

등방성 나노결정립 Nd-Fe-B계 자성분말의 저온치밀화에 따른 미세조직과 자기특성 변화

차희령^{1,2*}, 유지훈¹, 김양도², 권해웅³, 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

1. 서론

희토류 영구자석 중에서도 자기적 특성이 가장 우수한 Nd계 영구자석은 친환경자동차와 신재생에너지 분야에서의 사용 확대에 향후 그 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 한편, 취약한 내열 안정성 때문에 약 100°C 이상의 고온 환경에서 사용하기 위해 현재 Dy와 같은 중희토류 금속을 첨가하고 있다. 하지만, 중희토류 금속의 수급불균형 문제 때문에 향후 중희토류 금속을 첨가하지 않고도 고온에서 사용 가능한 고보자력 영구자석 제조기술 개발이 시급하다. 중희토류 금속을 사용하지 않고 높은 보자력을 확보하는 방법으로 결정립 미세화, 결정립 계면제어와 같은 미세조직 정밀제어가 매우 중요하다. 결정립을 미세화하는 방법으로 젯밀법, HDDR법, melt spinning법과 같은 다양한 방법이 적용될 수 있다. 이 중에서 melt spinning법으로 제조된 분말의 경우 수십 나노 크기의 결정립을 가지게 되므로 20 kOe 이상의 고보자력 분말 제조가 가능하다. 하지만, 결정립의 방향이 무질서한 등방성 분말이기 때문에 상대적으로 낮은 잔류자화값을 나타낸다. 이에 최근 melt-spun 등방성 분말을 hot-deformation법으로 치밀화하여 이방성 나노결정립 벌크 자석을 제조하는 기술에 대한 연구가 주목받고 있다. 지금까지 많은 연구에도 불구하고 hot-deformation 과정의 미세조직 변화기구와 자기특성과의 연관성에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 hot-deformation법으로 제조된 Dy-free Nd계 영구자석 미세조직과 자기특성에 미치는 공정변수를 체계적으로 살펴보았다.

2. 실험방법

본 연구에서는, 먼저 수십 나노크기의 결정립을 가지는 melt-spun ribbon ($\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{0.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$)을 hot-pressing 공정에 의해 등방성 벌크자석으로 제조하였다. 실험은 10^{-5} torr 이하의 진공 분위기에서 실시하였으며 이때 공정온도는 700~900 °C, 압력은 40~90 MPa로 달리하여 3분간 가압하였다. 제조된 등방성 벌크자석은 공정온도 및 압력 변화에 따른 미세구조 및 자기특성 변화를 분석하였으며, 이렇게 제조된 등방성 자석은 다시 진공 분위기에서 700 °C까지 승온한 후 소성변형시켜 결정립 이방화를 유도하였다. 변형 시 0.05 s^{-1} 의 속도로 약 70 % (시료높이감소율) 변형을 실시하였으며 제조된 자석의 미세구조 및 자기특성은 FE-SEM 및 VSM을 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Hot pressing 온도와 압력변화에 의해 자석의 미세구조 및 자기특성이 크게 달라짐을 확인하였다. 특히, melt-spun ribbon 계면 영역에서 결정립 성장 및 Nd-rich phase 분포 변화 등의 미세구조 변화가 두드러지게 나타나는 것을 관찰하였다(그림 1). 이러한 계면 영역의 결정립 조대화는 hot-pressed 벌크자석의 보자력을 저하시키는 원인이 되며 die-upset 공정 시에도 결정립 이방화를 저해하여 자기특성을 저하시키게 된다. 그리고 750 °C에서 90 MPa의 압력하에서 치밀화된 자석(그림 1 (b))을 die-upset 하였을 때 보자력은 19.6 kOe에서 11.7 kOe로 감소하였지만 잔류자화값의 경우 7.7 kG에서 12.3kG로 크게 증가함을 확인하였다(그림 2). 하지

만, hot pressed 벌크자석의 계면영역의 결정립성장을 최대한 억제한 후 die-upset 한 결과, 자기특성은 더욱 향상되어 보자력, 잔류자화값 및 최대자기에너지적이 각각 13.7kOe, 13.3kG, 40MGOe 인 이방성 자석을 제조할 수 있었다.

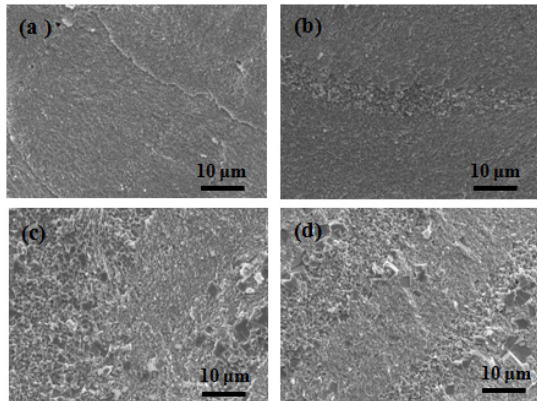


그림 1 Hot pressing 온도 및 압력에 따른 미세구조 변화. 750°C에서 (a) 40 MPa (b) 90 MPa, 900°C에서 (c) 40 MPa (d) 90 MPa

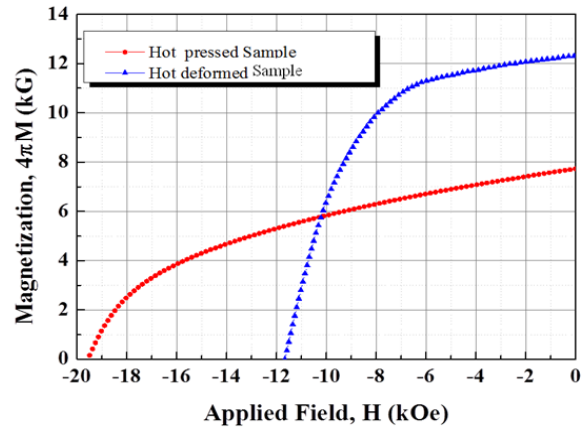


그림 2 Hot-pressing 과 die-upset을 통해 제조된 벌크자석의 자기특성

4. 참고문헌

- [1] D. N. Brown et al., J. Phys. : Condens. Matter. 26 (2014) 064202.
- [2] S. Sawatzki et al., J. Magn. Magn. Mater. 358-359 (2014) 163.
- [3] I. Dirba et al., J. Alloy Compd. 589 (2014) 301