B7

급냉응고된 Fe-Nd-C 합금의 자기적 특성에 미치는 소량의 Cu 첨가 효과

선문대학교 임광윤*, 장태석
생산기술연구원 조대형

Effect of small copper additions on the magnetic properties of melt-spun Fe-Nd-C alloys

Sun Moon University K. Y. Lim*
T. S. Jang
KAITECH D. H. Cho

1. 서론

Tetragonal $Fe_{14}Nd_2C$는 $Fe_{14}Nd_2B$와 결정구조 및 자기적 구조가 동일하고 intrinsic magnetic properties)도 유사하여[1], 이 상을 기지조직으로 하는 Fe-Nd-C 합금은 유망한 강자성 재료로 대두되고 있다. 그러나 Fe-Nd-C 주조 합금에서는 이 상이 일차상으로 존재하지 않고 고상변태를 통해서만 얻을 수 있으나, 그 형성 속도가 매우 느려서 수주일의 시간이 소요되고 결과적으로 합금의 보자력도 아주 낮다. 또한 이 상이 존재하는 온도 구역에서는 액상이 존재하지 않아 Fe-Nd-B와 같은 소결자석을 제조하기도 어렵다[2]. 따라서 Fe-Nd-C 자석을 실용화하기 위해서는 $Fe_{14}Nd_2C$의 형성 속도를 증가시킴과 동시에 높은 보자력을 유지하는 것이 필요하다. 사전 연구 결과, 소량의 Cu를 주조 합금에 첨가하면 $Fe_{14}Nd_2C$의 입자 성장을 가속화시킴으로서 $Fe_{14}Nd_2C$의 형성 속도를 증진시키는 것으로 밝혀졌으며[3], melt spinning에 의해 Fe-Nd-C 합금을 제조한 후 수분간 열처리하면 높은 보자력을 얻을 수 있음도 입증되었다[4]. 본 연구에서는 소량의 Cu를 첨가한 Fe-Nd-C 합금을 급냉 응고법으로 제조하여 Cu 첨가가 상 형성 및 자기 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

$Fe_{77-x}Cu_x-Nd_{15}-C_8$ (x = 0 ~2.0)의 합금을 Ar 분위기에서 arc melting하여 ingot를 제조하였다. 이 ingot를 재용해한 후 30 m/s의 회전 속도에서 급냉 응고를 실시하여 리본 합금을 제조하였다. 또한 냉각 속도의 변화에 따른 상 변화 및 자기 특성의 변화를 조사하기 위하여 x = 1.0인 조성의 합금을 선택, 각각 10, 20, 30, 40 m/s의 회전 속도에서 리본을 제조하였다. 제조된 리본들은

석영관에 넣고 진공상태에서 밀봉, 열처리하였으며, X-ray diffraction과 SEM으로 상 변화 및 미세 조직 변화를 관찰하고, VSM으로 자기적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

DTA 분석 결과 $Fe_{17}Nd_2C_x$에서 $Fe_{14}Nd_2C$로의 상 변태점이나 $Fe_{14}Nd_2C$에서 $Fe_{17}Nd_2C_x$로의 상 변태점은 Cu 첨가량의 증가에 따라 전반적으로 낮아지는 경향을 보였으나, 주조 합금의 경우와 마찬가지로 $Fe_{14}Nd_2C$가 존재하는 온도 범위(약 200℃)에는 큰 변화가 없었다. 냉각 속도(wheel speed)의 변화에 따른 as-spun 리본에서의 상 변화는 무첨가시와 유사하였다. 즉 10, 20 m/s에서는 Fe 또는 $Fe_{17}Nd_2C_x$가, 30 m/s 이상에서는 비정질상이 우세하며, 어떤 조건에서도 $Fe_{14}Nd_2C$는 나타나지 않았다. 그러나 무첨가시와는 달리 전반적으로 Fe의 peak이 강하게 나타나며 30 m/s 이상에서도 완전히 비정질화되지 않고 약간의 Fe가 정출하는 것이 발견되었는데, 이것은 Cu가 일차상인 Fe를 안정화시키는 역할을 하는 것을 의미한다. 이에 따라 Cu 첨가시에는 무첨가시에 비해 $Fe_{14}Nd_2C$의 형성에 더 많은 시간이 소요됨을 알 수 있었다. Cu 첨가량이 1.0% 이상인 합금을 800℃ 이상에서 10분 이상 열처리한 경우에는, Cu를 함유한 주조 합금에서 발견되는 것과 유사하게 과대 성장한 다각형의 $Fe_{14}Nd_2C$ 입자들이 종종 발견되었다. 이러한 비정상적 입자 성장은 Cu 첨가가 $Fe_{14}Nd_2C$의 핵 형성에는 영향을 주지 않고 계면 이동만을 촉진함으로서 적은 수의 핵들이 과도하게 성장하여 일어나는 현상으로 풀이된다[3]. 그러나 주조 합금과는 달리 리본 합금에서는 이와 같은 입자 성장에도 불구하고 상당히 높은 보자력(~10 kOe)을 나타내었다. 보자력의 향상에 미치는 Cu 첨가의 효과는 첨가량이 0.5 %일 때 가장 높아서 무첨가시에 비해 약 30%의 보자력 증가를 나타내었으나, 첨가량이 증가함에 따라 보자력은 급속히 감소하였다.

4. 결론

소량의 Cu가 첨가된 as-spun Fe-Nd-C 합금에서는 Cu에 의해 일차상 Fe가 안정화되는 경향을 보였으며, Cu 첨가가 $Fe_{14}Nd_2C$의 형성 기구에 미치는 영향은 주조 합금의 경우와 유사하였다. 첨가량이 0.5%일 때 가장 높은 보자력을 나타내었으며, 첨가량이 증가할수록 보자력은 감소하였다.

5. 참고 문헌

1) K.H.J. Buschow; Ferromagnetic materials vol.4, eds. E.P. Wohlfarth and K.H.J. Buschow, North Holland, Amsterdam (1988), chapter1.
2) B. Grieb, K. Fritz, and E.-Th. Henig; J. Appl. Phys. 70 (1991), pp 6447-6449.
3) T.S.Jang and H.H. Stadelmaier; Materials Lett.9 (1990), pp 483-486.
4) 임광윤, 장태석, 조대형; to be published.