

不同快淬速度对 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 磁性的影响*

阴津华 计齐根 金志强 唐少龙 章建荣 都有为

(南京大学物理系, 南京 210093)

(1999 年 6 月 10 日收到; 1999 年 8 月 12 日收到修改稿)

通过直接快淬制备了不同淬速的 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 样品. 由振动样品磁强计测量的结果发现, 快淬速度对样品的磁性有很大的影响. 对样品进行 X 射线衍射和热磁分析发现, 随着淬速的增加样品中的 TbCu_7 相增多, 同时软磁相的晶粒尺寸降低, 认为样品的相组成和晶粒尺寸的变化是其磁性存在差异的原因.

PACC: 7550B; 7560G

1 引 言

自从 1988 年 Coehoorn 等^[1]发现纳米复合稀土永磁材料以来, 人们对这种材料进行了广泛的研究^[2-4]. 这种材料不仅具有较高的矫顽力和高的剩磁, 而且稀土含量也比单相稀土永磁材料低, 因此具有很好的应用前景. 目前对这种材料的研究已不仅局限于它的永磁性能, 人们还对纳米复合稀土永磁材料多层膜的磁电阻进行了研究^[5], 另外, 还有文献^[6, 7]报道, 交换耦合纳米复合磁体中永磁相的居里温度由于交换耦合而升高. 尽管直接快淬有可能得到一些亚稳相, 而且很难细致地控制晶粒的大小, 但由于使用这种方法可以简化样品的制备过程, 而且使得样品中稀土的含量尽可能地与配比一致, 在制备过程中不至于损失过多的稀土元素, 这对于工业生产也是一种提高效率的手段.

2 实 验

我们用高频感应的方法在氩气保护下制备了 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 合金. 合金重熔后在氩气氮中经不同轮速快淬成为薄带, 快淬速度分别为 15, 20, 27 和 35 m/s, 样品分别命名为 M_0 , M_1 , M_2 和 M_3 . 为了研究直接快淬对两相交换耦合磁体磁性的影响, 我们用 X 射线衍射(XRD)和振动样品磁强计(VSM)对样品的相组成和磁特性做了测量. 用热磁分析(TMA)来测量 M_0 , M_1 , M_2 和 M_3 的磁性相以及它们的居里温度. 升温速度为 20 °C/min, 测量的温度范围在 25—400 °C, 测量时所加的外磁场为 1.03×10^5 A/m.

* 国家攀登计划(纳米材料科学)(批准号: NMS-07)资助的课题.

3 结果及讨论

图 1 为以不同淬速制备的 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 薄带的 XRD 谱. 由图 1 可见, 样品主要由 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 两相构成, 随着快淬速度的增加, 样品的非晶化程度也相应提高. 与此同时, $\alpha\text{-Fe}$ 的晶粒尺寸也随之减小, 根据 Scherrer 公式, 我们得到 $\alpha\text{-Fe}$ 的晶粒尺寸从 30 nm 降为 12 nm, 这个尺寸比 Kneller 和 Hawig^[8] 理论预言的最佳晶粒尺寸(10 nm)要大.

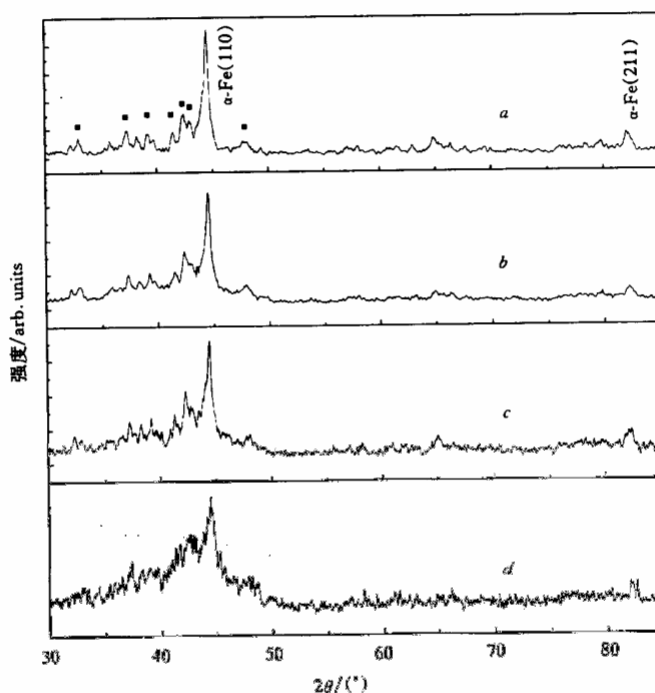


图 1 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 快淬薄带的 XRD 谱. 快淬速度: 曲线 *a* 为 15 m/s, 曲线 *b* 为 20 m/s, 曲线 *c* 为 27 m/s, 曲线 *d* 为 35 m/s. ■ 为 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的特征峰

如图 2 所示, 四个样品都含有至少三个磁性相, 除了在 310 °C 左右的转折点对应于 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的居里温度之外, 还有在 170 °C 左右的转折点, 我们认为这个转折点对应于 TbCu_7 相(居里温度为 170 °C)^[9], 这个相是一个软磁相. 由于 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相的 X 射线衍射谱的峰位与 TbCu_7 相的峰位很接近, 因此从宽化的 X 射线衍射谱中难以鉴别出 TbCu_7 相的存在. 由图 2 可见, 随着淬速的增加, 这个软磁相也在增加. 在 400 °C 时, 磁化强度仍然没有降到零, 这是因为样品中含有居里温度为 770 °C 的 $\alpha\text{-Fe}$. 图 3 是这四个样品的磁滞回线, 淬速为 35 m/s 薄带的磁滞回线(见图 3 曲线 *d*)具有典型的软磁特征, 这是由于薄带中含有大量的 TbCu_7 相, 使得 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的相对含量较低, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 和 $\alpha\text{-Fe}$ 基本上嵌在 TbCu_7 相的基体中, 因此样品表现出软磁的特征. 图 3 曲线 *c* 是淬速为 27 m/s 薄带的磁滞回线, 它的剩磁和矫顽力与淬速为 35 m/s 的薄带相比均有增加, 这主要是淬速为

27 m/s 的薄带中 TbCu_7 相的含量比淬速为 35 m/s 的薄带中的 TbCu_7 相的含量低的缘故. 样品中的 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 和软磁相已经有部分耦合, 但由于 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相的含量仍然偏低,

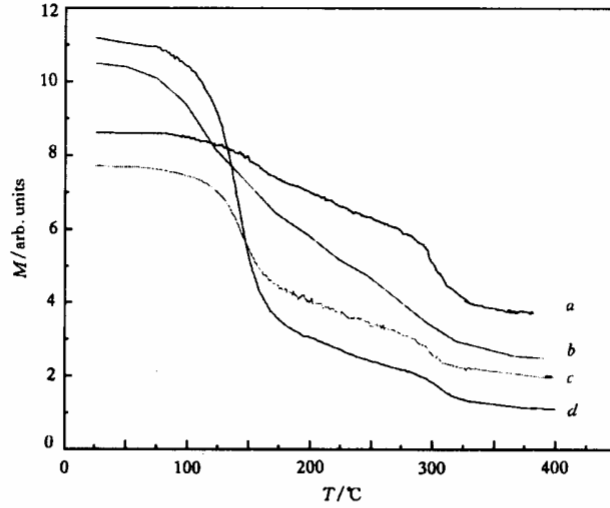


图2 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 快淬薄带的 TMA 快淬速度: 曲线 *a* 为 15 m/s, 曲线 *b* 为 20 m/s, 曲线 *c* 为 27 m/s, 曲线 *d* 为 35 m/s

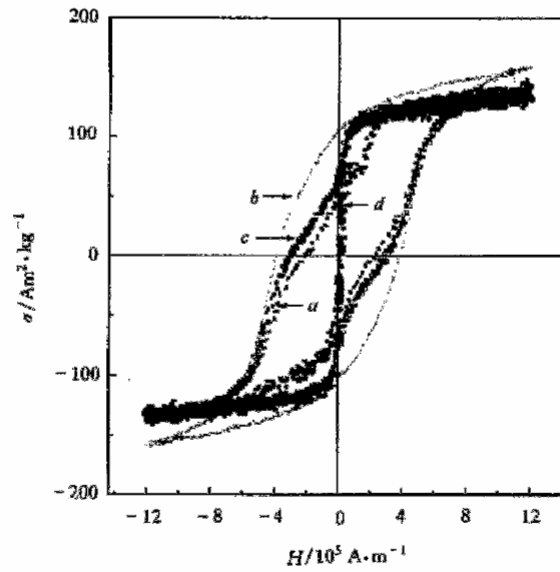


图3 $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ 快淬薄带的磁滞回线 快淬速度: 曲线 *a* 为 15 m/s, 曲线 *b* 为 20 m/s, 曲线 *c* 为 27 m/s, 曲线 *d* 为 35 m/s

因此软磁相并没有完全与 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 耦合, 这样在样品磁滞回线的零磁场附近就出现了不连续的磁化反转. 淬速为 20 m/s 的薄带在四个样品中拥有最大的矫顽力和最高的剩磁 (见图 3 曲线 *b*), 矫顽力和剩磁比分别为 $3.8 \times 10^5 \text{ A/m}$ 和 0.66. 它的磁滞回线表现为单

相永磁的特征,这是由于硬磁相和软磁相之间存在着强的交换耦合的结果.这个样品中的 TbCu_7 相与前两个样品相比已经很少了,它含有充足的硬磁相,使得软磁相基本上完全与之耦合.淬速为 15 m/s 薄带的磁滞回线(见图 3 曲线 a)虽然与淬速为 27 m/s 薄带的磁滞回线具有同样的形状,但它们的机理是完全不同的,前者是因为样品中 $\alpha\text{-Fe}$ 的晶粒尺寸偏大,从而使得软磁相不能完全与硬磁相耦合.

4 结 论

随着淬速的提高,样品中的 TbCu_7 相增加,晶粒尺寸降低.淬速过高时,样品中的硬磁相含量过低,软磁相不能完全与硬磁相耦合,使得矫顽力降低;淬速过低时,样品中的软磁相晶粒尺寸偏大,软磁相同样不能完全与硬磁相耦合.只有在合适的淬速下制备的样品才具有最佳的磁性.

- [1] R. Coehoom *et al.*, *J. de Phys.*, **49**(1988), C8-669.
- [2] A. Manaf, R. A. Buckley, H. A. Davies, *J. Magn. Magn. Mater.*, **128**(1993), 302.
- [3] S. Hirokawa, H. Kanekiyo, M. Uehara, *J. Appl. Phys.*, **73**(1993), 6488.
- [4] L. Withanawasam, G. C. Hadjipanayis, R. F. Krause, *J. Appl. Phys.*, **75**(1994), 6646.
- [5] K. Mibu *et al.*, *Phys. Rev.*, **B58**(1998), 6442.
- [6] L. H. Lewis *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, **175**(1997), 275.
- [7] 王亦忠、胡季帆、张绍英等, *物理学报*, **48**(1999), 520 [Y. Z. Wang, J. F. Hu, S. Y. Zhang *et al.*, *Acta Physica Sinica*, **48**(1999), 520(in Chinese)].
- [8] E. F. Kneller, R. Hawig, *IEEE Trans. Magn.*, **27**(1991), 3588.
- [9] A. M. Gabay, A. G. Popov, Y. V. Belozertov *et al.*, *J. Alloys. Comp.*, **237**(1996), 101.

EFFECT OF DIFFERENT WHEEL SPEED ON MAGNETIC PROPERTIES OF $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ *

YIN JIN-HUA JI QI-GEN JIN ZHI-QIANG TANG SHAO-LONG ZHANG JIAN-RONG DU YOU-WEI

(*Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093*)

(Received 10 June 1999; revised manuscript received 12 August 1999)

ABSTRACT

The melt-spun ribbons of $\text{Nd}_8\text{Fe}_{85}\text{Mo}_1\text{B}_6$ have been prepared by directly rapid quenching at different wheel speeds. From the result of vibrating sample magnetometer measurement, we found that the magnetic properties of the ribbons are dependent on the wheel speed. X-ray diffraction and thermomagnetic analysis were also used to investigate microstructure and phase composition of the samples. The result shows that the TbCu_7 phase increases with increasing wheel speed; at the same time, a decreased grain size of the α -Fe phase is observed. The change of magnetic properties is due to the change of phase composition and grain size of the samples.

PACC: 7550B; 7560G

* Project supported by the National "Climbing" Program for Nano-Material Science of China(Grant No.NMS-07).