

# Strip-cast Nd-Fe-B 합금의 미세구조와 자기적 특성의 변화에 Dy가 미치는 영향

김태훈\*, 이성래, 김동환<sup>1</sup>, 장태석<sup>2</sup>

고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동 고려대학교, 136-713

<sup>1</sup>한국기계연구원 부설 재료 연구소, 경남 창원시 창원대로, 641-010

<sup>2</sup>선문대학교 하이브리드공학부, 충남 아산시 탕정면 선문대학교, 336-708

## 1. 서론

Nd-Fe-B 소결 자석의 자기적 특성은 그것의 미세구조에 많은 영향을 받는다. 소결 자석의 미세구조는 모합금의 미세구조에 많은 영향을 받는데, strip-casting 법으로 모합금을 제조함으로써, 모합금의 미세구조를 미세한 결정립이 균일하게 분포하도록 조절 하고, 강자성상의 정렬도를 증가 시켜서 Nd-Fe-B 소결 자석의 이상적인 미세구조를 얻을 수 있다. 또한, Nd와 Dy를 치환 시킴으로써, 강자성상의 anisotropy field를 증가 시켜 높은 보자력을 얻을 수 있다.

본 연구에서는, 전체적인 희토류 금속의 함유량은 유지하되 Dy의 함량(4.89~9.77 wt%)을 증가시키면서 strip-casting 법으로 합금을 제조한 후, Nd 치환원소인 Dy의 함유량 증가가 가져오는 strip-cast 합금의 미세구조 및 자기적 특성의 변화에 대하여 조사하였다.

## 2. 실험방법

조성이  $(\text{Nd}_{32.57-x}, \text{Dy}_x)\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{B}_{0.97}(\text{wt}\%), (x=4.89, 6.51, 8.14, 9.77)$ 인 (Nd, Dy)-Fe-B strip-cast가 준비 되었다. Strip의 조직변화는 주사전자현미경(JXA-8500F)을 이용하여 관찰하였으며, 주사전자현미경 촬영시 strip의 측면과 free surface, wheel side 양면을 모두 촬영하였다. Strip-cast의 상변화 및 상분포를 조사하기 위해서 EPMA(JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer), XRD(Cu-K $\alpha$ , RigakuModelID/MAX-2500V/PC), Transmission Electron Microscopy(FEITecnaIF20)를 이용 하였다. Strip-cast의 자기적 특성은 VSM을 이용하여 측정하였다. 이때 최대 인가 자기장은 17kOe였고, 자기장은 strip 표면에 평행하게 인가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Dy의 첨가량이 증가 함에 따라 보자력이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이것은 Dy가 Nd와 치환되어 들어 가면서 형성하는  $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 anisotropy field가 12.57MA/m 로,  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 7MA/m 보다 큰 값을 가지기 때문이다[1]. Fig. 1을 보게 되면, Dy의 첨가량이 증가함에 따라 평균 lamellar 간격이 감소하고, lamellar 간격의 최대와 최소치 간의 차이가 줄어들면서 균질도가 증가 하는 것을 알 수 있다. SEM을 통해 결정립계를 따라 석출물이 형성 되는 것을 알 수 있었고, 이 석출물의 조성이  $\text{DyNdO}_3$  임을 XRD 및 TEM을 통하여 확인 하였다. 따라서, Dy 첨가량이 증가됨에 따라 결정립계에  $\text{DyNdO}_3$  석출물의 형성이 증가 하면서, 결정립 성장 중에 결정립의 이동을 억제하고, 비정상적인 결정립 성장을 억제 함으로써, 평균 lamellar 간격이 감소 하고, 균질도가 증가 한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 Dy 첨가량에 따른 결정립의 strip의 표면과 수직한 방향으로의 정렬도를 나타낸다. Dy의 첨가량이 증가함에 따라 strip의 표면에 수직한 방향으로 결정립 정렬도가 증가 하는 것을 알 수 있다. XRD를 통해서 Dy의 첨가량이 증가함에 따라  $\alpha$ -Fe의 정출이 억제 된다는 것을 확인 함으로써, Dy의 첨가량이 증가함에 따라  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 effective cooling rate를 증가시켜 strip-casting 공정 중에  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 정렬도를 증가 시킨 다는 것을 알 수 있다. 또한, wheel side에서의 정렬도가 free surface에서보다 안좋은 것을 알 수 있는데, 이것은 wheel side의 냉각속도가

너무 빠르기 때문에, free surface의 결정립보다 조밀하고 무질서한 방향으로의 결정립의 모습이 나타 난다.

## 5. 결론

Dy가 첨가되어 들어 감에 따라, 결정립은 미세해지고 균질해지며, strip의 표면과 수직한 방향으로의 결정립 정렬도가 증가 한다. Dy의 첨가량이 증가함에 따라 결정립계를 따라 형성되는 DyNdO<sub>3</sub> 석출물의 양이 증가 되면서, 결정립의 이동과 비정상적인 결정립 성장이 억제 되기 때문에 미세하고 균질한 미세구조를 얻을 수 있다. 또한, Dy가 첨가됨에 따라 effective cooling rate가 증가 되기 때문에, strip-casting 공정 중에 strip의 표면과 수직한 방향으로의 열흐름 방향으로 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B상의 결정립 정렬도가 증가 하게 된다.

따라서, Dy의 첨가는, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 강자성상의 anisotropy field의 향상에 영향을 줄 뿐만 아니라, 결정립의 미세화 및 균질화, 결정립의 정렬도 향상에 영향을 줌으로써 Nd-Fe-B strip-cast의 자기적 특성을 향상 시킨다.

## 6. 참고문헌

[1] L. Q. Yu, Y. H. Wen, M. Yan, J. Magn. Mater. 283 (2004) 353.

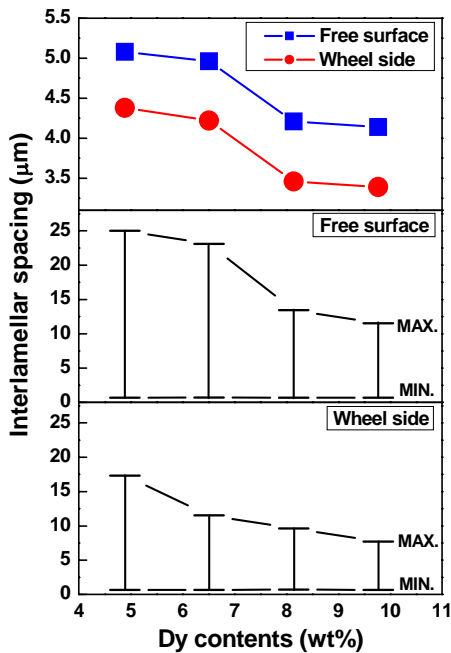


Fig. 1. Effect of Dy content on the average inter-lamellar spacing and difference between Max. and Min. inter-lamellar spacing of (Nd<sub>32.57-x</sub>Dy<sub>x</sub>)Fe<sub>bal</sub>B<sub>0.97</sub>.

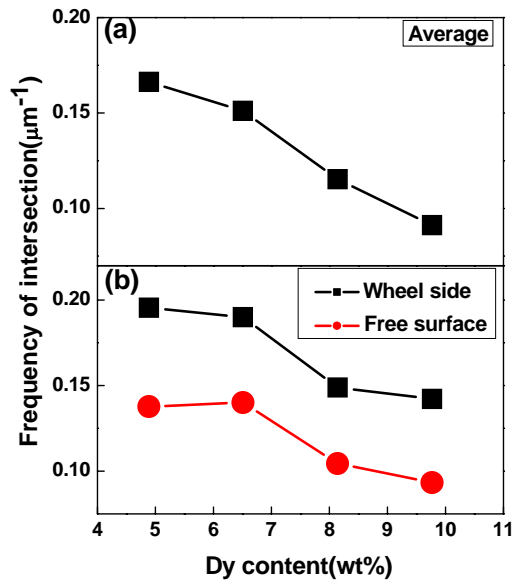


Fig. 2. Effect of Dy content on the grain alignment with direction perpendicular to the plane of the strip.(a) average grain alignment, (b) difference of grain alignment between free surface and wheel side.

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.