

소량의 boron이 첨가된 급냉용고 Nd-Fe-C 합금의 상형성과 자기적 특성

선문대학교 재료금속공학부 김용석*
이대훈
장태석

Phase formation and magnetic properties of melt-spun Nd-Fe-C treated by small amount of boron

Division of Metallurgical. and Materials Eng., Sun Moon Univ.

Y. S. Kim*

D. H. Lee

T. S. Jang

1. 서론

Iron-rich Nd-Fe-C 계에서는 boride계 합금에서와는 달리 강자성상인 $Nd_2Fe_{14}C$ 이 열처리를 통한 포석반응형 고상변태에 의해서 얻어지나, 주조 상태에서는 핵형성의 어려움 때문에 $Nd_2Fe_{14}C$ 의 형성속도가 매우 느리고 그 결과 과도한 입자 성장으로 보자력도 낮아서, 이것이 Nd-Fe-C 자석의 실용화에 가장 큰 장애 요인이 되고 있다. 그러나 Nd-Fe-C 합금을 급냉용고시킨 후 짧은 시간 동안 적절히 열처리하면, 강자성상을 충분히 형성시킬 수 있음은 물론 상당한 값의 보자력도 얻을 수 있는 것으로 밝혀졌다 [1, 2]. 하지만 boride 합금과 비교할 때, 여전히 자기적 특성, 특히 보자력의 개선이 필요하다. 일반적으로 자기 특성을 개선하기 위해서는 Nd, Fe, C의 삼원소 중 어느 것이라도 다른 원소로 소량 치환하는 것이 가능하며, C의 경우에는 B로 치환하는 것이 가능하다. 실제로, Nd-Fe-C 주조합금에 소량의 B를 첨가하면 $Nd_2Fe_{14}C$ 의 핵생성을 촉진하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다 [3]. 따라서 본 연구에서는 Nd-Fe-C 구성원소 중 C를 소량의 B로 치환한 후 급냉용고시킨 합금에서 이러한 소량의 B 첨가가 상형성 및 자기적 성질의 변화에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 실험방법

$Nd_{15}Fe_{77}C_{8-x}B_x$ ($x = 0 \sim 2.0$) 합금을 Ar 분위기에서 arc melting하여 ingot를 제조하였다. 이 ingot를 적절히 분쇄하여 직경 0.5 mm의 orifice를 가진 석영관에서 재용해한 후, 25 m/s (Cu wheel)의 회전 속도에서 급냉용고를 실시하여 리본 합금을 제조하였다. 제조된 리본들은 석영관에 진공밀봉하여 700~

900 °C에서 15분간 열처리한 후 밀봉된 상태로 수냉하였다. 열처리 전후 리본합금의 상 변화 및 미세조직 관찰을 각각 XRD 및 SEM을 이용하여 실시하였으며, 자기적 특성은 VSM을 사용하여 17 kOe의 인가자장하에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

As-spun 합금의 경우, B의 첨가량이 적을 때($x = 0.5$)에는 B를 첨가하지 않은 경우와 유사하게 연자성상인 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{17}\text{C}_x$ 가 일차상으로 정출하면서 약간의 $\alpha\text{-Fe}$ 와 비정질상이 함께 존재하였다. 그러나 이들 시편이 강, 연자성상이 혼합되어 있는 상태에서 연자성상이 많을 때 전형적으로 나타나는 거위목 형태의 자기이력곡선을 나타내는 것으로 보아, 비록 소량이지만 강자성상인 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 상도 이미 합금의 응고시에 정출하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 as-spun 상태에서부터 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 이 출현하는 현상은 순수한 Nd-Fe-C 합금[2]이나 Cu, Ni, Al, Dy 등을 첨가한 경우[4, 5]에는 나타나지 않는 현상으로서, 소량의 boron 첨가가 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 의 핵형성을 촉진하는 데 매우 효과적임을 말해 준다. As-spun 합금에서의 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 의 형성은 boron의 첨가량이 많아질수록 증가하였고, 동시에 비정질의 형성도 증가함에 따라, $x = 1.5$ 이상에서는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 이 비정질상과 함께 존재하였다. 따라서 boron이 소량 첨가된 이들 합금에서는 응고시 이미 정출한 미세 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 들이 핵으로 작용하면서 열처리에 의한 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 의 변태를 더욱 촉진함에 따라, 위에 언급한 경우들과는 다르게 700°C에서도 15분만의 열처리로 거의 완벽하게 변태된 미세 강자성상을 얻을 수 있었다. 이에 따라 이 온도에서 열처리한 시편들의 보자력(H_c)이 가장 크게 나타났으며 ($x = 2.0$ 일 때 약 13.6 kOe), 보자력은 boron의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 700 °C 이상의 온도에서는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 의 입자가 성장함에 따라 보자력도 비례하여 감소하였다. 이러한 입자 성장은 B의 첨가량이 많아지고 온도가 상승할수록 현저하게 발생하여, $x = 1.5$ 이상인 합금을 850 °C 이상에서 열처리하였을 때에는 1 μm 를 훨씬 초과하는 조대한 입자들이 발견되었다. 한편 boron의 첨가는 Dy 첨가시와 유사하게 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 의 열적 안정성도 개선하는 효과가 있어서, $x = 1.5$ 이상인 합금에서는 900 °C에서도 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ 이 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{17}\text{C}_x$ 로 분해되지 않고 여전히 존재하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 소량의 boron 첨가에 의해 잔류자화값도 증가하였으며, 보자력의 경우와 같이 뚜렷하게 나타나지는 않았지만, 전반적으로 boron의 첨가량이 많아질수록 증가하는 경향을 보였다.

4. 참고문헌

- [1] R. Coehoorn, J.P.W.B. Duchateau, and C.J.M. Denissen, *J. Appl. Phys.* **65**, 704 (1989).
- [2] T.S. Jang, K.Y. Lim, and D.H. Cho, *Korean J. Materials Research* **7**, 1063 (1997).
- [3] T.S. Jang and H.H. Stadelmaier, *Materials Lett.* **9**, 483 (1990).
- [4] T.S. Jang and D.H. Cho, *Korean J. Appl. Phys.*, in press.
- [5] T.S. Jang and Y.S. Kim, to be published.