

## PIM 법으로 제조된 NdFeB 소결자석의 자기적 특성

한국과학기술연구원 정원용\*, 정우상

### Magnetic Properties of NdFeB sintered magnets produced by powder injection molding

KIST W. Y. Jeung\* and W. S. Jung

사출성형법은 열가소성 수지제품을 다양한 크기와 형태로 제조할수 있는 장점을 갖고 있어 광범위하게 사용되고 있다. 그중에서도 특히 분말사출성형법(powder injection molding, PIM)은 복잡한 형상 및 높은 치수 정밀도가 요구되는 세라믹이나 금속의 소결 부품 제조에 응용된다. 본 연구에서는 PIM 법을 사용하여 NdFeB 소결자석 제조시 분말배향도, 열분해시의 잔류탄소농도 및 다른 공정변수가 NdFeB 계 소결자석의 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

14.7Nd-64.2Fe-12.9Co-6.9B-0.8Al-0.6Zr 의 조성을 갖는 자성합금을 Ar 분위기에서 유도 용해한후 수소 분쇄 및 유성밀을 사용하여 분쇄하였다. PIM 시의 바인더로는 잔류탄소농도가 작고 융점이 낮은 파라핀 왁스를 사용하여 Brabender 믹서에서 80°C, 10분간 혼합하였다. 혼합원료는 20 MPa 압력으로 플런저형 사출성형기를 사용하여 85°C에서 자장세기를 변화시켜 사출하였다. 사출한 제품은 수소 및 Ar 분위기하에서 각각 600°C, 700°C, 800°C로 1°C/분 속도로 승온하여 바인더를 제거한후 1100°C에서 1 시간 동안 진공하에서 소결하여 자기적 특성을 측정하였다.

그림 1은 NdFeB 합금의 주조조직, 조분쇄, 수소 분쇄 및 유성밀에서의 미분쇄된 분말의 조직을 관찰한 결과이다. 주조조직은 Nd-rich 상(사진상 흰 부분)과 Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B(사진상 회색 부분)으로 이루어져 있으며 α-Fe는 존재하지 않았다. 사출성형에 사용된 미분쇄 분말은 약 5μm의 평균 입도를 갖고 있었다.

그림 2는 바인더의 열분해 온도를 결정하기 위해 원료 분말을 수소분쇄한후 상온 및 수소분위기하에서 600°C, 700°C, 800°C로 승온한 샘플의 XRD 결과이다. 수소처리한 경우, Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B 상은 수소를 흡수하여 Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>BH<sub>x</sub> 상으로 되고 Nd-rich 상은 NdH<sub>y</sub> 수화물이 됨을 알수 있다. 600°C에서 열분해한 경우 초기 원료 분말과 유사하며 일부 Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B 상분해에 의해 α-Fe 가 관찰되었다. 그러나 700°C에서 열분해한 경우에는 Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B 상이 수소를 흡수하여 α-Fe, NdH<sub>y</sub> 및 (Fe,Co)<sub>2</sub>B 상으로 분해되었다. 이러한 결과는 Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B 상의 열분해 온도가 650°C라고 보고된 다른 연구자들의 결과와 잘 일치하였다.

NdFeB 합금의 수소처리시 흡수된 수소는 열분해후에도 합금에 잔류한다. 진공중 소결시의 수소 방출 거동을 조사하여 그림 3에 나타내었다. NdFeB 합금의 흡수 피크는 NdH<sub>3</sub>에서 NdH<sub>2</sub>로 치환되고 최종적으로는 NdH<sub>2</sub>에서 Nd로 변화됨을 알수 있다.

이방성 소결 자석의 특성 향상을 위해서는 분말 배향도(DPA)가 중요하다. 그림 4에 PIM 법으로 제조된 NdFeB 자석의 배향도에 따른 잔류자속밀도(Br)와 최대자기에너지적((BH)<sub>max</sub>)를 측정된 결과를 나타내었다. NdFeB 자석은 8kOe 자장 사출시 최대 91 %의 배향도를 갖고 이때의 최대자기에너지적은 29.2 MGOe 이었다. 이는 통상의 방법으로 제조된 소결자석의 배향도인 95 %에 비해 낮은 값이다. 낮은 배향도는 바인더인 파라핀 왁스와 분말의 혼합물이 높은 점도를 갖고 또한 자장중 사출시 충전 및 응고가 급속도로 이루어지기 때문이다.

참고문헌

- 1) Harris, I. R., O. M. Ragg, G. Keegan, & H. Nagel, in Proc. Conf. "ISPM 95," Kor. Mag. Soc., p. 638 (1995).
- 2) Williams, A. J., P. J. McGuiness, & I. R. Harris, *J. Less-Common Met.*, **171**, 149 (1991).
- 3) Denes, P. A., *Ceram. Bull.*, **41**(8), 509 (1962).
- 4) Chin, T. S., M. P. Hung, D. S. Tsai, K. F. Wu, & W. C. Chang, *J. Appl. Phys.*, **64**(10) 5531 (1988).

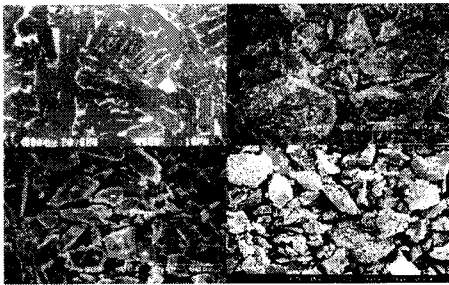


그림 1 Photos showing the morphology of the as-casted NdFeB alloy (a) and the powders pulverized by disk-milling (b), by hydrogen decrepitation (HD) (c), and by HD and ball-milling (d).

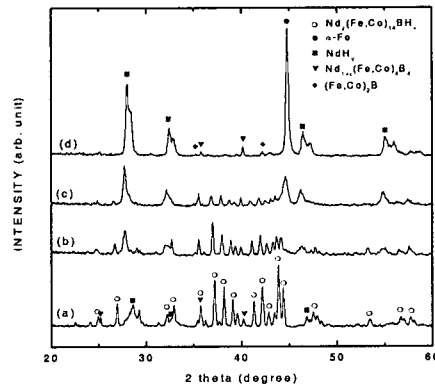


그림 2. XRD profiles showing a limit of heating for pyrolysing in hydrogen.

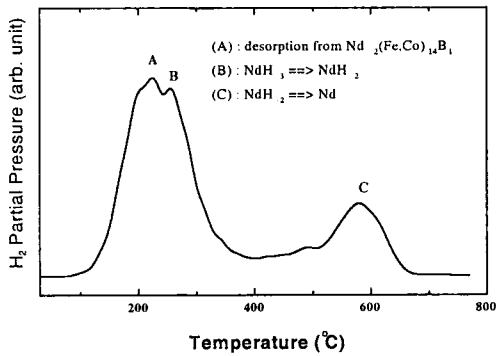


그림 3 Hydrogen desorption behavior during sintering in vacuum.

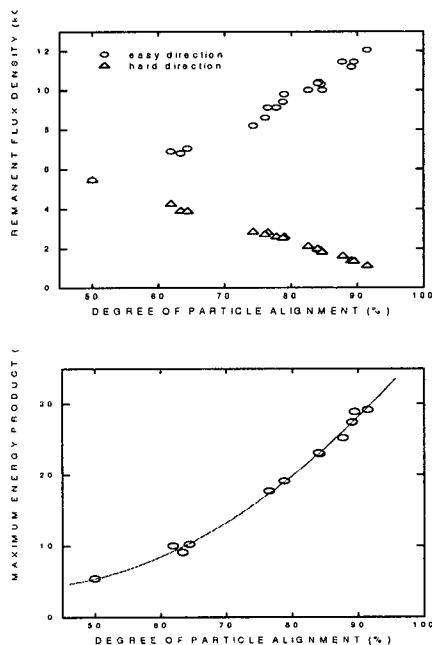


그림 4 Variation of (a) remanence(Br) and (b) maximum energy product (BHmax) with DPA.