

新型的不含钴的高性能烧结永磁体

张黎东 李霖 呼琴 周寿增

精密合金教研室

摘 要

本文测量了 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ 烧结永磁体的室温各向异性场 $H_A = 85\text{KOe}$ ，磁晶各向异性常数 $K = 4.2 \times 10^7 \text{erg/cm}^3$ ，磁体的磁能积已达到 37MGOe 。研究了各种工艺因素，诸如烧结温度，回火温度与时间等对烧结磁体性能的影响。

引 言

Sm-Co永磁体含有40~70wt%Co和20~40wt%Sm。钴是战略物资，钐在稀土矿中储量较少，只有1~4%。Sm-Co永磁体的价格昂贵，限制了它的推广应用。自70年代末起，永磁工作者致力于寻找不含钴和钐的稀土永磁体⁽¹⁾⁽²⁾。1981年用急冷法制取的Fe-Pr-B薄带永磁体，矫顽力达到~20KOe⁽²⁾，1982年其磁能积达到8.5MGOe⁽²⁾。1983年用快淬然后回火处理的办法使 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8\text{Si}_3$ 的薄带状永磁体的矫顽力达到~15KOe，磁能积达到13MGOe。⁽³⁾⁽⁴⁾同一年用粉末冶金法制取的 $\text{Fe}_{77}\text{Nd}_{15}\text{B}_8$ 大块永磁体，磁能积达到36MGOe。我们用粉末冶金的方法制造的Fe-Pr-B永磁体，磁能积达到37MGOe。钐在稀土矿中的贮量虽然比Nd少，但比Sm要多，相当于Sm贮量的3~5倍。目前生产的钐除了用做钐黄（氧化物）外，还用来制造Pr-Co永磁体。Fe-Pr-B永磁体，不仅磁能积比 PrCo_5 或 $\text{Sm}_{0.5}\text{Pr}_{0.5}\text{Co}_5$ 高，而且不含钴。用Fe-Pr-B永磁体取代 PrCo_5 永磁体，可大量节约金属钴。发展Fe-Pr-B永磁体是很有意义的。本文研究了 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ 烧结永磁体的磁性 with 工艺因素，诸如烧结、回火处理等对性能的影响。

实 验 方 法

用粉末冶金法制造样品。原材料Fe、Pr、B为商品纯，用真空炉熔炼。钢锭粗破碎后球磨至2~5 μm ，在~18KOe磁场下取向，用橡皮模准等静压成型，压力约4~7吨/cm²。坯于1010~1100℃下烧结，于350~700℃回火处理。起始磁化曲线和退磁曲线分别用提拉法（超导磁场70KOe）和CL-6磁性测量仪测量。用X射线衍射仪作相分析，用扫描电镜作半定量的相成分分析。

实验结果与讨论

成分为 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ 的永磁体经制粉压型烧结后，磁性能可达到 $Br = 12.9\text{KGs}$, $mH_c = 11.7\text{KOe}$, $(BH)_m = 37\text{MGoe}$ 。在室温下测得的 $\parallel C$ 和 $\perp C$ 轴的起始磁化曲线如图1。作出高场下的 $M \sim \frac{1}{H}$ 曲线，外推到 $\frac{1}{H} = 0$ 而得 M_s 为 1040Gs 。由 $\parallel C$ 和 $\perp C$ 轴初始磁化曲线的交点得各向异性场为 $H_A = 80\text{KOe}$ ，各向异性常数 K_1 约 $4.16 \times 10^7 \text{erg/cm}^3$ 。此值略高于 Fe-Nd-B 烧结永磁体的 K_1 值^[5]。图2所示的 $M_s \sim T$ 曲线是在 16KOe 测得的。根据 $M^2 \sim T$ 规律确定的居里温度为 322°C 。

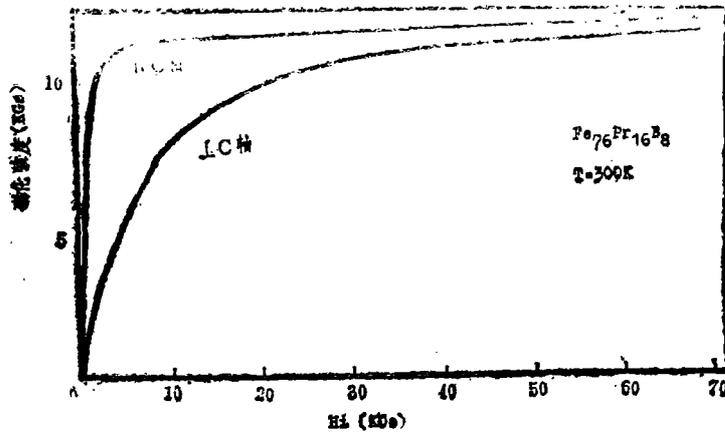


图1 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ 永磁体的 $\parallel C$ 和 $\perp C$ 的初始磁化曲线

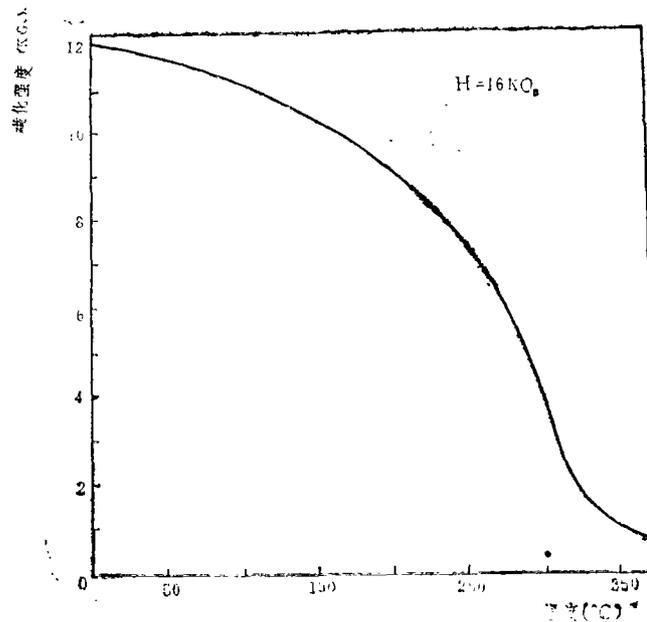


图2 烧结 $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ 磁体的 $M_s \sim T$ 曲线 (16KOe)

烧结温度，回火温度和580℃时回火时间对磁体性能的影响分别见图3、图4及图5。可见在1050~1070℃间烧结可得到较好的性能。烧结温度高于1080℃磁性能恶化。在580℃回火处理过程中，Br几乎没有变化，mHc和(BH)_m值随回火时间的变化是不同步的。在120分钟，矫顽力mHc出现最大值。而磁能积在20~30分钟左右达到最高值。回火时间长于40分钟后(BH)_m的降低与退磁曲线的凸度下降有关。继续延长回火时间，则退磁曲线出现小的曲折。

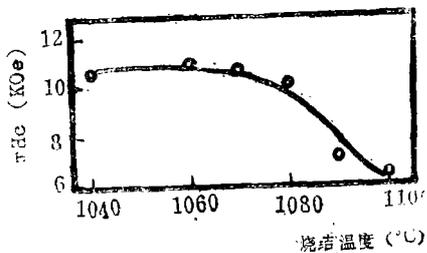
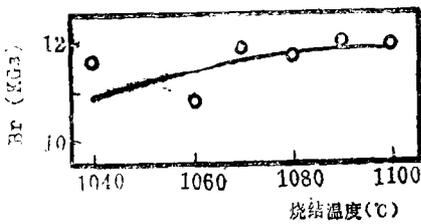
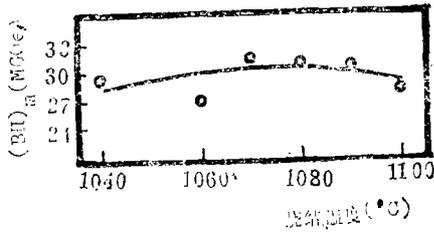


图3 烧结温度对Fe₇₆Pr₁₆B₈磁体性能的影响

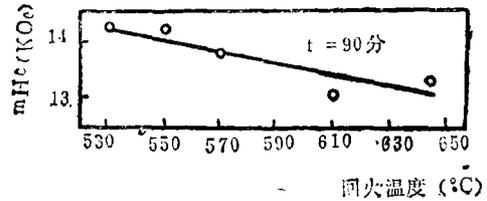


图4 回火温度对Fe₇₆Pr₁₆B₈性能的影响

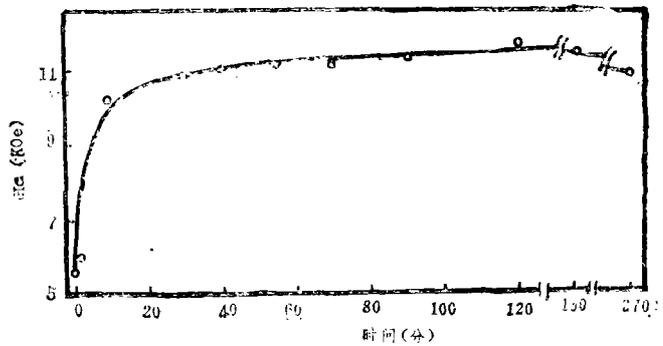
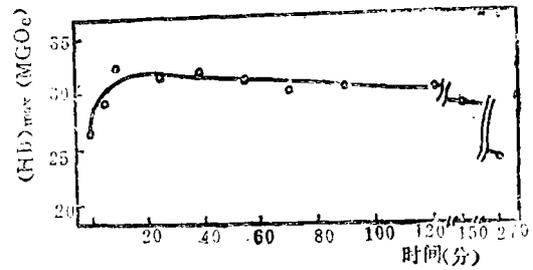


图5 580℃回火时间(τ)对Fe₇₆Pr₁₆B₈烧结磁体性能的影响。

在Fe_{84-y}Pr₁₆B_y系中，B的含量y对四方相的形成有决定性的作用。当y = 0时，合金主要是Th₂Zn₁₇型结构(空间群R $\bar{3}m$)⁽⁶⁾⁽⁷⁾的PrFe₇相。当y = 8时，合金转变为四方相，见图6。

起始磁化曲线的特征表明合金的磁化与反磁化过程似乎是由磁畴的形核与长大来决定的。矫顽力主要决定于反磁化畴的形核与长大场。

图7是磁能积为33MGoe和23MGoe磁体的金相显微组织。在两种情况下都是多相的。黑色相大部分沿晶界分布。基本有两种颜色不同的晶粒。一种是白色的，另一种是灰色的。图8(a)中的A和B相区的能谱分析结果分别示图8(b)和(d)。说明合金的基体相是四方相，沿晶界分布的黑色相是富Pr相。对比图7(a)和(b)表明，富Pr相的数量，大

小与分布对磁体的性能有较大影响。

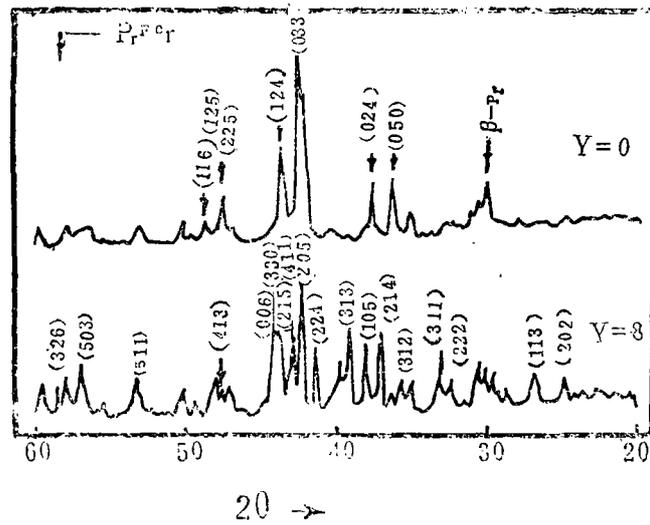
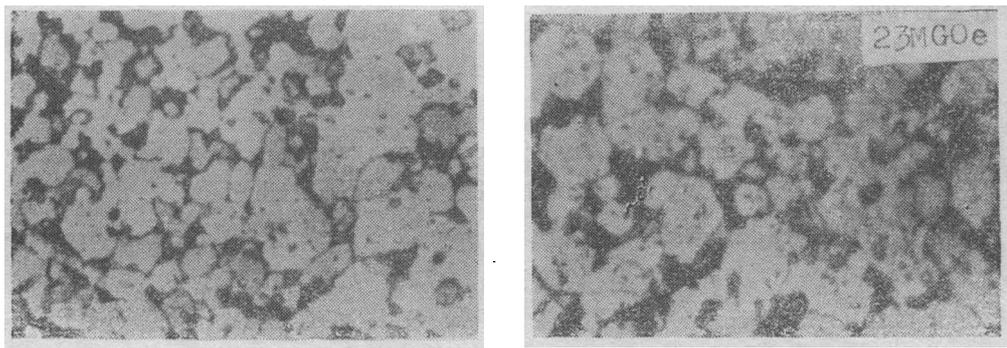


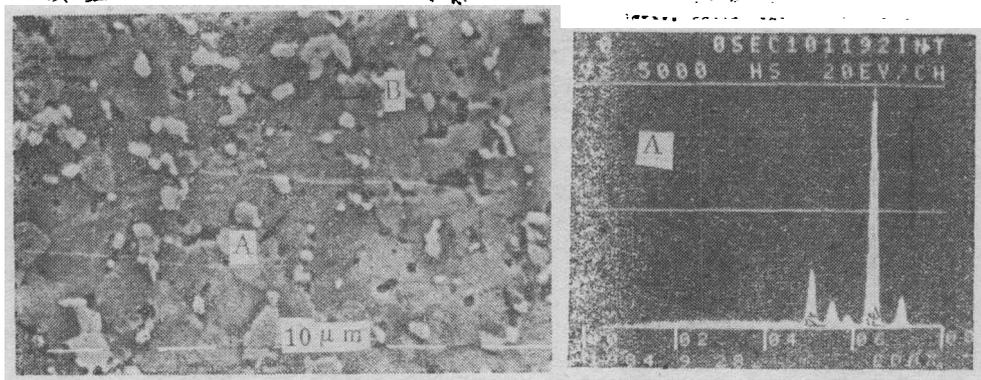
图6 $Fe_{84-y}Pr_{16}B_y$ 系的X射线衍射分析的结果 ($y=0$ 及 $y=8$)



(a)

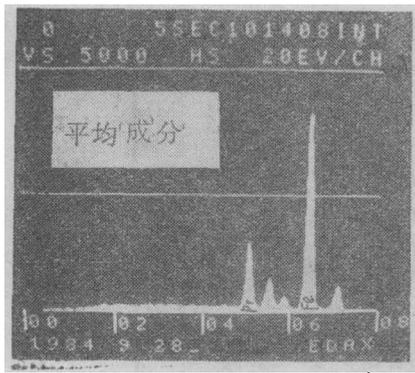
(b)

图7 磁能积 $(BH)_m$ 为33MGOe (a) 和23MGOe (b) 的金相显微组织

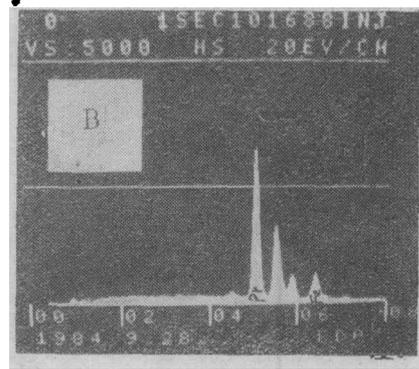


(a)

(b)



(c)



(d)

图8 FePrB磁体的扫描电镜照片及能谱分析结果

本文作者得到精密合金教研室许多同志的帮助与支持，得到中国科学院物理研究所的攀世勇，李静元同志作提拉法测试的帮助，同时也得到了北京冶金研究所张士杰同志熔炼母合金的帮助，特表示感谢。

参 考 文 献

- [1] G.C.Hadjipanyis et al., "magnetic hysteresis in rapid quenched RE alloys" JMMM, to be published
- [2] H.H.Stadelmaier, N.A.Elmasry & S.Cheng, Materials Letters 2 (1983) 169-172.
- [3] G.C.Hadjipanyis, K.R.Lawless & R.C.Hazelton, J.Appl.Phys.55, 2073-2077 (1984).
- [4] G.C.Hadjipanyis, R.C.Hazelton & K.R.Lawless, J.Appl.Phys. Lett.43, 797 (1983).
- [5] M.Sagawa et al., J.Appl.Phys.55, 2083-2087 (1984).
- [6] A.E.Ray, Acta cryst. 21 (1966), 426.
- [7] A.E.Ray, Acta cryst.B24 (1968), 274.

A NEW TYPE OF HIGH PERFORMANCE COBALT FREE PERMANENT MAGNETS

Zhang Li dong, Li Lin Hu, Qin Zhou, Shou zeng

Abstract

Room temperature anisotropy field of 85Koe and magneto-crystalline anisotropy constant of $4.2 \times 10^7 \text{erg/cm}^3$ for sintered $\text{Fe}_{76}\text{Pr}_{16}\text{B}_8$ bulk permanent magnets were measured. The energy product of the sintered magnet is up to 37MGOe. The influences of process factors such as sintering temperature and annealing temperature and time etc. on magnetic properties were studied.