

Nanocomposite Fe₃B/Nd₂Fe₁₄B 분말의 decoupling 현상연구

포항산업과학연구원, 재료공정연구센터, 양충진, 박언병, 한종수

A study on the decoupling phenomena of Fe₃B/Nd₂Fe₁₄B nanocomposite powder compact

RIST C.J.Yang, E.B.Park, J.S.Han

1. 서론

기존의 Nd₂Fe₁₄B 단일상을 근간으로 한 희토류 수지자석은 이미 FA용 소형정밀 모터에 수많은 사용되고 있으며, 주로 HDD/FDD용 drive, CD-ROM용 drive, 각종 PC 주변기기의 모터 등에 많이 사용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 Nd₂Fe₁₄B 단일상 자석은 고유보자력(H_c)이 커서 상기의 소형정밀 모터에 사용될 때에 칫수의 소형으로 인해 착자시 충분히 포화할 수 있는 조건이 되기 어렵다. 이렇게 볼 때 자기특성이 좋은, 즉, 고유보자력이 높은 Nd₂Fe₁₄B 단일상의 자석을 고집할 이유가 없어진다. 한편, Nd₂Fe₁₄B + Fe₃B(또는 Fe)의 복합상을 초미세립으로 조절하여 nanocomposite으로 제작할 경우, 상대적으로 고유보자력의 감소효과(주로 2~3 kOe)가 있으나 이 값은 소형정밀 모터로 사용될 경우 오히려 충분히 포화자화를 시킬 수 있는 범위가 된다. 재료비의 절감효과도 아울러 보게 됨으로써, 모터 제조업체에서는 환영받는 소재이다. 본 연구실은 수년간 Fe₃B/Nd₂Fe₁₄B nanocomposite의 원료분말의 제조공정 개발과 이론적 근거를 연구, 발표해 오면서 최근에는 상업화에 도달하게 되었다. 그러나, nanocomposite 조성의 분말을 자석화 성형할 때에 일반 Nd₂Fe₁₄B 단일상 자석과 다른 현상은 급속냉각기술에 제조된 분말을 분쇄하여 프레스 성형을 할 때에 Fe₃B 연자성상과 Nd₂Fe₁₄B 경자성상간에 유지되던 상호교환결합력(exchange coupling force)의 급격한 손실로 인해 원료분말이 갖고 있던 고유 자기특성이 급격히 감소하여 자석의 자기특성 손실이 커지게 되는 현상이다. 따라서 본 연구는 Nd₂Fe₁₄B 단일상의 분말성형체와 Fe₃B + Nd₂Fe₁₄B nanocompsite 분말성형체의 자기특성 변화를 출발원료에서부터 자석 성형체까지의 공정을 거쳐 체계적인 연구를 통해 decoupling 현상을 규명한 과정으로 우선 현상적 관찰을 소개한다.

2. 실험방법

Nd₄Fe_{73.5}Co₃Hf_{0.5}Ga_{0.5}B_{18.5} 조성의 비정질 precursor를 급속냉각으로 제조한 후 650 °C에서 10분간 열처리하여 Fe₃+Nd₂Fe₁₄B 복합상 초미립 자성체를 만든 후, decoupling의 변화를 보기 위해 attritor로 hexane 용매 내에서 미분쇄를 실시하였다. 이후 분쇄시 발생한 잔류응력 제거를 위해 300 °C에서 10분간 열처리를 행하였다. 모든 자기특성은 출발원료의 미분쇄 시간에 따라 얻어진 분말에서 특정 입도별로 분급하여(<75 μm, 75~90 μm, 125~150 μm) 측정하였으며, 각 특성은 미분쇄 시간에 따른 함수로 하여 비교하였다. 시편은 미분쇄 원료분말을 사용하여

동일한 성형밀도에 정확히 맞추어 1 cm ϕ 의 실린더형으로 프레스 성형하여 제작하였다. X-ray 회절분석, Auger 분석, 회절패턴에 의한 결정구조 분석 및 초기 자화곡선의 dM/dH 값을 구한 후, 자기특성과 연관하여 고찰하였다.

3. 고찰

본 연구에서 사용한 출발원료의 입도범위를 75 μm 이하, 75~90 μm 및 125~150 μm 등의 세 분류로 구별하여 분말성형체를 제작하였다. 각각의 고유보자력, 잔류자속밀도 및 최대자기에너지적 등의 변화를 측정한 결과 분말입도가 클수록 잔류자속밀도는 크게 측정되었으며, 그러한 값은 미분쇄 시간과는 특정한 경향이 없는 것으로 측정되었다. 또한 고유보자력은 일반적으로 입도크기 및 미분쇄시간과 관련이 없는 경향으로 측정되었다. 각 입도별 dM/dH(switching field gradient)를 측정하여 비교한 결과, 입도가 작을수록 일관성 있게 분말성형체 gradient가 작게 측정되었다. 따라서 nanocomposite에서는 결정 입자들이 등방적으로 모인 성형체에서 입도가 작을 수록, 즉, random하게 형성된 입자의 수가 많을 수록 decoupling이 쉽게 발생함을 암시한다. 한편, 미분쇄 시간에 따른 nanocomposite 분말의 표면조성을 Auger 분석 및 X-ray 분석에 의한 각각의 Fe₃B 및 Nd₂Fe₁₄B 결정구조 변화를 계산한 결과, 분쇄시간이 길수록 사용된 용매(hexane)에서 혼입된 C 및 O가 특히 Nd₂Fe₁₄B 결정의 c축을 확장시켜 결정의 부피를 증가시킴을 확인하였다. 그러나 C 및 O의 혼입은 입자의 표면에 국한하며, 입자내부에서는 영향이 없음을 보여주었다.

4. 결론

상기의 결과로 볼 때, nanocompsite 분말의 성형체가 미분일수록 Nd₂Fe₁₄B 단일상 분말에 비해 성형체 자석에서 급격히 자기특성이 열하되는 원인은 분쇄중에 발생하는 입자의 stray field, 즉, 입자형상에 따른 decoupling이 주원인임을 예측할 수 있고, 미분쇄 과정에서 혼입되는 불순원소(carbon, oxygen..)의 혼입은 부가적인 원인임으로 추정된다. 전술한 설명을 확인하기 위한 micromagnetic modeling작업을 진행중에 있다.

5. 참고문헌

1. R. Coehoorn and C. de Waard, J. Magn. Mag. Mater. **83**(1990)228.
2. R. Skomski and J. M. D. Coey, IEEE. Trans. Magn. **29**, 6(1993) 2860.
3. R.Skomski and J.M.D.Coey, IEEE Trans. on Mag., **30**, 607(1994)
4. K. Fukunaga, 일본응용자기학회지, Vol. 19, No. 4, 791(1995)