

爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 永磁体

许建民 胡伯平 饶晓雷 刘贵川 董晓琳 刘英烈 王德文
高景兰 曹飞 王亦忠 宋琪 刘蕾 王震西

(中国科学院三环新材料研究开发公司, 北京 100080)

张登霞 蔡铭 李世海 李华 尹林

(中国科学院力学研究所, 北京 100080) (中国科学院物理研究所, 北京 100080)

关键词 稀土永磁材料、爆炸烧结

自从1990年初 Coey 和孙弘发现 $\text{R}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 化合物以来^[1,2], 人们对 $\text{R}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 的内禀磁性^[3-7]和永磁性^[8-11]进行了大量的研究。

$\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ ($y > 2$) 由于具有优良的内禀磁性(居里温度 749K 和室温各向异性场 14T 大幅度高于 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, 室温饱和磁化强度 1.5T), 故很有希望成为新型稀土永磁体。采用机械合金化方法已获得室温下内禀矫顽力为 3T 的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 氮化物^[8]。用锌粉做粘结剂的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 磁体在室温下可达 0.5T 以上的内禀矫顽力, 并且磁能积达 $80\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右^[9,10]。用环氧树脂做粘结剂制备的粘结磁体, 内禀矫顽力为 1.08T, 磁能积达 $72\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[11]。由于 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 在高温下易分解, 故不能采用传统粉末冶金工艺制备烧结磁体。为了克服这一困难, 我们将爆炸烧结技术用于 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 的永磁体制备。虽然爆炸烧结方法曾用于单金属烧结^[12]和铁氧体烧结^[13], 但将该方法用于稀土永磁体制备在国内外尚无报道。在本文中报道采用爆炸烧结工艺制备 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 永磁体的研究结果。

$\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ 合金由电弧炉熔炼, 所有元素的纯度均优于 99.5%。考虑到在熔炼过程中 Sm 的挥发损失, 在配料时 Sm 的余量为 15—40%。然后将合金在氩气保护下进行热处理, 温度为 950—1050℃, 时间为 5—10h。X 光衍射表明, 合金为 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 结构单相。 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ 的渗氮特性研究参见我们已发表的工作^[11]。采用常规磁测量测得的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 内禀磁性同早期文献中的一致^[2,5,11]。

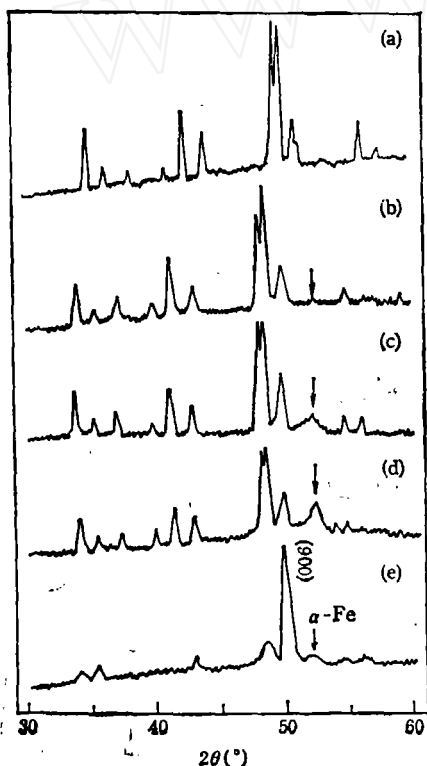


图1 X光衍射谱 (CoK α)

(a) $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ 合金, (b) $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 化合物,
(c) 球磨 6h 的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 粉末, (d) 爆炸烧结
 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 磁体粉末, (e) 垂直于烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$
磁体取向端面

1992-02-09 收稿, 1992-04-01 收修改稿

采用球磨工艺制备粒度小于 $3\mu\text{m}$ 的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁粉, 在约 1.5T 的外加磁场下取向压制成型, 然后爆炸烧结, 制成 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 永磁体。烧结磁体的密度为 $(6.0-7.4) \times 10^3\text{kg/m}^3$, 可达理论密度的 85% 以上。下面我们所讨论的样品的密度为 $6.5 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 。

图 1 给出了几种不同情况下的 X 射线衍射图。可以清楚地看到, 爆炸烧结前后并不改变 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 的结构(图 1(c) 和 (d)), 并且也不破坏预成型时的取向(图 1(e))。图 1(b) 是氮化后的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 化合物, 有微量的 $\alpha\text{-Fe}$ 相析出, 而在母合金中则几乎没有。当球磨 6h 后(图 1(c)), $\alpha\text{-Fe}$ 相进一步增加。而爆炸烧结后, 磁体中 $\alpha\text{-Fe}$ 相比爆炸烧结前的磁粉中 $\alpha\text{-Fe}$ 相又有增加(图 1(d))。

图 2 是用提拉样品法在 1.2T 外磁场下测量的磁化强度随温度的变化。从图中可以看到主相 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 的居里温度为 475°C , 在各种情况下均相同。这也说明, 爆炸烧结并不影响 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 的内禀磁性。曲线中的第二个台阶, 是 $\alpha\text{-Fe}$ 相, 台阶的高低表明 $\alpha\text{-Fe}$ 含量的多少, 这同 X 光衍射分析得到结论是一致的。

爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁体的退磁曲线如图 3(a) 所示, 剩余磁化强度 $B_r = 0.83\text{T}$, 内禀矫顽力 $\mu_0 i H_c = 0.57\text{T}$, 最大磁能积 $(BH)_{\text{max}} = 88\text{kJm}^{-3}$ 。同爆炸烧结前的磁粉取向粘结样品相比(图 3(b)), 烧结磁体的矩形度得到了一定的改善。这可能是由于爆炸烧结, 磁粉互相烧结相联而形成磁体, 使得它的磁畴结构与弥散粉末的磁畴结构相比发生了变化。从图 3 中

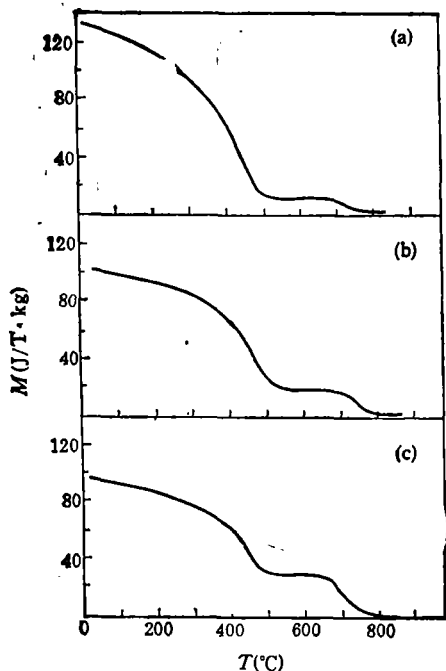


图2 磁化强度随温度的变化(外加磁场为 1.2T)
(a) $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 样品, (b) 球磨 6h 的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 粉末, (c) 爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁体

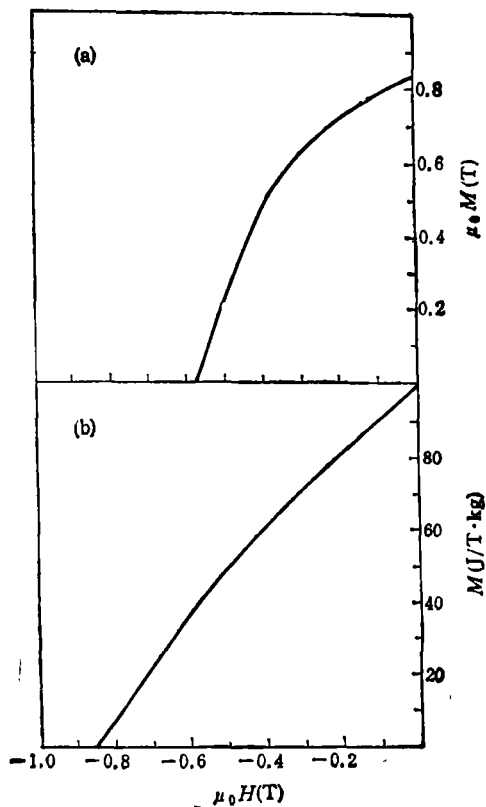


图3 退磁曲线
(a) 爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁体, (b) 球磨 6h $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 粘结样品

还可以看到,烧结磁体的矫顽力比爆炸烧结前降低了(从 0.86T 降至 0.58T),这说明爆炸过程改变了磁粉的微结构。 α -Fe 相的增加也有可能影响磁体的矫顽力。

爆炸烧结作为一种新工艺,使磁粉在激波高压($\sim 10^3$ MPa)作用下瞬间($< 10^{-6}$ s)成型,而不破坏 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$, 氮化物的结构和磁性,达到了常规高温烧结不能达到的目的。与粘结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$, 磁体相比^[11],爆炸烧结磁体改进了退磁曲线的矩形度,从而提高了磁能积。如果能够进一步提高磁体密度,也就是提高剩余磁化强度,进一步改善退磁线的矩形度,并保持足够的矫顽力($\mu_0 i H_c > 0.5\text{T}$),那么爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$, 磁体的磁能积还能进一步得到提高。譬如,设若 B_r 为 1T,则理论最大磁能积达 200kJm^{-3} 。考虑到 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$, 比 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的居里温度高和氮化物有较强的抗腐蚀特性,所以 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$, 烧结磁体可望在实际应用中占领一席之地。

参 考 文 献

- [1] Coey, J. M. D. and Sun Hong, *J. Magn. Magn. Mater.*, 87(1990), L251.
- [2] Sun Hong, Coey, J. M. D., Otani, Y. et al., *J. Phys. Condens. Matter*, 2(1990), 6465.
- [3] Hu Boping, Li Hongshuo, Sun Hong et al., *J. Phys. Condens. Matter*, 3(1991), 3983.
- [4] Buschow, K. H. J., Coehoorn, R., de Mooij, D. B. et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, 82(1990), L35.
- [5] Katter, M., Wecker, J., Schultz, L. et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, 92(1990), L14.
- [6] Ibberson, R. M., Moze, O., Jacobs, T. H. et al., *J. Phys.: Condens. Matter*, 3(1991), 1219.
- [7] Liu, J. P., Bakker, K. et al., *J. Less-common Metals*, 170(1991), 109.
- [8] Schnitzke, K., Schultz, L., Wecker, J. et al., *Appl. Phys. Lett.*, 57(1990), 2853
- [9] Otani, Y., Moukarika, A., Sun Hong, et al., *J. Appl. Phys.*, 69(1991), 6735.
- [10] Huang, M. Q., Zhang, L. Y., Ma, B. M. et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, 102(1991), 91.
- [11] 刘英烈、王德文、胡伯平等,科学通报, 36(1991), 24: 1850.
- [12] Flinn, J. E., Williamson, R. L., Berry, R. A. et al., *J. Appl. Phys.*, 64(1988), 1446.
- [13] Atroschenko, E. S., *Shock Waves for Industrial Applications* (Ed. Murr, L. E.), chap. 5. 53 (in Russian), 1988, 1462—1465.