

DyCu 공정합금분말 첨가에 따른 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성 변화 연구

현승한^{1,*}, 배경훈¹, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

¹고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동 고려대학교, 136-713

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

³선문대학교 신소재 공학과, 충남 아산시 탕정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량을 저감하면서 보자력을 향상시키기 위해서는, Dy을 자석 내에 core-shell 형태로 분포시킴과 동시에 균질하고 연속적인 Nd-rich 입계상을 형성시켜야 한다. [1]. Dy의 core-shell 미세구조 구현에는 Dy-X (X= O, F, 그리고 H)화합물 분말첨가 공정이 효율적이고 [1], Nd-rich 상의 미세구조 개선에는 Cu와 같은 Nd-rich 상의 용점을 낮출 수 있는 용점 강하 원소 첨가 및 소결 후 열처리가 효율적이다 [2]. 사전 연구 결과에 의하면, Dy-X (X= O, F, 그리고 H) 화합물 분말 첨가 공정을 통하면 두꺼운 Dy-rich shell이 형성되기 때문에 소결온도를 감소시켜서 얇은 Dy-rich shell의 형성을 유도해야 하는데, 소결온도가 감소하면 자석의 밀도가 감소하여 자기적 특성에 악영향을 미친다 [3]. Nd-Fe-B 소결자석에 Cu와 같은 용점 강하 원소를 첨가하면 Nd-rich 상의 용점 및 상변태 온도가 감소하여 최적의 소결 및 1차 열처리 온도를 감소시킬 수 있다. 따라서 DyCu 합금 분말을 첨가하면 소결 온도 감소를 통해서 Dy-rich shell의 두께를 감소시킬 수 있고, 동시에 이상적인 미세구조를 가지는 Nd-rich 삼중점상 및 입계상의 형성을 유도 할 수 있다. 본 연구에서는 Dy_{85.6}Cu_{14.4} 공정 합금 분말을 첨가하여, 소결온도와 1차 열처리 온도 변화에 따른 미세구조와 상변화 그리고 그에 따른 자기적 특성의 상관관계를 연구하였다.

2. 실험방법

Dy-Cu 합금분말 첨가에 따른 자기적 특성 변화를 알아보기 위하여, 기본 조성이 Nd₂₉-Dy₃-Fe_{64.64}-B_{0.97}-Cu_{0.15}-Al_{0.2}-M_{2.04} (wt%, M=Co, Nb, 5 μm)인 Nd-Fe-B 분말을 준비하였다. Arc melting을 통하여 공정조성의 Dy_{85.6}Cu_{14.4}를 준비하였고, ball milling을 통해 평균 5 μm의 크기를 갖는 분말을 제조하여 Nd-Fe-B 분말과 함께 혼합하였다. 모든 자석의 최종 Dy의 함량은 3.5 wt%로 고정하였다. 소결온도 조건은 1070 °C, 1060 °C, 1050 °C에서 각각 4시간동안 진행하였으며, 1차 열처리 온도를 850 °C, 820 °C, 790 °C, 760 °C, 730 °C, 700 °C에서 각각 2시간 동안 진행하였다. 2차열처리는 530 °C에서 2시간, 3차열처리는 500 °C에서 2시간 각각 진행하였다. BH loop tracer로 자기적 특성을 측정하였고, XRD (Rigaku D/MAX-2500V/PC, X-Ray Diffraction)를 통해서 모합금의 상을 분석하였다. 그리고 EPMA (JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer)를 이용하여 합금 분말 첨가 공정에 따른 미세구조 변화와 상변화 및 상의 분포를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림. 1 은 소결온도 변화에 따른 Dy-Cu 공정합금 첨가 자석과 un-doped 자석 (3 wt.% Dy)의 자기적 특성 변화를 나타낸다. 그림. 1 (a)에서 확인할 수 있듯이, Dy-Cu를 첨가한 소결 자석 (3.5 wt.% Dy)의 경우 un-doped 자석과 비교하여 보자력이 향상 되었다. Un-doped 자석의 보자력을 기준으로 계산한 3.5 wt.% Dy 함유 자석의 보자력과 비교하여도 약 5.8% 향상된 보자력을 나타낸다. 소결온도가 감소함에 따라서 un-doped 자석과 Dy-Cu 첨가 자석의 보자력이 모두 감소하였다. 흥미로운 점은, Dy-Cu 첨가를 통해서 소결온도 감소에 따른 자석의

잔류자화 감소가 억제되었다 (그림. 1 (b)). DyCu 공정합금첨가로 자석내의 Cu 함량 증가가 Nd-rich 상의 용점을 낮추었고, 낮은 온도에서부터 치밀화가 일어나서 낮은 소결온도에서 발생하는 자석밀도의 감소가 개선되었다. 또한 소결온도가 낮아질수록 주상 내부로 Dy의 확산이 줄어들어서 Dy-shell의 두께가 얇아졌기 때문에 잔류자화의 감소량이 줄었다. 그리고 자석내의 주상에 대해 젖음성이 좋은 Cu-rich 삼중점 상이 증가하여 미세구조가 개선이 되었다. 이로 인해 균질한 Nd-rich 입계상이 un-doped 자석보다 더 잘 형성되어 주상을 확실하게 고립시키고 주상과 주상간의 상호 교환 결합 (exchange coupling)을 차단하기 때문에 Dy-Cu 첨가를 통해서 보자력이 향상되었다.

4. 결론

Nd-Fe-B 소결자석에 공정조성의 DyCu를 분말 첨가하여 소결온도의 변화에 따른 자기적 특성의 변화에 대하여 알아보았다. DyCu 첨가 자석의 보자력은 un-doped 자석과 비교하여 전체적으로 증가하였지만 소결온도가 낮아짐에 따라서 감소하였다. 잔류자화 또한 소결온도가 낮아질수록 감소하였지만 un-doped 자석과 비교하여 잔류자화 감소량이 줄어들었다. 그 이유는, 첫째, 자석 내에 존재하는 Cu의 함량 증가로 Nd-rich 상의 용점이 강하여 미세구조가 개선되었고, 둘째, 낮은 상대적으로 주상으로의 Dy 확산이 감소하기 때문에 Dy-shell의 두께가 얇아져서 잔류자화의 감소를 줄였다.

5. 참고문헌

- [1] Kyoung-Hoon Bae, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang, J. Appl. Phys. 112, 093912 (2012).
- [2] Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Min-Woo Lee, Tae-Suk Jang, Jin Woo Kim, Young Do Kim, Hyo-Jun Kim, Acta Mater. 66, 12–21 (2014).
- [3] Song-E Park, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang, J. Appl. Phys. 111, 07A707 (2012).

6. 감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

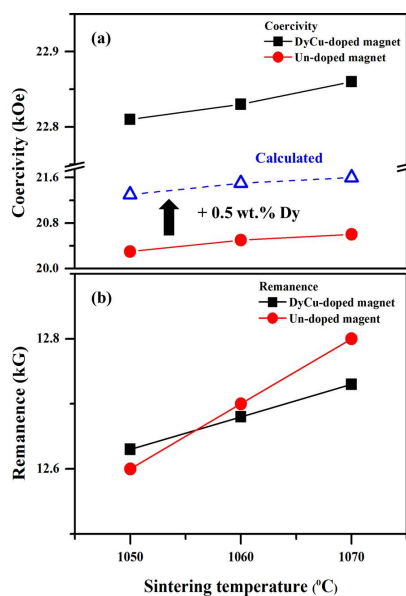


그림. 1 DyCu 공정 합금 첨가 자석과 un-doped 자석의 소결온도의 변화의 따른 자기적 특성 변화