

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]。

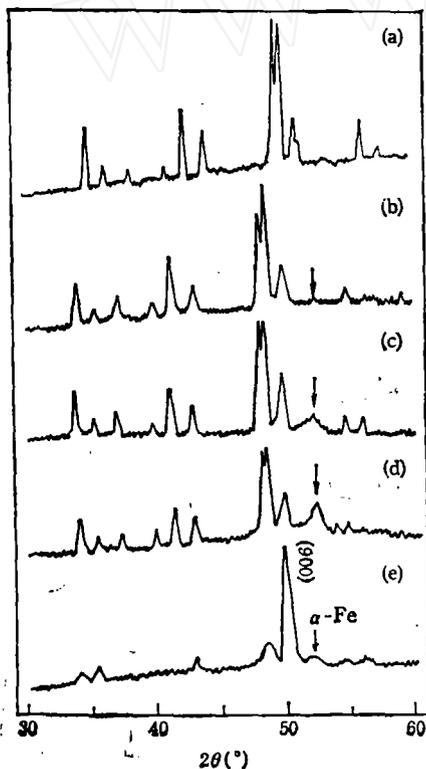


图1 X光衍射谱 (CoK α)

(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

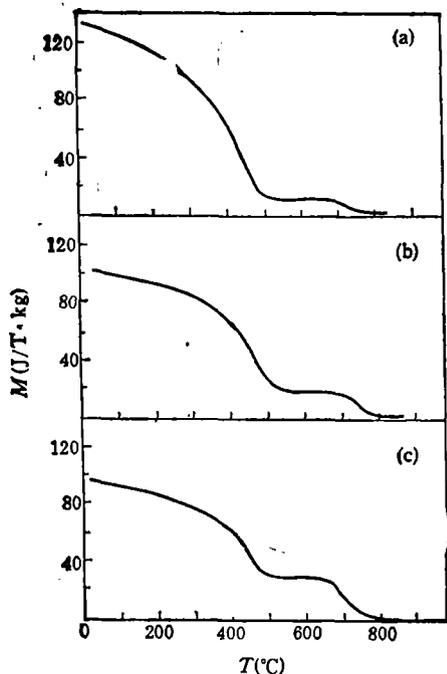


图2 磁化强度随温度的变化(外加磁场为 1.2T)
(a) $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 样品, (b) 球磨 6h 的 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 粉末, (c) 爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁体

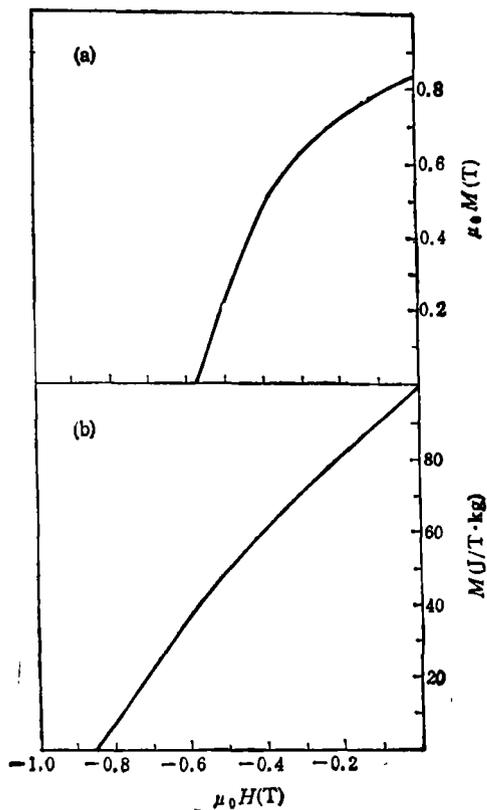


图3 退磁曲线
(a) 爆炸烧结 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 磁体, (b) 球磨 6h $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}$ 粘结样品

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.