

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТЫ ОДНООСНОЙ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ОДНОДОМЕННЫХ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

© 2012 г. Ш. М. Алиев, И. К. Камилов, М. Ш. Алиев, Ж. Г. Ибаев

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН

Россия, 367003, Махачкала, ул. М. Ярагского, 94

E-mail: ibae77@mail.ru

Поступила в редакцию 19.01.2012 г.

Метод определения константы одноосной магнитной анизотропии однодоменных частиц порошковых постоянных магнитов основан на мессбауэровской спектроскопии. Экспериментально метод проверен на порошковом постоянном магните из феррита бария  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ .

В работе [1] был предложен мессбауэровский метод определения угла рассеяния магнитной текстуры  $\theta_i$  и относительной остаточной намагниченности  $M_r/M_s$  анизотропных постоянных магнитов ( $M_r$  и  $M_s$  – остаточная намагниченность и намагниченность насыщения магнита соответственно). Основываясь на выводах этой работы, нами предложен метод нахождения константы  $K$  одноосной магнитной анизотропии однодоменных частиц порошковых постоянных магнитов, величина которой определяет коэрцитивную силу и удельную энергию постоянного магнита [2].

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Внутренняя энергия единицы объема постоянного магнита во внешнем магнитном поле  $H$  равна [2]

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

где  $M$  и  $N$  – намагниченность и размагничивающий фактор образца магнита соответственно. Повороту векторов намагниченности однодоменных частиц относительно осей легкого намагничивания под действием поля  $H$  препятствует энергия магнитной анизотропии [2]

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

где  $\varphi$  – некоторый средний угол отклонения векторов намагниченности однодоменных частиц от осей легкого намагничивания во внешнем магнитном поле  $H$ .

Из баланса энергий  $E_b$  и  $E_a$  имеем

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

В работе [1] было получено уравнение

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

из которого можно найти угол рассеяния магнитной текстуры  $\theta_i$  по параметру  $k$ , определяемому как отношение площадей второй к первой или пятой к шестой линий мессбауэровского спектра ядер  $^{57}\text{Fe}$  ( $k = S_{2(5)}/S_{1(6)}$ ). При этом в качестве образца для мессбауэровских исследований используется тонкая пластинка (размагничивающий фактор для тонкой пластинки  $N = 1$  [2]), вырезанная из магнита по плоскости, перпендикулярной оси текстуры. По углу  $\theta_i$  можно определить относительную остаточную намагниченность магнита [1]:

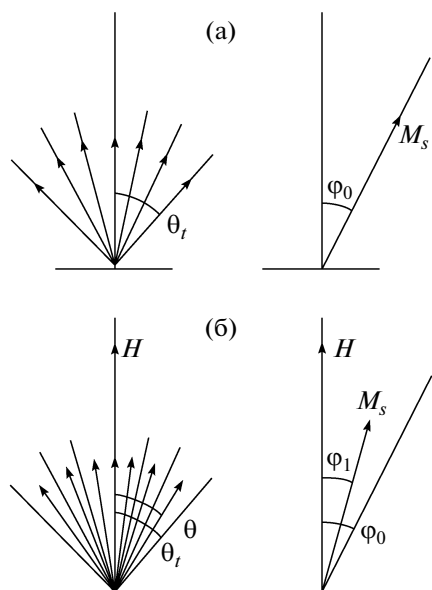
$$\frac{M_r}{M_s} = \frac{1 + \cos \theta_i}{2}. \quad (5)$$

Для дальнейших рассуждений образец из текстурированного магнита формально представим как монокристаллическую пластинку, вектор намагниченности  $M_s$  которой составляет угол  $\varphi_0 = \arccos\left(\frac{M_r}{M_s}\right)$  с нормалью к плоскости образца (рис. 1а). Такое допущение позволяет свести углы  $\theta_i$  между осью текстуры и осями легкого намагничивания однодоменных частиц ( $0 \leq \theta_i \leq \theta_i$ ) к некоторому среднему углу  $\varphi_0$ , что упрощает решение задачи. Точно также для относительной намагниченности магнита в поле  $H$ , приложенном по оси текстуры (рис. 1б), можно записать

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

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

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

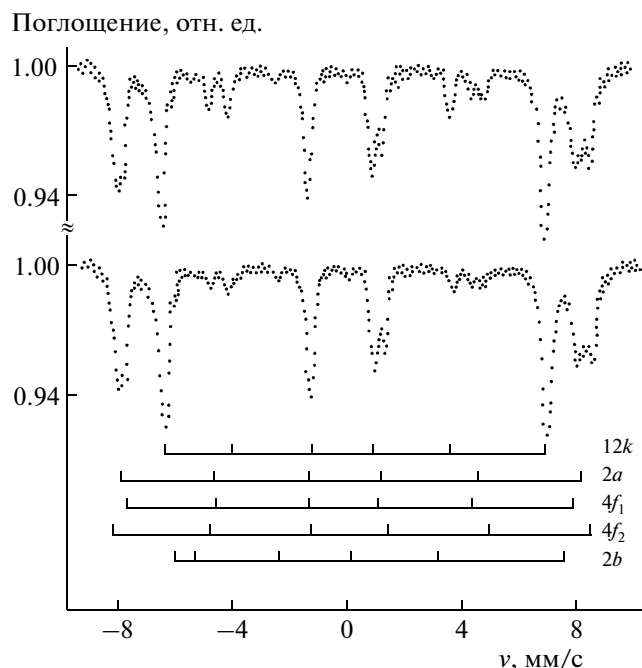


**Рис. 1.** Слева – распределение направлений векторов намагниченности однодоменных частиц относительно оси текстуры в порошковом постоянном магните, справа – аналогичные картины для монокристаллического образца, ось легкого намагничивания которого составляет угол  $\varphi_0$  с нормалью к плоскости образца: **а** – в состоянии остаточной намагниченности (размагничивающее поле образца принято равным нулю); **б** – в намагничивающем поле  $H$ , приложенном по оси текстуры.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод проверялся на порошковом постоянном магните марки 16БА-190, изготавливаемом из феррита бария  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  [3]. Образец представлял собой пластинку диаметром 15 мм и толщиной 60 мкм, вырезанную из магнита по плоскости, перпендикулярной оси текстуры. Измерения проводились на мессбауэровском спектрометре, работающем в режиме постоянного ускорения с источником  $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$ . Для измерений в магнитном поле применялся соленоид с водяным охлаждением.

Мессбауэровские спектры образца, снятые во внешнем магнитном поле и в его отсутствие, приведены на рис. 2. Они представляют собой суперпозицию пяти зеемановских секстетов, обусловленных ионами железа в пяти магнитных подрешетках феррита бария [4]. Параметр  $k$  определялся как отношение интегральных площадей линий поглощения мессбауэровского спектра. По спектрам получены следующие результаты:  $\theta_t = 40^\circ$ ,  $M_r/M_s = 0.88$ ,  $\varphi_0 = 28^\circ$ . В магнитном поле с напряженностью  $H = 2.1$  кЭ получено:  $\theta = 19^\circ$ ;  $M/M_s = 0.97$ ;  $\varphi_1 = 12^\circ$ . Для данной марки магнита  $M_s = 270$  Гс [1]. Используя эти данные, из выражения (7) находим  $K = 3.3 \cdot 10^6$  эрг/см<sup>3</sup>. Это значение совпадает со значением константы анизотропии,



**Рис. 2.** Мессбауэровские спектры образца постоянного магнита марки 16БА-190: сверху – в отсутствие внешнего магнитного поля; внизу – в магнитном поле  $H = 2.1$  кЭ, приложенном по оси текстуры. Направление распространения  $\gamma$ -лучей параллельно оси текстуры.

полученным методами крутильного маятника и ферромагнитного резонанса для монокристалла феррита  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  [5].

Преимуществом мессбауэровского метода является возможность использования для измерений промышленных образцов, что важно в производстве постоянных магнитов для контроля и улучшения их технических характеристик. В принципе, по описанному методу можно также определить константу одноосной магнитной анизотропии магнитотвердых железосодержащих сплавов с низкоразмерными магнитными структурами [2, 3], применяемых в производстве постоянных магнитов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ш.М., Камиллов И.К., Алиев М.Ш. и др. // ПТЭ. 2011. № 6. С. 86. (Aliev Sh.M., Kamilov I.K., Aliev M.Sh. // Instrum. and Exp. Tech. 2011. V. 54. № 6. P. 828.)
2. Сергеев В.В., Булыгина Т.И. Магнитотвердые материалы. М.: Энергия, 1980.
3. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986.
4. Киричок П.П., Вережак О.Ф., Воронина М.Б. и др. // Изв. вузов. Физика. 1982. № 1. С. 93.
5. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. М.: Изд-во иностр. лит-ры., 1962.