

Hot-deformation에 의한 Dy-free Nd-Fe-B 영구자석 제조

차희령^{1,2*}, 유지훈¹, 권해웅³, 김양도², 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

1. 서론

최근 친환경 자동차 및 신재생 에너지 산업이 성장하면서 고온, 고출력 환경에서 사용가능한 영구자석이 요구된다 [1]. 이와 관련하여 내열특성이 취약한 Nd-Fe-B 영구자석의 보자력을 향상시키기 위해 Dy와 같은 중희토류 금속이 첨가되고 있다. 하지만 Dy는 자원이 한정되어 있고 첨가량이 많아질수록 자석의 세기가 저하되는 등의 문제가 있기 때문에 Dy를 사용하지 않고 결정립 미세화 및 계면제어와 같은 미세구조 제어를 통한 보자력 향상 기술이 필요하다 [2,3].

미세 결정립을 가지는 고성능 자석의 제조법 중 하나로 hot-deformation법이 있다. 이 방법은 특정온도에서 재료에 일정 압력을 가하여 소결하고 변형시킴으로써 나노결정립의 이방성 벌크자석을 제조하는 방법으로, 공정 온도, 변형률, 변형속도 등에 따라 자석의 특성이 변한다. 그리고 제조된 hot-deformed 자석은 공정 중 자석에 가해지는 압력에 의해 내부에 상당량의 strain 또는 결함이 존재할 것으로 예상되며 입계상 역시 불균일할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 hot-deformation 공정에서 변형률 및 변형속도에 따른 자석의 특성변화를 조사하였고, 제조된 자석의 입계를 균일하게 제어하기 위해 후열처리 및 확산열처리 실시하여 이에 따른 미세구조 및 자기특성 변화를 알아보았다.

2. 실험방법

본 실험에서는 약 40 nm 결정립을 가지는 $\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$ 조성의 melt-spun 분말을 원료분말로 하여 700°C에서 hot-pressing한 후 동일온도에서 die-upset하여 이방성 벌크자석으로 제조하였다. 이때 변형률과 변형속도는 $\epsilon=0.5\sim 1.4$, $\dot{\epsilon}=0.1\sim 0.001\text{s}^{-1}$ 의 범위에서 변화시켰다. 그리고 제조된 hot-deformed 자석은 400~800°C 온도 범위에서 1시간동안 열처리하여 열처리 온도에 따른 특성 변화를 관찰하였다. 또한 입계를 비자성상으로 균일하게 코팅하기 위해 NdH_x 와 Cu 나노분말을 이용하여 550~700°C 온도에서 확산 열처리하였다. 제조된 자석의 미세구조 및 자기특성 변화는 XRD, FE-SEM 및 VSM을 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

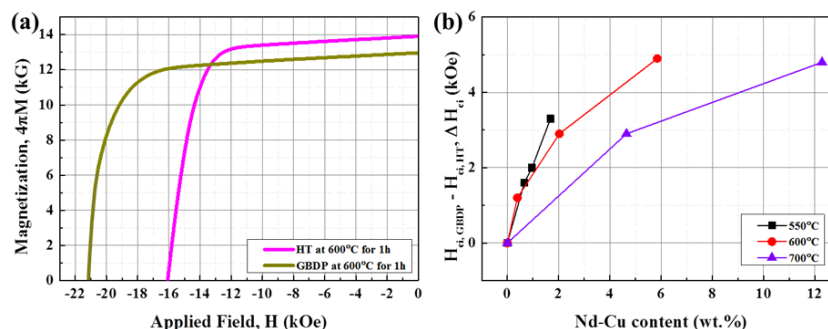


Fig. 1. (a) Demagnetization curves after heat treatment at 600°C for 1h with and without NdH_x -Cu dip-coating and (b) the coercivity increment as a function of diffused Nd-Cu contents.

Hot-deformation 공정 중 변형률이 커질수록 잔류자화 값이 증가하였고, 변형률이 작은 영역에서는 속도가 느릴수록 결정 이방화가 더 잘되었지만 변형률이 커질수록 속도가 빠른 것이 높은 보자력 및 잔류자화값을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 제조된 자석은 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 strain이 제거되어 나타난 결과인 것으로 보인다. NdH_x와 Cu 혼합분말을 열처리한 결과 550°C 이상의 온도에서 서로 반응하여 Nd-Cu를 형성하는 것을 확인하였다. 그리고 NdH_x와 Cu 혼합분말을 이용하여 자석에 확산 열처리 하였을 때 열처리 온도가 높을수록 많은 양의 Nd-Cu가 내부로 확산되어 들어가는 것을 확인하였으며 확산량이 많을수록 내부 입계상이 두꺼워지면서 보자력이 크게 향상됨을 확인하였다. 하지만 Nd-Cu 확산량에 대한 보자력 증가 비율은 낮은 온도에 열처리 하였을 때 더 높은 것을 알 수 있었는데 이것은 높은 온도에서 열처리하였을 경우 결정립 성장이 더 크게 일어나면서 나타나는 결과일 것으로 예상된다.

4. 참고문헌

- [1] O. Gutfleisch et al., *Adv. Mater.* **23** (2011) 821.
- [2] T. Akiya et al., *Scr. Mater.* **81** (2014) 48.
- [3] H. Sepehri-Amin et al., *Scr. Mater.* **63** (2010) 1124.