R-3

소량의 Cu와 Co 첨가가 strip-cast Nd-Fe-B 합금의 미세구조 형성에 미치는 영향

선문대학교, 재료화학공학부, 이 대 훈*, 장 태 석
자화전자주식회사, 연구소 김 동 환, 김 승 호

Effect of small copper and cobalt additions on the formation of microstructures of the strip-cast Nd-Fe-B alloys

Division of Materials and Chemical Eng., Sun Moon Univ., D.H. Lee*, T.S. Jang
Research Institute of Ja Hwa Electronics Co., D.H. Kim, Andrew S. Kim

1. 서 론

Nd-Fe-B 소결자석의 고에너지화를 위해서는 잔류자화의 향상이 필수적이다. 이를 위해서는 합금의 성분 조절과 제조기술의 개선을 통하여 포화자화값의 저하를 유발할 수 있는 원소의 첨가를 가능한 억제하고, 보자력의 유지에 필요한 Nd-rich상의 양을 최소한으로 유지하는 한편, 성형기술의 개선을 통하여 결정배향도 및 성형밀도를 높혀야 한다. 이와 같은 점을 충족시키기 위하여 최근에 제시된 방법이 ingot 대신 strip-cast법으로 제조된 Nd-Fe-B 합금을 원재료로 사용함과 동시에 결정배향도를 높히기 위하여 RIP에 의한 성형을 실시하는 것이다[1,2]. 실제로 일본에서 개발된 55.8 MGOe의 자석과 양산에 들어간 50 MGOe급 소결자석은 이와 같은 방법으로 제조된 것이다[1].

한편 strip-cast법으로 합금을 제조할 경우, 초정 Fe의 정출을 억제할 수 있을 뿐만 아니라, 액상소결과 보자력의 유지에 필요한 Nd-rich상이 결정립 내부에 존재하거나 결정립계 pocket에 다량 존재하지 않고 주로 수지상정의 결정립계를 따라 균일하게 분포하며, 그 양도 최소화할 수 있는 장점이 있는 것으로 알려지고 있다[2,3]. 뿐만 아니라, ingot 합금에서 종종 나타나는 편석에 의한 조성과 조직의 불균일성[4,5]도 개선할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 고에너지 Nd-Fe-B 소결자석 제조용 strip-cast 합금을 개발하기 위하여, 기본조성인 $Nd_{15}Fe_{77}B_8$에 Cu와 Co를 소량 첨가하여 strip casting법으로 합금을 제조한 후, 이들 원소의 첨가가 상 형성, 상 분포 및 조직 형성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

Strip casting을 위한 모합금의 조성은 $Nd_{15}Fe_{77-x}Cu_xB_8$ (x = 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 at.%)와 $Nd_{15}Fe_{77-y}Co_yB_8$ (y = 0.5, 1.0, 1.5 at.%)로 하였으며, 순도 99.5 % 이상의 원료를 사용, Ar 분위기하에서 arc 용해하여 모합금을 제조하였다. 제조된 모합금을 적당한 크기로 분쇄하여 석영관에 넣고 재용해한 후, Ar 분위기하에서 직경 200 mm, 두께 20 mm인 Cu wheel (2.5 m/s)에 노즐을 통하여 용탕을 쏘아 strip을 제조하였다. 이때 노즐은 크기는 7 mm × 0.4 mm인 직사각형 slit 형태로 제작하였다. 제조된 strip에서의 조직 변화 및 dendrite 형성 유무는 광학현미경과 SEM을 이용하여 조사하였으며, X선 회절 (Cu K_α)과 EDX를 이용하여 상 변화 및 상 분포를 조사하였다. Strip의 자기특성은 최대 인가자장 20 kOe인 VSM을 이용하여 측정하였고, 자장은 strip의 길이 방향으로 strip 표면에 평행하게 인가하였다.

3. 결과 및 고찰

소량의 Cu (0.3 ~ 1.0 at.%)를 첨가한 결과, 첨가량이 0.3 at.%일 때에는 quenched surface에서 free surface 방향으로 잘 발달된 수지상정을 얻을 수 있었으나, 0.5 at.% 이상으로 Cu를 첨가 했을 때에는 수지상정의 방향이 일정하지 않고, 수지상간 배열도 흩어지는 것을 알 수 있었다. Co를 소량 첨가한 경우에는 첨가량에 관계없이 전반적으로 수지상정이 잘 발달되어 있었으며, 특히 1.0 at.% 이상의 Co를 첨가 했을 때 수지상정이 quenched surface에서 free surface 방향으로 뚜렷하게 발달하는 것을 알 수 있었다. 모든 strip 합금들에서 Nd-rich 상은 $Nd_2Fe_{14}B$의 입계에 균일하게 분포하고 있었으며, 이때 Cu는 Nd-rich 상에, Co는 기지조직에 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 한편, Cu 첨가량이 감소할수록, 또는 Co 첨가량이 증가할수록, strip의 quenched surface에서 free surface 방향으로, 즉 $Nd_2Fe_{14}B$ 수지상정이 발달한 방향으로 뚜렷한 <001> preferred orientation이 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 strip내 $Nd_2Fe_{14}B$가 수지상정의 발달 방향을 따라 정렬되고 있음을 말해주는 것으로서, 소결자석 제조를 위한 strip의 분쇄 성형시 결정립 배향도의 향상에 기여할 것으로 보인다.

4. 결론

Cu가 0.3 at.% 첨가되었을 때에는 초정 Fe의 정출이 억제되면서 동시에 $Nd_2Fe_{14}B$의 수지상정이 strip 표면에 수직한 방향으로 잘 발달하였으나, 첨가량이 0.5 at.% 이상일 때에는 수지상정이 붕괴되면서 수지상간 정렬이 감소하였다. Co의 경우, 첨가량이 증가할수록 수지상정의 정렬이 향상되는 경향을 보였다. Cu와 Co가 첨가된 strip 합금에서도 $Nd_2Fe_{14}B$와 Nd-rich상 외에 다른 상은 발견되지 않았고, Cu는 결정립계에, Co는 결정립내에 존재하였다.

4. 참고문헌

1] Y. Kaneko, Y. Sasakawa, S. Kohara, K. Tokuhara, and S. Kidowaki; Materia Japan, 38, 1999, p 248.

2] J. Bernardi, J. Fidler, M. Sagawa, and Y. Hirose; J. Appl Phys. 83, 1998, p 6396.

3] M. Sagawa, Y. Hirose, H. Hasegawa, S. Sasaki, and K. Nakajima; to be published.

4] D.W. Scott, B.M. Ma, Y.L. Liang, and C.O. Bounds; J. Appl. Phys., 1996, p 4830.

5] B.M. Ma and C.O. Bounds; J. Appl. Phys. 70, 1991, p 6471.