

Hot-deformation 법을 통해 제조된 Nd-Fe-B 자석의 후열처리 온도에 따른 자기특성 및 미세구조 변화

차희령^{1,2,*}, 유지훈¹, 권해웅³, 김양도², 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

1. 서론

최근 에너지저감 및 그린에너지에 대한 관심이 높아지면서 친환경 자동차의 구동모터에 사용하기 위한 고성능 자성소재가 요구되고 있다. Nd 계 영구자석은 자기특성이 우수하여 전기자동차 구동모터용 자성소재로 주목받고 있으나, 취약한 내열안정성 때문에 고온에서 사용하기 위해서는 상온에서 높은 보자력이 요구된다. 현재 Dy와 같은 중희토류 금속을 첨가하여 고보자력의 Nd계 자석을 제조하고 있지만 Dy를 첨가할 경우 보자력은 향상되지만 중희토류 금속의 자원이 한정되어있고 첨가량이 많아질수록 자석의 성능이 저하되는 등의 문제가 있다. 이와 관련하여 최근에는 자석의 결정립 미세화 및 계면제어 등 미세구조 제어를 통한 중희토류 금속 저감 및 대체화와 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다.

미세 결정립을 가지는 고성능 자석의 제조법 중 하나로 hot-deformation법이 있다. 이 공정법은 나노결정립 분말을 hot-pressing 또는 SPS 공정을 통하여 고밀도 등방성 자석으로 제조한 후 die-upset을 통한 저온변형에 의해 결정립을 결정학적으로 이방화함으로써 고성능의 벌크자석을 제조할 수 있는 기술로서 다른 공정에 비해 저온공정이기 때문에 치밀화 과정에서 결정립성장을 최대한 억제할 수 있다. 또한 제조된 자석은 적정온도에서 열처리함으로써 결정립계를 제어하여 보자력을 향상시키는 것이 가능하다. 특히, hot-deformation 법의 경우 일정 압력하에서 성형체를 변형시키기 때문에 공정후 내부에 상당량의 strain 또는 결함이 존재할 것으로 예상된다. 하지만 hot-deformation 법으로 제조된 자석의 경우 후열처리효과에 관한 연구가 거의 보고되지 않고 있다. 이에 본 연구팀에서는 hot-deformation 법으로 제조된 자석의 후열처리 온도에 따른 특성변화를 알아보았다.

2. 실험방법

실험은 먼저 수십나노 결정립의 melt-spun ribbon ($\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$)을 진공중에서 700°C까지 승온한 후 100 MPa로 가압하여 (hot-pressing) 등방성 자석으로 제조하였다. 제조된 등방성 벌크자석은 다시 동일 온도에서 소성변형시켜 (die-upset) 결정립 이방화를 유도하였으며 변형 시 0.1 s⁻¹의 속도로 약 77% (시료높이감소율) 높이 변형을 주었다. 제조된 자석은 내부 strain 또는 결함을 제거하기 위해 400~800°C 범위의 온도에서 후열처리를 실시하였으며 열처리 온도에 따른 미세구조 및 자기특성변화를 FE-SEM 및 VSM을 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험결과 600°C에서 후열처리 하였을 때 다른 첨가물 없이 열처리만으로도 보자력이 약 2.4 kOe 증가함을 확인하였다. 이러한 보자력 향상은 열처리를 통해 hot-deformation 공정 중 생긴 내부 strain 또는 defect가 제거되어 나타난 결과인 것으로 보인다. 하지만 600, 700°C를 제외한 온도에서 열처리 하였을 때에는 오히려 보자

력이 감소하는 결과를 보였다. 먼저, 400°C 정도로 낮은 온도에서 열처리하였을 경우, 주상과 Nd-rich 상의 열 팽창 계수 차이에 의해 오히려 내부 결함 (microcracks 등)을 증가시켜 보자력이 감소한 것으로 사료된다. 반대로 800°C와 같이 높은 온도에서 열처리 하였을 경우에는 내부 strain은 쉽게 제거될 수 있지만, 결정립이 크게 성장하여 보자력이 감소하는 결과를 보였다.

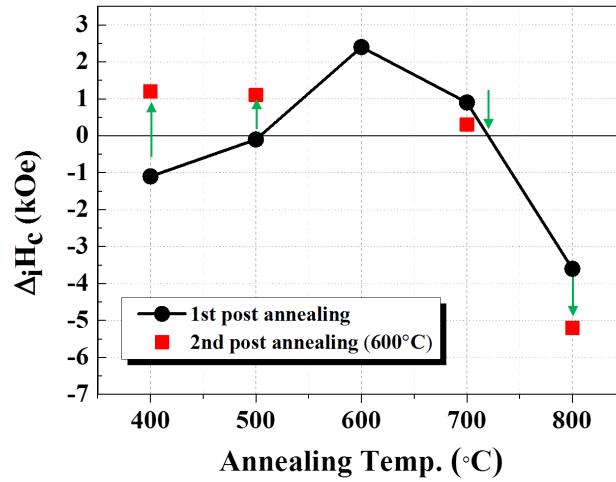


그림 1 후열처리온도에 따른 보자력 변화

4. 참고문헌

- [1] O. Gutfleisch et al., *Adv. Mater.* 23 (2011) 821.
- [2] W. Grunberger et al., *Magnetics, IEEE Transactions On*, 33 (1997) 3889.
- [3] K. Hiraga et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 24 (1985) 699