

"Fe-계 연자성 코아의 나노결정립 제어 및 자기적 특성" (The Control of Nano-Grain Size and Magnetic Properties of Fe-based Soft Magnetic Core)

인제대학교 공과대학 나노공학과
조점순 *, 권훈태, 조현정, 조은민, 송복근, 박원욱

1. 서론

최근 컴퓨터, 통신장비, 가전기기 등 각종 전기·전자장치의 소형·경량화 및 기능의 고성능화가 급속히 진전되면서 이들 내부에 사용되는 부품들의 고주파화·고효율화·소형화가 요구되고 있다. 현재 여러 초미세 결정합금 중 Fe-계 나노결정 연자성분말합금은 높은 저항으로 인해 고주파 손실이 적고, 소형화 및 복잡한 형상으로의 제조가 가능할 뿐 아니라, 기존의 Fe-계 비정질 분말재료에 비해 투자율이 높은 장점이 있다. 본 연구에서는 finemet 계열의 비정질 연자성 Fe-Si-B-Nb-Cu 합금분말을 결정화열처리함으로써 결정립 크기를 10~15nm로 제어하여 나노결정 연자성분말코아의 자화특성변화에 관하여 연구하였다. 또한 binder를 첨가해줌으로써 분말 절연효과로 인해 고주파특성을 얻을 수 있는 나노결정 연자성분말코아를 개발하고자 하였다.

2. 실험방법

150°C에서 저온 열처리한 Fe₇₃-Si₁₆-B₇-Nb₃-Cu₁(at%)라는 finemet 계열의 비정질스트립합금을 평균 100 μ m 크기로 파쇄하여 flake 분말을 제조하였고 이 파쇄한 분말들을 섞어서 성형성을 높이고 분말의 입도와 형상을 구형으로 미세화하기 위하여 10시간 ball milling하였다. Fe-계 비정질 분말합금의 결정화온도는 530°C부근으로서 나노결정립 크기를 제어하기 위하여 그 결정화 온도보다 낮은 400°C, 450°C, 500°C의 온도에서 1시간동안 튜브전기로에서 결정화 열처리를 하였다. 결정화 열처리한 분말에 binder를 첨가하여 다시 30분간 binder가 잘 도포되도록 ball milling한 다음 이 분말을 210°C의 온도에서 40분간 건조를 위한 열처리를 하였다. 성형하기 전, 결정화 열처리한 분말의 결정립 크기를 확인하기 위하여 TEM을 통하여 관찰하였다. 가열한 분말을 상온에서 17~18 ton/cm²의 성형압으로 외부직경 6.43mm, 내부직경 2.68mm, 높이는 평균 2.2mm인 core를 성형하였으며 이 성형한 core를 275~435°C의 온도범위에서 응력완화 열처리하였다. 그리고 성형한 core의 나노결정립 조절에 따른 자화특성을 비교, 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

결정화온도보다 낮은 400°C, 450°C, 500°C에서 열처리한 비정질 연자성합금분말을 TEM으로 관찰한 결과 10~20nm의 나노결정립 크기를 가지는 나노결정연자성분말로 변화하였다. 그리고 400°C, 450°C, 500°C로 분류된 결정화 열처리한 분말을 앞의 실험 단계를 걸쳐 core를 성형한 후 이 각각의 결정화 열처리 온도에 따른 core의 자화특성을 분석한 결과, 먼저 core의 투자율을 측정하면 400°C를 기준으로 450°C에서의 투자율이 감소하였고 500°C에서 제일 높은 투자율값을 가졌다. 투자율이외에도 밀도와 100kHz에서의 core loss·보자력을 측정한 결과, 역시 400°C를 기준으로 450°C에서는 밀도는 감소하였고 core loss와보자력값은 증가하였으며 500°C에서 제일 높은 밀도와 제일 낮은 core loss·보자력값을 가졌다. 즉, 결정화 온도보다 낮은 온도인 500°C에서 나노결정립을 제어한 경우 더 향상된 자화특성을 가졌다. 그러므로 Fe-계 비정질 연자성합금분말에 있어 성형가공 중에 증가하는 축적에너지를 고려하여 초기 열처리 조건을 합리적으로 조절함으로써 core는 10~20nm의 나노결정립크기로된 나노결정연자성분말core로 성형이 가능하며, 투자율과 밀도는 증가하고 core loss와보자력은 감소하는 자화특성을 보였다.

4. 결론

Fe-계 비정질 연자성합금인 Fe₇₃-Si₁₆-B₇-Nb₃-Cu₁(at%)분말을 결정화 온도보다 낮은 400°C, 450°C, 500°C에서 결정화 열처리하게 되면 결정 입도가 10~20nm 크기의 나노결정립 연자성합금분말이 됨을 알 수 있었다. 분말코아의 결정화 열처리에 있어 500°C에서 1시간 열처리한 경우가 가장 높은 투자율과 성형밀도값을 나타내었으며, 철손(core loss)과보자력은 제일 낮은 자화특성을 보였다. 이러한 현상은 Fe-계 연자성 합금의 미세조직이 자구(magnetic domain)가 가장 회전하기 쉬운 나노결정립으로 구성되어 있는 것을 의미하며, binder의 균일한 도포에 의해 절연효과와 아울러 와전류손실의 감소가 나타난 것으로 해석된다.

따라서, 나노연자성 분말코아의 연자성 특성을 향상시키기 위해서는 분말의 성형 및 가공에 의한 축적에너지가 재료내부에 많이 포함되어 결정화가 제조과정 중 촉진됨을 고려하여, 초기 열처리온도를 실제 결정화온

도보다 낮은 온도로 정하고, 분말성형 후 최종적으로 나노결정립 크기를 제어하기 위한 합리적 결정화 열처리 조건을 확립하는 것이 중요함을 알 수 있다.

5. 참고문헌

- 1) A.K. Panda, B.Ravikumar , S.Basu , A.Mitra J. Magn. Magn Mater 260 (2003) 70-77
- 2) C.F. Conde, A.conde , J.Non-Cyrstalline Solids 192&193 (1995) 498-502
- 3) N. Wojcik, R.Kolano, A. Kolano, J. Magn Mater 215-216(2000) 503-505
- 4) H. R. Hilzinger, Soft Magnetic Materials 96, Gorham/ Intertech Consulting. p. 1, Portland (1996)
- 5) Y.Yoshizawa, S. Oguma and K. Yamauchi, J. Appl. Phys. 64. 6044 (1988)