

과냉된 Nd-Fe-B 합금의 자기적 특성에 미치는 자장 annealing의 영향

성균관대학교 이경섭*, 서수정

The effect of magnetic field annealing on the magnetic properties of
overquenched Nd-Fe-B alloy

Sungkyunkwan University K. S. Lee, S. J. Suh

1. 서 론

Tokunaga[1] 등은 자장열처리에 의해서 과냉된 Nd-Fe-B 합금의 자기적 특성이 향상되지 않으며 단지 결정화온도를 저하시키는 효과가 있음을 보고하였다. 비정질 Nd-Fe-B 합금으로부터 $Nd_2Fe_{14}B$ 상으로 결정화되는 온도는 합금 조성에 따라 다르나 대략 550 - 600 °C로서 이 온도영역에서 $Nd_2Fe_{14}B$ 상은 자성을 갖지 않는다. 따라서 이러한 온도영역에서 자장중 열처리를 통해 Nd-Fe-B 자석에 결정이방성을 유도시키는 것은 불가능하다. 하지만 비정질 Nd-Fe-B 합금으로부터 $Nd_2Fe_{14}B$ 상이 결정화 되기전에 나타나는 중간상인 Fe 나 Fe_3B 상들은 $Nd_2Fe_{14}B$ 보다 높은 큐리온도를 가지며 특히 이중 Fe_3B 는 일축결정자기이방성의 특성을 갖는 강자성 상으로서 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 결정구조를 구성하는 중요한 기초격자로서 자화용이축이 $Nd_2Fe_{14}B$ 와 동일한 방향이다.

본 연구에서는 과냉된 $Nd_{14.73}Fe_{78.67}B_{6.60}$ 합금의 자장열처리에 따른 자기적특성의 향상과 미세구조를 관찰하였다.

2. 실험방법

$Nd_{14.73}Fe_{78.67}B_{6.60}$ 합금을 단롤법의 급냉응고장치를 이용하여 Cu wheel의 표면속도(V_s)가 각각 22 m/s와 40 m/s인 리본을 제조하였다. 급속응고된 리본을 아르곤 가스 분위기하에서 리본의 면과 수직인 방향으로 5 kOe의 외부자장을 가하며 상온부터 목적한 온도까지 승온시키며 열처리를 하였다. 열처리된 리본을 분쇄하여 자장중에서 배열한 후 시료진동형 자력측정계로써 자기적인 특성을 측정하였다. 그리고 X-선 회절시험기를 이용하여 상을 분석하였으며, 투과전자현미경을 이용하여 자장열처리한 리본과 무자장열처리한 리본의 미세조직을 각각 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig.1(a)은 속도(V_s)가 22 m/s인 리본들을 각각 온도를 달리하여 자장과 무자장에서 열처리한후 열처리온도에 따른 $4\pi M(18 \text{ kOe})$ 과 $4\pi M_r$ 을 각각 비교한 것이다. 550 °C에서 열처리한 리본들의 경우 자장열처리에 의해서 $4\pi M(18 \text{ kOe})$ 과 $4\pi M_r$ 이 0.7 kG 가량 증가하였다. Fig.2(a)는 550 °C의 리본들을 각각 X-선 회절시험한 결과이다. $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 자화용이축에 수직인 (006)면의 회절강도가 상대적으로 증가하였고 특히 자장열처리한 경우 (006) 면의 회절 peak의 반가폭이 현저히 증가하였다. 22 m/s의 응고속도(V_s)로 제조된 리본들은 부분적으로 비정질을 포함하지만 대부분은 안정한 $Nd_2Fe_{14}B$ 상들과 격자상수 및 면간거리가 $Nd_2Fe_{14}B$ 상과 유사한 불안정한 상들이 혼재한다. 자장열처리도중 자장방향과 자화용이축의 방향이 일치하는 결정입자들이 안정한 $Nd_2Fe_{14}B$ 상으로 우선 성장함으로써 재료가 이방화 된 것

으로 고찰된다. Fig. 1(b)은 속도(V_s)가 40 m/s인 리본들의 자장 및 무자장에서 열처리후의 자기적 특성을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 자장열처리한 리본들의 $4\pi M$ (18 kOe)과 $4\pi M_r$ 이 0.5 kG에서 1 kG까지 증가하였다. Fig. 2(b)는 이중 625 °C에서 열처리한 리본의 X-선회절 시험한 결과인데, α -Fe상의 상대회절 강도가 자장열처리한 리본에서 더 크게 나타났다. 이 같은 사실은 투과전자현미경을 이용한 미세조직 관찰 및 전자회절 환도형에서도 동일함을 확인하였다. 속도(V_s)가 40 m/s인 리본은 22 m/s의 속도(V_s)로 제조된 리본보다 응고속도가 매우 빠르기 때문에 열처리전의 리본내부의 조직은 대부분 비정질이다. 이같은 비정질로부터 Fe와 Fe_3B 의 중간상이 생성되며, 이 중간상들은 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 결정화온도로 알려진 약 550-600 °C 사이에 $Nd_2Fe_{14}B$ 상으로 변태된다. 열처리도중 외부자장의 영향으로 중간상인 α -Fe의 석출이 많아졌거나, $Nd_2Fe_{14}B$ 상으로의 변태하는 과정에서 자장에 의해 α -Fe가 분해가 억제되어 잔류 α -Fe 양이 많아졌기 때문일 것으로 보인다. 따라서 이같이 자화강도가 큰 α -Fe 상과 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 교환 작용에 의해 자기적 특성이 증가된 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

[1] M.Tokunaga, Y.Nozawa, K.Iwasaki, S.Tanigawa, and H.Harada J. Mag. Mag. Mat. 80 (1989)

80-87

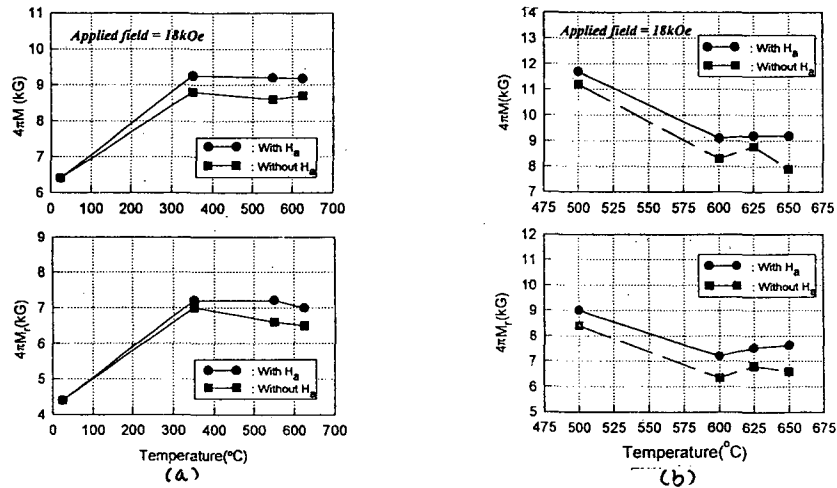


Fig. 1 Variation of $4\pi M$ (18 kOe) and $4\pi M_r$ of melt-spun $Nd_{14.73}Fe_{78.67}B_{6.60}$ ribbons as a function of annealing temperature with and without magnetic field(applied field=5 kOe, annealing time = 5 min.): (a) $V_s=22$ m/s , (b) $V_s=40$ m/s.

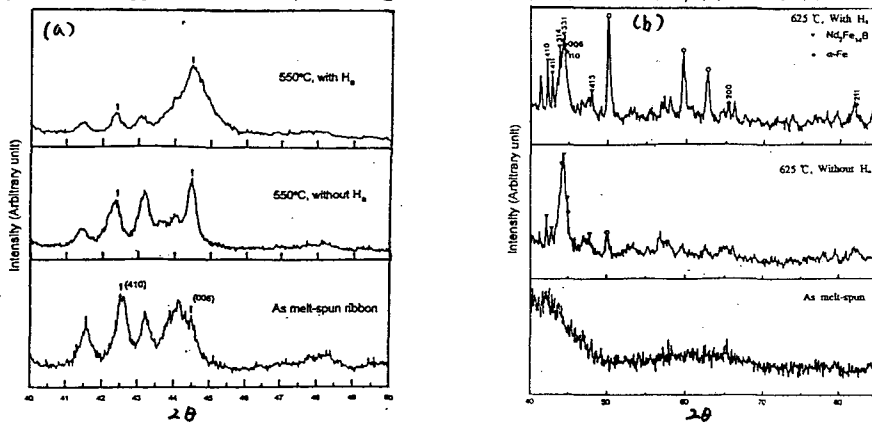


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of melt-spun $Nd_{14.73}Fe_{78.67}B_{6.60}$ ribbons annealed with and without magnetic field: (a) $V_s=22$ m/s , (b) $V_s=40$ m/s.