

05.2;12

Определение константы одноосной магнитной анизотропии микрочастиц порошковых постоянных магнитов методом мессбауэровской спектроскопии

© Ш.М. Алиев, И.К. Камилов, Ш.О. Шахшаев, А.А. Абдуллаев

Институт физики Дагестанского научного центра РАН, Махачкала
E-mail: kamilov@datacom.ru

Поступило в Редакцию 15 мая 2003 г.

Предложен и экспериментально проверен метод определения константы одноосной магнитной анизотропии микрочастиц порошковых постоянных магнитов, основанный на мессбауэровской спектроскопии.

Технология изготовления анизотропных порошковых постоянных магнитов включает в себя ориентирование однодоменных одноосных частиц магнитотвердого материала в магнитном поле с последующим прессованием их в ориентированном состоянии [1]. В результате возникает аксиальная магнитная текстура, степень совершенства которой характеризуют углом рассеяния текстуры θ_t или относительной остаточной намагниченностью магнита $\frac{M_r}{M_s}$ (M_r и M_s — остаточная намагниченность и намагниченность насыщения магнита соответственно). В [2] нами был предложен мессбауэровский метод определения θ_t и $\frac{M_r}{M_s}$. Опираясь на выводы этой работы, ниже предлагается способ определения константы одноосной магнитной анизотропии K микрочастиц порошковых постоянных магнитов, от величины которой зависит коэрцитивная сила и удельная энергия постоянного магнита [1].

Внутренняя энергия единицы объема постоянного магнита во внешнем магнитном поле H равна [1]:

$$E_U = \frac{1}{2}HM - \frac{1}{2}NM^2, \quad (1)$$

где M и N — намагниченность и размагничивающий фактор образца магнита соответственно. Повороту векторов намагниченности

микрочастиц от осей легкого намагничивания под действием поля H препятствует энергия магнитной анизотропии [1]:

$$E_A = K \sin^2 \varphi, \quad (2)$$

где φ — некоторый средний угол отклонения векторов намагниченности микрочастиц от осей легкого намагничивания во внешнем магнитном поле H . Из баланса энергий E_U и E_A имеем:

$$K = \frac{HM - NM^2}{2 \sin^2 \varphi}. \quad (3)$$

Далее воспользуемся выводами работы [2], где было получено уравнение

$$\cos^3 \theta_t + \frac{9k - 12}{3k + 4} \cos \theta_t + \frac{8 - 12k}{3k + 4} = 0, \quad (4)$$

из которого можно найти угол рассеяния магнитной структуры θ_t по параметру k , определяемому как отношение площадей второй к первой или пятой к шестой линий мессбауэровского спектра ядер ^{57}Fe ($k = S_{2.5}/S_{1.6}$). При этом образец для мессбауэровских исследований представляет собой тонкую пластинку,¹ вырезанную из магнита по плоскости, перпендикулярной оси текстуры. По углу θ_t можно определить относительную остаточную намагниченность магнита [2]:

$$\frac{M_r}{M_s} = \frac{1 + \cos \theta_t}{2}. \quad (5)$$

Для дальнейших рассуждений образец из текстурированного магнита формально представим как монокристаллическую пластинку, вектор намагниченности которой M_s составляет угол $\varphi_0 = \arccos(M_r/M_s)$ с нормалью к плоскости образца (рис. 1, *a*). Такое приближение позволяет свести углы θ_t между осью текстуры и осями легкого намагничивания микрочастиц к некоторому среднему углу φ_0 , что упрощает решение задачи.

¹ Размагничивающий фактор для тонкой пластинки $N = 1$ [1].

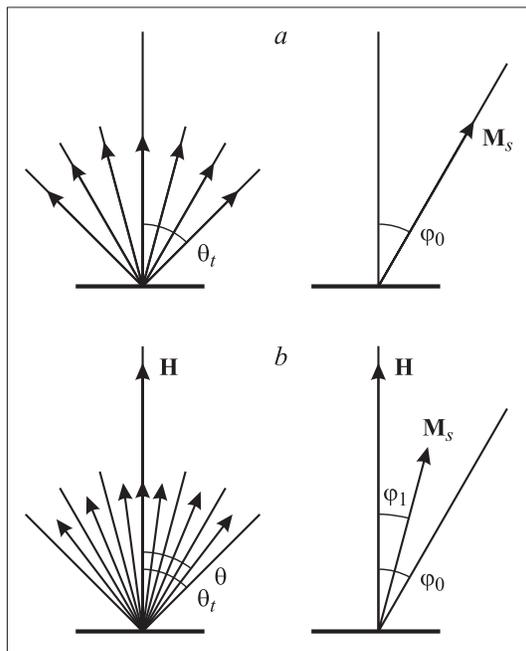


Рис. 1. Распределение направлений векторов намагниченности микрочастиц относительно оси текстуры в порошковом постоянном магните: *a* — в состоянии остаточной намагниченности (размагничивающее поле образца принято равным нулю); *b* — в намагничивающем поле H , приложенном по оси текстуры. Справа изображены аналогичные картины для монокристаллического образца, ось легкого намагничивания которого составляет угол φ_0 с нормалью к плоскости образца.

Точно также для относительной намагниченности магнита в поле H , приложенном на оси текстуры (рис. 1, *b*), можно записать:

$$\frac{M}{M_s} = \frac{1 + \cos \theta}{2} = \cos \varphi_1. \quad (6)$$

Из (3), используя выражения (5), (6) и учитывая $\varphi = \varphi_0 - \varphi_1$ (рис. 1), получим

$$K = \frac{M_s \cos \varphi_1 (H - M_s \cos \varphi_1)}{2 \sin^2(\varphi_0 - \varphi_1)}. \quad (7)$$

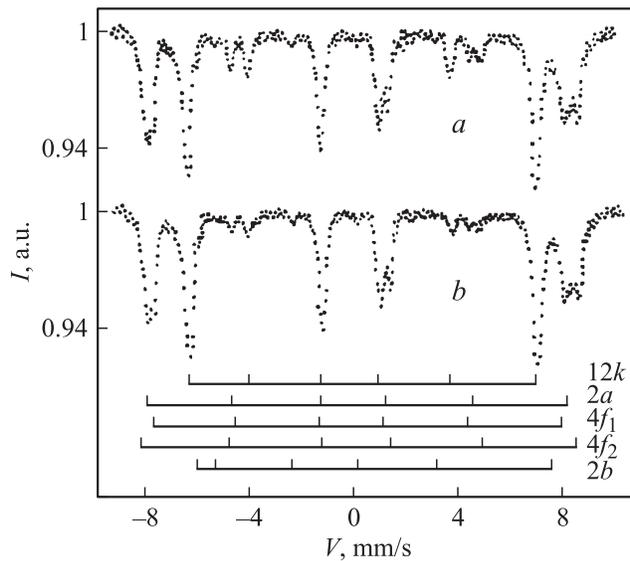


Рис. 2. Мессбауэровские спектры ядер ^{57}Fe в образце из постоянного магнита марки 16БА-190: *a* — в отсутствие внешнего магнитного поля; *b* — в магнитном поле $H = 2.1 \text{ кОе}$, приложенном по оси текстуры. Направление распространения γ -квантов совпадает с осью текстуры.

Метод проверялся на магните марки 16БА-190, который изготавливается на основе феррита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ [3]. Образец представлял собой пластинку диаметром 15 мм и толщиной $70 \mu\text{м}$, вырезанную из магнита по плоскости, перпендикулярной оси текстуры. Для измерений в магнитном поле применялся соленоид с водяным охлаждением. Источником γ -квантов служил ^{57}Co в матрице хрома. Расходимость пучка γ -квантов не превышала 5° . Мессбауэровские спектры образца, снятые во внешнем магнитном поле и в ее отсутствии, приведены на рис. 2. Они представляют собой суперпозицию пяти зеемановских секстетов, обусловленных ионами железа в пяти магнитных подрешетках феррита бария [4]. Из спектров мы нашли: $\theta_i = 40^\circ$, $M_r/M_s = 0.88$, $\varphi_0 = 28^\circ$. В магнитном поле $H = 2.1 \text{ кОе}$ $\theta = 19^\circ$; $M_r/M_s = 0.97$; $\varphi_1 = 12^\circ$. Для данной марки магнита $4\pi M_r = 3000 \text{ Гс}$ [3], учитывая

полученный результат для относительной остаточной намагниченности магнита, имеем $M_s = 270$ Gs. Пользуясь этими данными, из (7) находим $K = 3.3 \cdot 10^6$ erg/cm³. Это значение совпадает со значением константы анизотропии, полученным методами крутильного маятника и ферромагнитного резонанса для монокристалла феррита $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ [5].

Преимуществом предлагаемого метода является возможность использования для измерений промышленных образцов, что очень важно в производстве постоянных магнитов для контроля и улучшения их технических характеристик. Отметим, что в предлагаемом методе нет ничего противоречащего для измерений констант одноосной анизотропии магнитотвердых сплавов систем Fe–Co–Ni–Al–Cu, Fe–Co–Cr и др., широко применяемых для изготовления постоянных магнитов [1].

Авторы благодарят К.М. Алиева и Ш.М. Исмаилова за полезные обсуждения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 02–02–17817 и программ Миннауки РФ.

Список литературы

- [1] *Сергеев В.В., Булыгина Т.И.* Магнитотвердые материалы. М.: Энергия, 1980. 224 с.
- [2] *Алиев Ш.М., Камилев И.К.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 5. С. 9–11.
- [3] *Преображенский А.А., Бишард Е.Г.* Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986. 352 с.
- [4] *Киричок П.П., Вережак О.Ф., Воронина М.Б.* и др. // Изв. вузов. Физика. 1982. № 1. С. 93–95.
- [5] *Смит Я., Вейн Х.* Ферриты. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 504 с.