 시 분말 내부에 잔류응력을 제거되었기 때문이다.

5. 결 론

가스 분무법으로 구형의 형상과 분말 표면에 얇은 Fe_2O_3 산화막이 형성된 Fe-Si-Al 합금 분말을 제조하였다. Fe-8Si-4Al 합금 분말에서 연자성 특성이 가장 우수하였으며, 포화 자화값과 보자력값은 각각 135 emu/g와 13.3 A/m 이다. 또한. 700°C에서 1시간 동안 열처리를 함으로써 가스 분무 시 발생한 분말 내부의 잔류응력을 제거하여 포화 자화값은 증가하고 보자력은 감소하였다.

6. 참고문헌

[1] G. Bertotti, Hysteresis in Magnetism for Physicists, Material Scientists and Engineers, Academic Press, San Diego (1998)

[2] T. Maeda, H. Toyoda, N. Igarashi, K. Hirose, K. Mimura, T. Nishioka and A. Ikegaya: SEI tech. review, 60(2005) 3-9.