Q-5

$Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ 나노결정구조 합금 분말코아의 자기적 특성

(The Magnetic Properties of Nanocrystalline $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ Alloy Powder Cores)

안동대학교 신소재공학부 최혁열*, 안상재, 노태환

1. 서 론

연자성 분말의 표면을 절연처리한 압분코아(분말코아)는 높은 주파수까지 자심손실이 적고 일정한 투자율을 얻을 수 있으며 직류 바이어스 자장이 인가되어도 높은 자기적 안정성을 유지할 수 있어 노이즈 필터, 쵸크 코일 및 PFC(Power Factor Correction) 회로부의 리액터 등으로 널리 사용되는데, 지금까지 여기에 이용되어 온 재료로는 철 분말, Ni-Fe계 퍼멀로이 분말, Fe-Si-Al계 센더스트 분말 등이 있다[1]. 그런데 최근 이들 재료보다도 더 우수한 고주파 특성을 가지는 Fe계 나노결정 합금 분말을 사용하여 분말코아를 제조하고자 하는 연구가 이루어지고 있는 바[2, 3, 4, 5], 손실 특성과 직류 중첩 특성 등 여러 분말코아 특성이 밝혀지고 있으며 표면 절연처리 등의 코아 제조기술 또한 다양하게 개발되어 가고 있다.

그러나 지금까지의 연구결과를 살펴 보건데, 아직도 종래의 분말 코아 특성과 비교하여 특성의 고도화가 충분히 이루어져 있지 않으며, 조성제어, 열처리 및 표면처리, 압축성형 등과 관련한 제반 공정기술의 확립에 앞으로 상당히 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 급속응고법으로 제조된 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ 비정질 합금 리본을 400~700℃의 넓은 온도 범위에서 열처리하여 분말로 만든 다음 압축성형한 분말 코아의 자기적 특성과 열처리 조건과의 상관성을 종합적으로 검토하였다.

2. 실험 방법

두께 약 20 ㎛의 비정질 합금을 소정의 열처리 온도에서 1 시간동안 진공 열처리를 통하여 나노 결정화한 다음 수냉하였다. 열처리된 합금은 유성형 볼밀(Fritsch P-6)을 사용하여 Ar 가스 분위기 중에서 5분간 150 rpm의 회전속도로 분쇄하였으며, 밀링이 완료된 분말은 체(sieve)를 사용하여 입도별로 분급하였다.

분급된 것중 250~850 ㎛의 크기를 가지는 분말에 약 5 wt%의 표면절연 처리용 세라믹 물질을 첨가하고, 15 ton/㎠의 압력으로 냉간성형하여 외경 12.6 mm, 내경 7.2 mm의 토로이드형 코아를 제작한 다음, 무유도 권선로를 사용하여 고순도 질소분위기에서 400℃로 1 시간동안 등온 열처리를 하였다.

제조된 분말 코아의 자기적 성질로는 실효투자율과 품질계수, 자심손실 및 직류 바이어스 특성 등이 LCR meter와 B-H analyzer를 사용하여 측정되었으며, 그 외 X-선 회절법과 4 단자법을 통하여 미세구조의 분석, 결정립 크기의 평가, 전기비저항의 측정 등이 이루어졌다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1과 2는 열처리 온도에 따른 실효투자율과 자심손실 변화를 나타내고 있는데, 이들 그림으로부터 본 연구에서 제조된 분말 코아는 610℃ 정도의 열처리 온도에서 가장 높은 실효투자율과 최소의 자심손실을 얻을 수 있음을 알 수 있다(이 때 실효투자율은 약 110, 자심손실은 50 kHz-0.1 T의 조건에서 250 mW/cc 정도를 나타냄). Fe-Cu-Nb-Si-B계 나노결정 합금의 리본형 재료에 대한 종래의 연구에 의하면 1시간 열처리시 530~550℃의 열처리 온도에서 가장 높은 투자율 및 가장 낮은 보자력/자심손실 특성을 나타낸다고 보고되어 있는 바, 본 분말코아의 최적 열처리 온도는 이보다 약 60℃ 이상 높은 온도에 해당하였다.

한편 이와 병행하여 미세구조, 결정립 크기, 전기비저항 등의 열처리 온도 의존성을 조사해 보면 510~590℃의 구간에서 α-Fe 단상의 나노결정구조(실은 잔류 비정질상과의 복합구조)가 얻어지나, 610℃에서는 소량의 미세한 Fe_2B 화합물이 석출되기 시작하였다. 또 이 온도범위에서 결정립의 크기

는 약간 증가하고 전기비저항에는 큰 변화가 없는 것으로 관찰되었다.

이상과 같은 자기적 특성의 변화와 미세구조 및 전기적 성질의 변화를 비교해 볼 때 고온 열처리를 통해 얻은 분말코아의 우수한 고주파 특성은 나노결정상중에서의 미세한 Fe-boride의 석출과 관련된 것으로 생각되며, 이 화합물상이 리본형 재료와 다른 자화거동을 가져오는 것으로 보여진다.

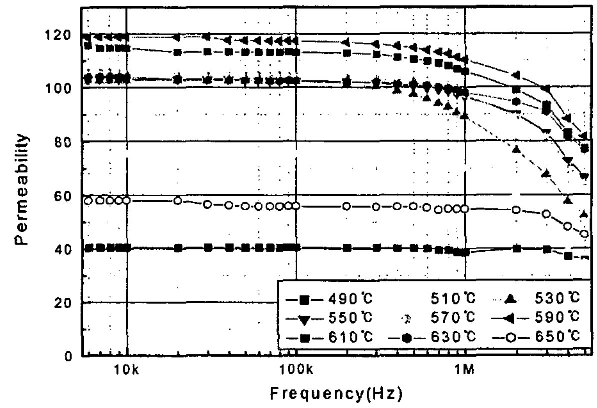

Fig. 1. Frequency dependence of effective permeability for nanocrystalline powder cores annealed at various temperatures.

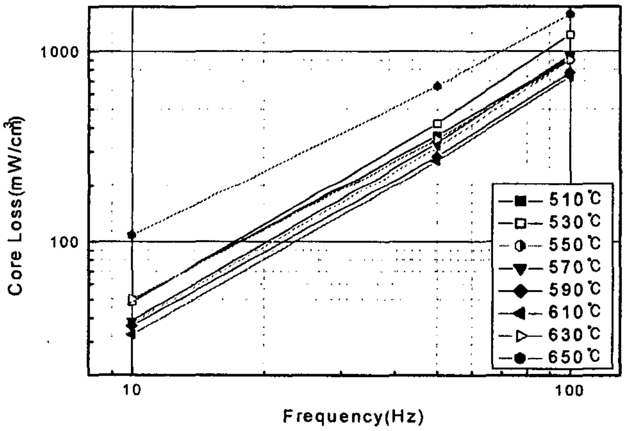

Fig. 2. Frequency dependence of core loss for nanocrystalline powder cores annealed at various temperatures.

4. 참고문헌

[1] A. Goldman, Handbook of Modern Ferromagnetic Materials, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 183-205(1999)

[2] M. M. Raja, N. Ponpandian, B. Majumdar, A. Narayanasamy and K. Chattopadhyay, Mater. Sci. Eng., A304-306, 1062(2001)

[3] V. Léger, C. Ramiarinjaona, R. Barrué and R. Lebourgeois, J. Mag. Mag. Mater., 191, 169(1999)

[4] D. Nuetzel, G. Rieger, J. Wecker, J. Petzold and M Mueller, J. Mag. Mag. Mater., 196-197, 327(1999)

[5] 김구현, 안동대학교 재료공학과 석사학위 논문(2002)