

# 爆炸法制备 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ 永磁体\*

## $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$ Permanent Magnet Prepared by Explosive Consolidation

张登霞

蔡 铭

李世海

(中国科学院力学研究所,  
北京, 100080)

Zhang Dengxia

Cai Ming

Li Shihai

(Institute of Mechanics, Chinese Academy  
of Sciences, Beijing, 100080, China)

许建民 胡伯平

饶晓雷 刘贵川

董晓林 曹 飞

(中国科学院三环新材料开发  
公司, 北京, 100080)

Xu Jianmin Hu Boping

Rao Xiaolei Liu Guichuan

Dong Xiaolin Cao Fei

(San Huan Research Laboratory, Chinese  
Academy of Sciences, Beijing, 100080, China)

李 华

尹 林

(中国科学院物理研究所 磁学  
开发实验室, 北京, 100080)

Li Hua

Yin Lin

(Institute of Physics, Chinese Academy  
of Sciences, Beijing 100080, China)

**摘 要** 本文介绍了爆炸烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  永磁体的试验及其结果。试验时, 在外加磁场下把  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  磁粉取向压制成形后装入金属包套内并抽真空, 炸药装在包套外的纸筒内, 雷管引爆炸药后, 在爆轰压力作用下, 磁粉被压实而烧结成磁体。试验结束后, 取出磁体测量密度及磁性参数。烧结磁体密度在理论密度的 85%~96% 范围内, 磁能积大于  $88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ 。它表明, 爆炸烧结工艺是制备  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  永磁体的有效工艺。

**关键词** 爆炸烧结 永磁体

**ABSTRACT** The explosive consolidation technique for  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  magnetic powder has been investigated. The  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  Magnetic with an average size from 3 to 5- $\mu\text{m}$  has been prepared by ball milling and then pressed to be a cylinder in an applied field of about 1.5-T. The cylinder was packed into a container evacuated and the explosive was placed in a concentrically assembled cardboard tube. Detonation of the explosive from one end causes the pressure fronting to travel along the container to Cause the

prpgressoive radial compaction of the powder.

By proper selection of the explosive parameter, the magnets of  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  nitrides have been obtained. The density of magnets was over 85%~96% T · D · and the energy product  $[(BH)_{\text{max}}]$  of magnet was  $88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ . It Shows that the explosive consolidation technique is an effective mechod for making  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  magnets

**KEY WORDS** explosive consolidation, permanent magnet

### 1 前 言

$\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  具有优良的内禀磁性 (居里温度和室温各向异性场大幅度高于  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{17}\text{B}$ ) 和较强的抗腐蚀特性, 是一种新型稀土铁永磁材料。但由于  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$  在高温下易分解, 故不能采用传统粉末冶金工艺制备烧结型磁铁。

爆炸烧结可能成为制备烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_y$

\* 初稿收到日期: 1992-04-24

终稿收到日期: 1992-11-24

磁铁的有效工艺。这是因为在粉末材料和爆炸烧结过程中,粉末颗粒只发生宏观的微观变形而不产生整体移动和转动,粉末颗粒的高速变形产生的高温区只局限在颗粒边界附近的一个很窄的区域内,颗粒内部则处于相对低温状态。变形结束后,边界处的高温以热传导的方式向颗粒内部传播,其温度下降率可超过  $10^6$  K/s,所以爆炸烧结体能保持磁粉的固有特性和爆炸前预压成型的取向。

本试验的目的是探索用爆炸法制备烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  永磁体的可能性。

试验结果表明,激波通过磁粉后不破坏  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  氮化物的结构和磁性,也不破坏爆炸前预成型时的取向。与粘结型  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁体相比较,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,是一种制备烧结形  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  永磁体的有效工艺。

## 2 试验方法与装置

试验用的粉末是由电弧炉熔炼成  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$  合金后采用球磨工艺制备的  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁粉,粒度小于  $3\ \mu\text{m}$ 。

试验装置如图 1 所示,它是由包套、驱动管及上、下盖板构成。

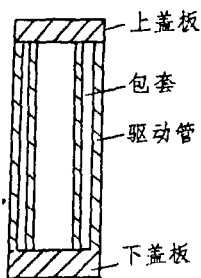


图 1 试验装置

Fig 1 Experiment set-up

试验用的炸药为 RW 混合炸药,炸药的爆轰速度为  $2000\sim 4000$  m/s 范围内。

试验时,在外加磁场下,把磁粉取向压制成型后装入包套并抽真空。粉状炸药装在围在包套外的纸筒内,雷管插在轴心处,雷管引

《功能材料》1993, 24 (4)

起炸药从一端起爆后,爆轰波沿包套轴向传播。与此同时,在爆轰压力作用下包套被压垮,磁粉被压实而烧结成有用的磁体。

试验结束后,移去包套,测量了烧结磁体的密度,借助 X 射线衍射仪测定了磁体的相组成,用提拉样品法在外磁场下测量了磁化强度随温度的变化规律,测量了爆炸烧结磁体的退磁曲线。

## 3 试验结果

图 2<sup>[1]</sup>给出爆炸烧结前后  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁粉的衍射图,图 2a 是爆炸前磁粉的衍射图,图 2b 是爆炸烧结后磁粉的 X 衍射图,图中箭头所指为  $\alpha\text{-Fe}$  相。

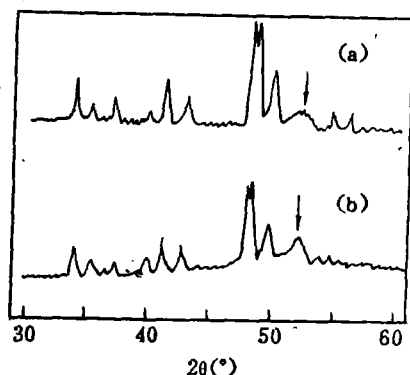


图 2  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁粉 X 光衍射谱

(a)  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  原粉

(b) 爆炸烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁体粉末

Fig 2 X-ray diffraction patterns of  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  nitride powder.

(a) original powder (b) magnet powder

图示曲线表明,激波通过磁粉后,磁粉中的  $\alpha\text{-Fe}$  相虽有增加,但就总体而言,爆炸烧结磁体能保持  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁粉的原始组织结构。

图 3a 是爆炸烧结前的曲线,图 3b 是爆炸烧结后的曲线。从图示曲线可以看到,在爆炸前后主相  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  的居里温度均为  $475\ ^\circ\text{C}$ 。这也说明,爆炸烧结并不影响  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$

$N_2$  的内禀磁性，曲线中第 2 个台阶对应  $\alpha$ -Fe 相，图中所示台阶的高度与  $\alpha$ -Fe 相含量成正比，它也表明，爆炸烧结磁体中  $\alpha$ -Fe 相的含量较未受激波作用的磁粉中  $\alpha$ -Fe 含量略有增加，这与 X 射线分析得到的结果是一致的。

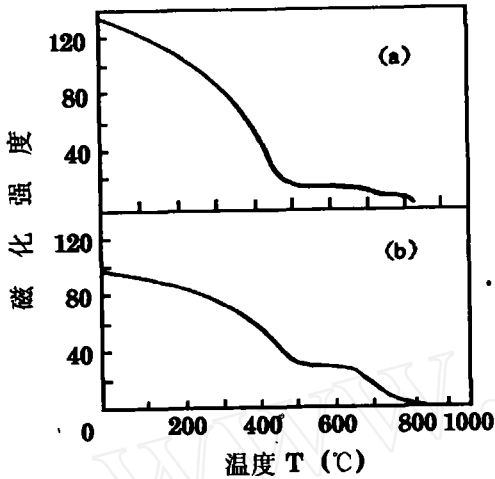


图 3 磁化强度温度的变化 (外加磁场 1.2 T)  
(a)  $Sm_2Fe_{17}N_7$  粉末 (b)  $Sm_2Fe_{17}N_7$  磁体  
Fig 3 Relationship between the magnetization and the temperature (in an applied field of 1.2 T).  
(a) original powder (b) magnetic body

图 4<sup>[1]</sup>是垂直于爆炸烧结  $Sm_2Fe_{17}N_7$  磁体取向端面的 X 射线衍射图，图示曲线表明，在爆炸烧结过程中没有破坏磁体预成型时磁粉的取向。

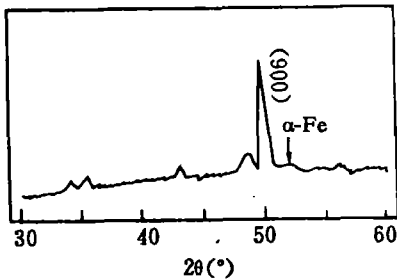


图 4  $Sm_2Fe_{17}N_7$  磁体的 X 射线衍射图  
Fig 4 X-ray diffraction pattern of magnet.

图 5a<sup>[1]</sup>是爆炸烧结  $Sm_2Fe_{17}N_7$  磁体的退磁曲线，同爆炸前的磁粉取向粘结样品的退磁曲线 (图 5b) 相比较，爆炸烧结磁体退磁曲

线的矩形度得到了一定程度的改善，但矫顽力略有降低。

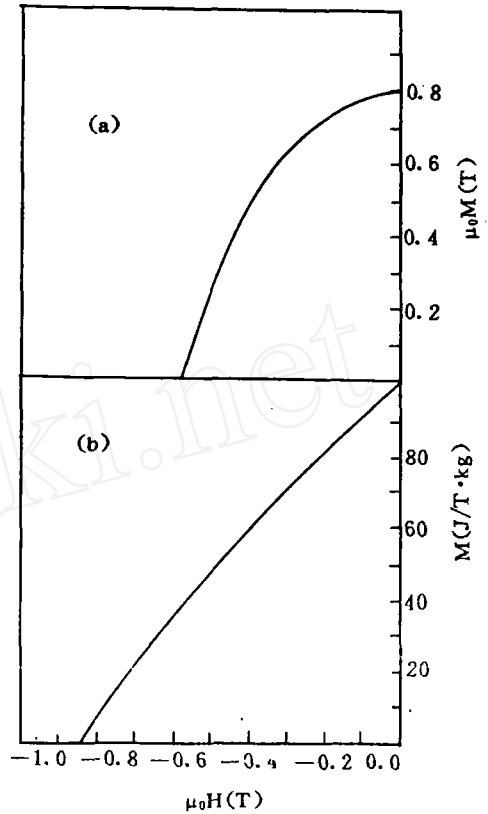


图 5 退磁曲线  
(a) 爆炸烧结磁体 (b) 粘结磁体样品  
Fig 5 Demagnetization curve of  $Sm_2Fe_{17}N_7$  magnet.  
(a) magnet by explosive consolidation  
(b) wax bonded magnet

## 4 讨 论

一些研究结果 [2~4] 表明，粉末材料的爆炸烧结过程实质上是粉末颗粒之间的碰撞后，法向速度在碰撞点处产生碰撞高压，碰撞高压以激波的形式向颗粒内部传播，其结果使颗粒内部产生位错和孪晶等微观缺陷。切向速度使粉末颗粒发生高速剪切变形，文献 [5] 证明过，对于很多种金属材料，激波绝热压缩产生的热引起的温升不超过 200 °C，

(下转 351 页)

效果, 欧姆电导和 SCL 运动 2 种衰减机制具有主要意义, 外部衰减由于环境中离子密度一般远小于表面带电密度<sup>[6]</sup>, 且逸出几率更小, 所以不占主要地位。对防静电地板的实测研究将在后文中讨论, 这里不作叙述。

**致谢** 本项工作得到了金华电子材料厂、常州新型建筑材料厂的支持, 特致谢意。

### 参 考 文 献

- 1 Clark D T, Feasted W J. *Polymer Surfaces*, New York, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons Chichester, 1978.
- 2 Schaefer V J. *Electrostatics and its Applications*. New York, London, Sydney, Toronto, John Wiley & Sons, 1973.
- 3 陈季丹等. 电介质物理学. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- 4 Pillai P K, et al. *J of Electrostatics*, 1984, 16: 79

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

(上接 332 页)  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  的结构没有被破坏。高速剪切变形是绝热的, 绝热剪切变形产生的, 该区域内的温度沿颗粒边界分布均匀, 并且随颗粒碰撞速度增加而增加, 碰撞速度足够高时, 沿颗粒界面的温度可以超过该材料的熔化温度。因此, 在爆炸载荷作用下, 粉末材料既能被压密, 也能达到颗粒间的焊接结合。虽然沿颗粒分界面温度已超过  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  氮化物的分解温度, 但由于高温区很薄, 变形结束后, 该区内温度下降率超过  $10^6 \text{ K/s}$ , 所以温度的持续时间只有微秒的数量级, 估计在这么短的时间内  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  氮化物可能来不及分解。所以就总体而言, 爆炸烧结不会改变  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  氮化物的结构和磁性, 粉末颗粒高速倾斜碰撞时还可以形成射流, 射流不能自由逸出, 它们被捕获后堆积在粉末颗粒的间隙内, 堆积物的尺度随碰撞速度增加而增加, 试验和计算已证明, 射流堆积区的面积较大, 高温持续时间较长, 所以在

- 5 何曼君等. 高分子物理. 上海: 复旦大学出版社, 1983.
- 6 Wintle H J. *J of Applied Physics*, 1970, 41: 4004



**吴宗汉** 男, 江苏人, 1939 年 11 月 2 日出生。1961 年 7 月毕业于南京工学院 (现东南大学) 应用物理专业。现为东南大学物理系副教授。1981 年 12 月~1983 年 12 月作为访问学者赴日本东京工业大学留学 2 年; 1986 年 8 月应邀去日本东京工业大学作客座研究员 1 个月; 1987 年 6~8 月应邀去法国 Poitiers 大学作客座教授 2 个月; 1990 年 1~4 月应邀去日本上智大学作客座教授 3 个月。从事 L-B 膜、驻极体 (Electrets) 和静电等方面的研究工作。在国内、外有关刊物上发表文章多篇。江苏省物理学会常务理事、江苏省静电专业委员会副主任委员、《传感技术学报》编委、编辑部主任, 美国 AAPT 会员。

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

该区域内  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  氮化物可能被分解而产生  $\alpha\text{-Fe}$  相。这就是  $\alpha\text{-Fe}$  产生的原因。

## 5 结 论

我们进行爆炸烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁体的试验只是初步的, 从这些试验可以得到以下结论:

- 5.1 爆炸烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁体不破坏磁粉的内禀特性。
- 5.2 爆炸烧结  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_7$  磁体密度还可以进一步的提高。

### 参 考 文 献

- 1 许建民, 张登震, 李华等. 科学通报, 1992 (16): 1460~1462
- 2 张登震. 材料科学与工程, 1989 (4): 25~30
- 3 Flinn J E, Williamson ER L, et al, JAP, 1988, 64 (3): 1446~1456
- 4 高举贤等. 金属学报, 1991, 4 (2): 121~126
- 5 张登震等. 爆炸与冲击, 1983, 3 (3): 37~46