

CAPA 공정에 의한 나노결정형 NdFeB 자석의 자기특성 향상 (Developed Magnetic Property of Nanocrystalline NdFeB Magnet by CAPA Process)

테슬라 (주) 김형태*, 장인희
KRISS G.A. Kapustine, 김윤배
전북대학교 전주원, 김학신

1. 서론

고성능 NdFeB 영구자석은 소결공정에 의해 제조되는 소결자석[1]과 급냉응고법[2]으로 제조된 열간가공자석으로 분류될 수 있다. 전자는 NdFeB 분말을 압축성형하는 과정에서 외부에서 인가된 자계로 인한 Nd₂Fe₁₄B 결정립 정렬에 의해 이방성이 유도되는 반면, 후자는 NdFeB 분말이 열간압축된 등방성 자석이 고온에서 변형되면서 외부의 인가자장 없이 Nd₂Fe₁₄B 결정립들의 c축이 프레스 응력축에 평행한 방향으로 정렬됨으로서 이방성이 부여된다. 상기와 같은 두 종류 자석의 미세조직적인 차이점은 전자는 수~수십 μm 의 조대한 결정립(corase grain)으로 이루어져 있고, 후자는 μm 이하 크기의 미립자(fine grain)들로 구성되어 있다. 그러므로 열간가공자석이 소결자석에 비해 내부식성과 열적안정성 등이 우수할 수 있으며, 고보자력을 특성을 유지할 수 있다. 그러나 등방성 자석을 제조한 후 다시 변형시키는 2단계의 제조공정을 거치면서, 열간가공 단계에서 상대적으로 조대한 입자들은 시료에 가해지는 응력에 민감하게 반응하지 못하여 발생하는 불규칙한 방위분포를 조절해야 하는 어려움이 있다. 최근에 통전가압(current-applied pressure-assisted, CAPA)에 의한 열간가공법으로 단순공정에 의해 자기특성이 우수한 나노결정형 NdFeB 자석을 제조할 수 있는 공정에 대한 연구가 진행되었으며[3], 본 연구에서는 CAPA 공정으로 직경이 50-80 mm 크기의 이방성 NdFeB 자석을 제조하여 자기적 특성 및 열적안정성등을 평가하고, NdFeB 자석의 미세조직과 결정 성장거동을 관찰하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 원료분말은 Magnequenc社 상용적으로 시판되고 있는 NdFeB 및 (Nd, Dy)FeCoGaB 계열의 분말이다. CAPA 공정은 원료분말을 고온에서 압축성형시켜 등방성 전구체를 제조하는 공정(CA-press 공정) 과 등방성 전구체를 고온에서 압축변형시켜 이방성 자석을 제조하는 공정(CA-deformation 공정)으로 이루어져 있으며, 자세한 실험방법은 기 발표된 논문에서 상세히 기술되어 있다[3]. 원료분말 80 g 및 350 g을 사용하여 CA-press 공정에 의해 직경 30 mm, 두께가 15 mm 인 자석과 직경 50 mm, 두께가 25 mm 크기의 등방성 전구체를 제조하였다. 이와 같은 전구체를 CA-deformation 공정에 의해 직경이 50-80 mm 크기의 이방성 NdFeB 자석을 제조하였다. 변형률(TR)은 60-70 %이며, 다음과 같은 식에 의해 계산되어진다. 변형율은 $(10-1)/10$ 로 정의되며, 10 및 1 은 각각 변형전과 변형후의 시편의 두께(t)이다. 이방성 자석의 각 위치에서 직경 15 mm 크기의 실린더 형태로 와이어 가공한 시편을 약 70 kOe의 자장을 인가한 후 B-H Tracer를 이용하여 상온에서 200 °C의 범위에서 자기소거곡선을 측정하였다. 또한 직경 2 mm 크기의 시편을 이용하여 펄스마그네토미터에 의해 약 80 kOe의 최대인가자장 영역에서 완전자기이력곡선(full hysteresis loop)을 측정하여 자기특성을 평가하였다. 미세조직은 전계주사현미경(Field emission scanning electron microscope)으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 Nd₁₄Fe₈₀B₆ 조성의 분말로부터 제조된 직경 50 mm 크기의 이방성 자석의 중앙지점과 외곽지점에서 15 mm 크기의 실린더 형태로 가공한 시편의 자기이력곡선을 나타낸 것이다. 중앙과 외곽에서의 자기적 특성은 각각 자기적 특성은 각각 $B_r=13$ kOe, $H_c=4.7$ kG, $BH_{max}=26$ MGOe

및 $B_r=15$ kOe, $iH_c=4.1$ kG, $BH_{max}=37$ MGOe 이다. 이와 같은 자기특성 차이는 등방성 전구체가 변형되는 과정에서 중앙부분에서의 변형이 외곽부분에 비하여 상대적으로 이루어지기 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 직경이 80 m 크기의 이방성 자석에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있으며, 열간 가공법에 의해 대형자석을 제조하는 과정에서 이와 같은 자석 특성의 편차를 줄이기 위해서는 등방성 전구체의 모양을 적절히 조절해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

그림 1에 나타낸 자기이력곡선의 경우 15 kG 정도의 높은 잔류자화를 보이면서도 보자력이 작기 때문에 에너지적이 낮게 얻어질 수 밖에 없다. 이와 같은 자석에 Zn 가 0.5 wt.% 정도 첨가되면 보자력이 9 kOe로 증가하게 된다. 이와 같은 과정을 통해서 $B_r=14.5$ kOe, $iH_c=9.5$ kG, $BH_{max}=51$ MGOe의 자기적 특성을 나타내는 자석을 제조하였다.

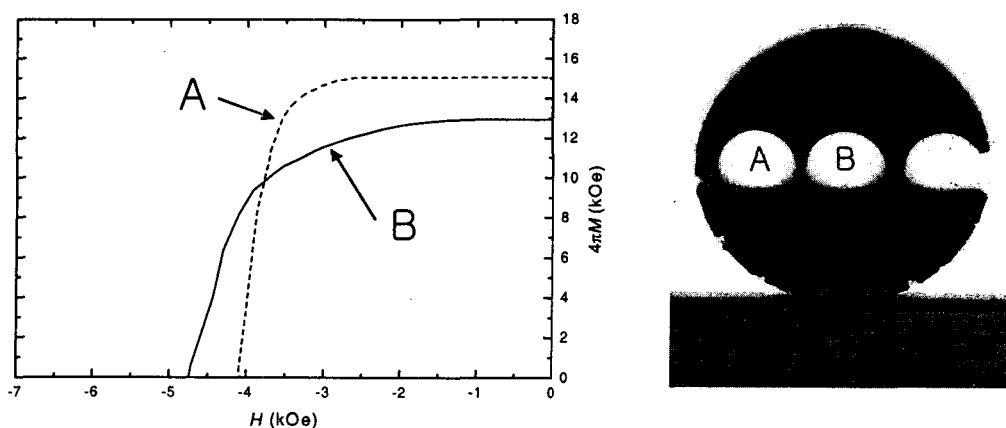


그림 1. 이방성 NdFeB 자석의 각 영역에서의 자기소거곡선

참고문헌

[1] M. sagawa, S. Fujimori, N. Togawa, H. Yamamoto, and Y. Matsuura, J. Appl. Phys. 55(6), 2083(1984).
 [2] R.W. Lee, Appl. Phys. Lett. 46, 790(1985).
 [3] H.T. Kim, Y.B. Kim and H.S. Kim, J. Magn. Magn. Mater, 224, 173(2001).