

Fe 및 Fe-Si-Al 복합체의 연자성 특성

김휘준*, 이주호, 이성호, 배정찬

한국생산기술연구원

1. 서론

연자성소재는 자동차, 가전기기, 통신, 컴퓨터 산업분야에 사용되고 있는 전자기 부품의 코어를 형성하는 핵심소재로서 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⁾.

지난 수 십년 동안 다양한 형태의 연자성 소재가 개발되어 사용되고 있는데, 순철을 비롯하여 Fe-Ni, Fe-Ni-P, Fe-Nd-B 및 Fe-Si, Fe-Al-Si 등과 같은 철계 합금이 가장 널리 사용되고 있다. 순철 연자성 분말 소재의 경우, 상대적으로 높은 자속밀도를 갖고 있으나 철손이 크다는 단점이 있는데, 높은 보자력에 기인하는 것으로 보고되고 있다⁴⁻⁵⁾. Fe-Si-Al 합금은 보자력을 낮춰 철손에 의한 에너지 손실을 저감시키는데 성공하였으나 자속 밀도가 순철에 미치지 못하고 있으며, 성형성이 떨어져 수지를 바인더로 사용해야 하므로 코어성형에 의한 연자성 특성의 저하가 불가피하다.

본 연구에서는 비자성 바인더의 사용을 억제하면서 Fe-Si-Al계 연자성 분말의 성형밀도를 향상시키고 연자성 특성을 개선하기 위해 99.99%(4N)의 철계 자성분말과 Fe-Si-Al 분말을 혼합한 다음 열간압연에 의해 제조된 자성코어에 대해서 자속밀도, 보자력 등 연자성 특성에 미치는 Fe-Si-Al의 조성, 압하율, 혼합비율 등의 영향을 조사했으며, mixture rule에 의해 계산된 값과 측정값을 비교하고 편차 발생 원인에 대해 고찰했다.

2. 실험방법

진공분무법에 의해 제조된 순도 99.99%의 Fe 분말과 Fe-9.3Si-5.3Al, Fe-8Si-8Al, 그리고 Fe-8Si-4Al 연자성 분말을 25%, 50%, 75%의 비율로 혼합한 다음, 800°C의 온도에서 50%, 75%, 90%의 압하율과 열간압연하여 자성코어를 제조했다. 제조된 코어를 700°C에서 1시간동안 열처리한 다음 VSM 및 B-H Analyzer를 이용하여 각 조건에 따라 연자성 특성을 조사했으며, SEM 및 EDS를 통해 미세구조 및 석출상의 성분을 측정했다.

3. 실험결과 및 고찰

Fe-Si-Al 분말의 경우 90% 이상의 성형밀도를 얻을 수 없었으나, Fe분말과 Fe-Si-Al 분말의 혼합에 의해 제조된 복합자성코어는 Fe 분말의 함량이 높을수록, 압하율이 증가할수록 성형밀도가 증가하였으며, Fe의 혼합 비율이 50% 이상인 경우 모두 99% 이상의 성형밀도를 나타냈고, 수지를 바인더로 사용하지 않아도 최대 99.5%까지 성형밀도가 증가하였다.

SEM과 EDS분석을 통해 복합자성코어내에서 Fe-Si-Al 분말은 구형의 분말형태를 그대로 유지하고 있으며, Fe분말이 변형하여 Fe-Si-Al분말을 감싸고 있는 형태의 미세구조를 갖고 있음을 확인하였으며, 90%의 압하율에 의해 제조된 복합자성코어내에 Fe-Si-Al 분말에서 미세한 균열이 관찰되었다. Fe 및 Fe-Si-Al 분말을 각각 50%씩 혼합한 다음 75%의 압하율로 열간압연에 의해 제조된 복합자성코어의 연자성 특성을 그림 1에 나타냈는데, Fe-Si-Al 분말의 합금조성에 따라 보자력은 큰 변화가 없었으나, 포화자화의 경우 193 emu/g까지 증가했다. Mixture Rule을 적용하여 계산한 연자성 특성치와 비교했을때, 복합자성코어의 연자성 특성의 변화는 Fe-Si-Al 연자성분말의 특성에 의존하는 경향을 나타냈으며, 복합성형에 의해 연자성특성의 제어가 가능함을

확인할 수 있었다.

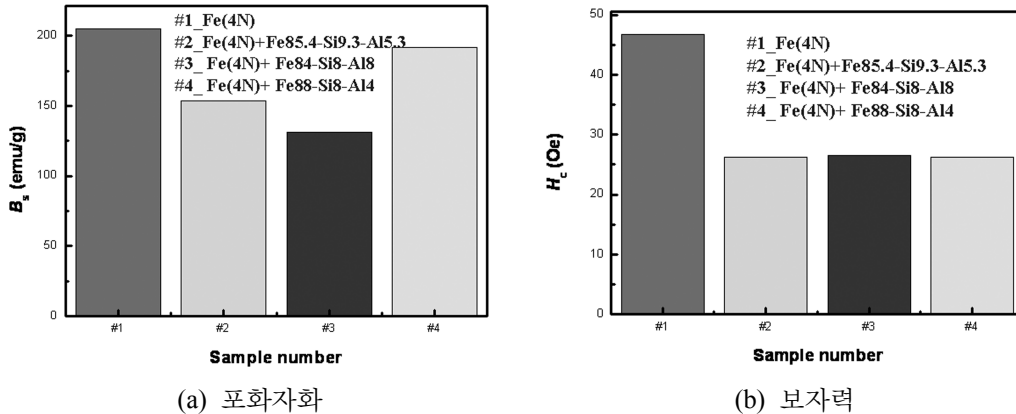


그림 1. Fe 및 Fe-Si-Al 분말을 각각 50%씩 혼합한 다음 75%의 압하율로 열간압연에 의해 제조된 복합자성코어의 연자성 특성

4. 결론

본 연구에서는 비자성 바인더의 사용을 억제하면서 Fe-Si-Al계 연자성분말의 성형밀도를 향상시키고 연자성 특성을 개선하기 위해 99.99%(4N)의 철계 자성분말과 혼합한 복합분말을 열간압연에 의해 성형한 자성코어에 대해 연자성 특성에 미치는 Fe-Si-Al의 조성, 압연율, 혼합비율에 대한 영향을 조사했다. 800°C에서 열간압연한 철계 복합 연자성코어의 경우, 압하율이 증가할수록 성형밀도가 증가하였으며, 압하율이 90%인 자성코어의 상대밀도는 99.5%에 도달했다. Fe-Si-Al계 연자성 합금분말의 경우, Fe-8Si-4Al조성에서 가장 우수한 연자성특성을 나타냈는데, 포화자화값은 130 emu/g, 보자력은 9.5 Oe였다. Fe 분말과 혼합한 Fe-Si-Al 연자성분말의 자성코어는 합금조성에 따라 보자력은 큰 변화가 없었으나, 포화자화의 경우 193 emu/g까지 증가했다. Mixture Rule을 적용하여 계산한 연자성 특성치와 비교했을때, 복합자성코어의 연자성 특성의 변화는 Fe-Si-Al 연자성분말의 특성에 의존하는 경향을 나타냈으며, 복합성형에 의해 연자성특성의 제어가 가능함을 확인할 수 있었다.

5. 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.