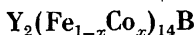


УДК 536.413 : 537.6

© 1990

СПОНТАННАЯ МАГНИТОСТРИКЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ



А. В. Андреев, М. И. Барташевич

Рентгенографически исследовано тепловое расширение монокристаллов интерметаллидов $Y_2(Fe_{1-x}Co_x)_{14}B$ ($x \leq 0.3$) вдоль главных кристаллографических осей в интервале температур 5—1000 К. Температурная зависимость объемной магнитострикции сравнивается с температурной зависимостью спонтанного магнитного момента.

Известно, что многие интерметаллические соединения редкоземельных металлов (R) с металлами группы железа (Т) в магнитоупорядоченном состоянии испытывают значительные магнитострикционные деформации как анизотропной, так и обменной природы. Анизотропная магнитострикция, связанная в первую очередь с одноионным механизмом (электростатическое взаимодействие анизотропной $4f$ -оболочки R-иона с кристаллическим полем решетки), используется в магнитострикционных преобразователях [1]. Обменная магнитострикция, приводящая в ряде случаев к инварианному эффекту [2], обусловлена главным образом Т—Т-обменным взаимодействием, хотя и R—Т-обменное взаимодействие может вносить в нее значительный вклад [3].

Интерметаллиды $R_2Fe_{14}B$ с тетрагональной кристаллической структурой типа $Nd_2Fe_{14}B$ (пространственная группа $P4_2/mnm$), на основе которых получены постоянные магниты с рекордными свойствами [4], имеют огромную обменную магнитострикцию [5–9], которая слабо зависит от сорта R-иона и практически полностью обусловлена Fe—Fe-обменным взаимодействием.

В данной работе проведено рентгенографическое исследование влияния замещения железа кобальтом на тепловое расширение интерметаллидов $Y_2(Fe_{1-x}Co_x)_{14}B$ ($0 \leq x \leq 0.3$).

Измерения проведены на монокристаллических образцах диаметром ~2 мм, на которых сделаны шлифы параллельно плоскостям (100) и (001). В интервале температур 5—1000 К в излучении хрома. Для измерений параметра a использовались линии β -820 (брэгговский угол $158^\circ < 2\theta(x, T) < 162^\circ$) с проверкой по β -800 ($144^\circ < 2\theta < 147^\circ$). Параметр c измерялся по линии α -00.10 ($143^\circ < 2\theta(x, T) < 147^\circ$). На этих же монокристаллах на вибромагнитометре измерялись температурные зависимости спонтанного магнитного момента.

На рис. 1, 2 приведены температурные зависимости параметров решетки a , c соединений $Y_2(Fe_{1-x}Co_x)_{14}B$ с $x=0, 0.1, 0.2, 0.3$. Стрелками указаны температуры Кюри соответствующих составов. Штриховыми линиями проведены кривые a , $c(T)$, экстраполированные из высоких температур на область магнитоупорядоченного состояния. Для проведения экстраполяции использовалось значение температуры Дебая $T_D=450$ К, полученное нами в [5] для $x=0$ из скоростей распространения ультразвука. Аналогичные кривые построены для объема элементарной ячейки $V=a^2c$ и отношения c/a . В парамагнитной области тепловое расширение изотропно по направлениям и одинаково для всех исследованных соеди-

нений, $\alpha_a = \alpha_c = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. В ферромагнитной области экспериментальные кривые отклоняются от экстраполированных, относительная разность между ними характеризует спонтанные магнитоэстроиционные деформации λ_a , λ_c вдоль главных осей и объемную ω_s . Величины этих деформаций при 5 К приведены в таблице. Видно, что λ_a во всех соединениях примерно в три раза больше, чем λ_c , т. е. магнитоэстроиционные деформации в $\text{Y}_2(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{14}\text{B}$, как и в других $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, распределены по осям резко анизотропно. Огромная величина λ_a полностью компенсирует нормальное тепловое расширение, и на результирующей зависимости $a(T)$

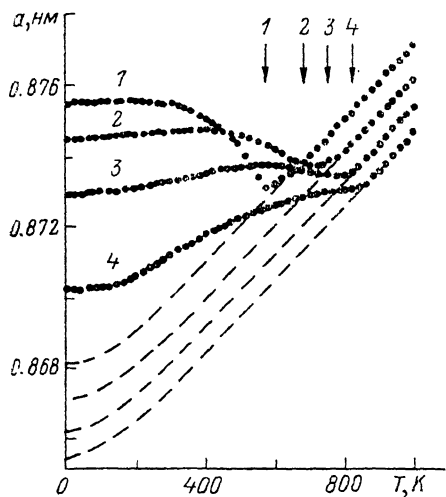


Рис. 1.

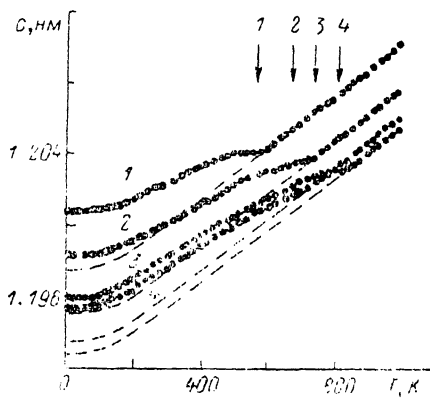


Рис. 2.

наблюдается инварный эффект в широкой области температур. При увеличении содержания кобальта две тенденции — рост T_c и уменьшение спонтанной магнитоэстроиции — приводят к тому, что при $x=0.3$ инварный эффект исчезает.

В направлении оси c только при $x=0$ и только в небольшой области температур вблизи T_c соединение проявляет инварные свойства. Эти наши данные об относительно малой спонтанной магнитоэстроиции λ_c и отсутствии инварного эффекта в этом направлении (приводимые ранее в [5] также

Структурные и магнитные характеристики соединений $\text{Y}_2(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{14}\text{B}$

Характеристика	Состав (x)			
	0	0.1	0.2	0.3
$a(300 \text{ K}), \text{ nm}$	0.8754	0.8747	0.8732	0.8712
$c(300 \text{ K}), \text{ nm}$	1.2024	1.2002	1.1983	1.1977
$V(300 \text{ K}), \text{ nm}^3$	0.9214	0.9183	0.9138	0.9091
$\lambda_a(5 \text{ K}), 10^{-3}$	8.55	8.50	7.65	5.50
$\lambda_c(5 \text{ K}), 10^{-3}$	2.70	2.70	2.10	2.10
$\omega_s(5 \text{ K}), 10^{-3}$	19.8	19.8	17.4	13.2
$T_c, \text{ K}$	572	683	745	820
$\mu_d(5 \text{ K}), \mu_B$	2.10	2.10	2.06	2.03
$\nu_{dd}(5 \text{ K}), 10^{-3} \mu_B^{-2}$	4.4	4.4	4.1	3.2

для других $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ находятся в сильном противоречии с некоторыми другими работами [6, 8]. Например, в [8] показано, что тепловое расширение $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ изотропно, деформации вдоль оси c столь же велики, как и в базисной плоскости. Параметры решетки при этом измерялись на поликристаллах по линиям (411) и (205). Необходимо отметить, что на рентгенограмме поликристалла на линию (205) накладывается более сильная

линия (410). По нашему мнению, в [8] линия (410), проиндицированная как (205), дала тепловое расширение вдоль оси c такое же, как в базисной плоскости, причем для всех приведенных в [8] соединений. В нашем случае монокристаллических образцов такого в принципе быть не могло. Во-первых, мы получили 5 порядков отражения, описываемых индексами (00 l) с четными l , чего не может быть для других плоскостей в $R_2Fe_{14}V$. Во-вторых, с кристалла снимались лауэграммы, однозначно его ориентирующие. В работе [6] также указан большой инвариный эффект вдоль оси c $Y_2Fe_{14}V$ во всем интервале температур ниже T_c . При этом в базисной плоскости при низких температурах тепловое расширение нормальное. Мы считаем наши результаты более правильными, для $x=0$ они находятся в хорошем согласии с данными [9] о тепловом расширении монокристаллов. В [9] для ω_s соединения с $x=0$ получено значение $2.4 \cdot 10^{-2}$ при $K=0$ Т, что на 20 % превышает наши данные. По-видимому, это обусловлено главным образом различием в экстраполяции зависимостей $a, c(T)$ из парамагнитной в ферромагнитную область вследствие разной T_D . В [9] $T_D \approx 400$ К по результатам измерения температурной зависимости теплоемкости. Естественно, при меньшей T_D экстраполяция идет круче и величина ω_s получается больше. Тем не менее можно считать наши результаты удовлетворительно совпадающими с [9].

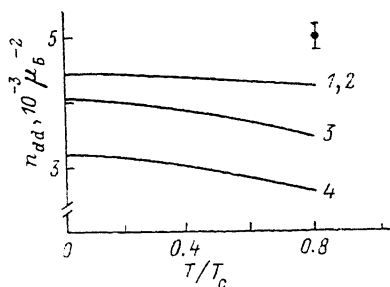


Рис. 3.

Вследствие того что выше T_c тепловое расширение изотропно, осевое отношение $c/a = \text{const}$ как для экспериментальных кривых выше T_c , так и для экстраполированных кривых вплоть до $T=0$ К. Анизотропия спонтанной магнитострикции приводит к температурной зависимости c/a . Это в свою очередь должно сказываться на температурной зависимости магнитной анизотропии. В [10] именно сильным изменением $c/a(T)$ объясняют известную аномалию в $K_1(T)$ железной подрешетки (рост K_1 с увеличением T при низких температурах)

$$K_1(T)/K_1(0) = \{\mu_{Fe}(T)/\mu_{Fe}(0)\}^3 (1 - a(c/a)^2). \quad (1)$$

При этом использованы дилатометрические данные [6], где отношение c/a при низких температурах с ростом T уменьшается. По нашим данным, в ферромагнитной области для всех составов c/a монотонно растет, поэтому рост $K_1(T)$ может происходить только при отрицательной величине параметра a . Анализ влияния теплового расширения на магнитную анизотропию будет представлен нами отдельно. Укажем лишь, что зависимости $c/a(T)$ для разных значений x качественно подобны, однако при $x=0.2 \div 0.3$ константа анизотропии K_1 монотонно падает с ростом T , т. е. аномалия в ходе $K_1(T)$ отсутствует.

Величина и температурная зависимость (от приведенной температуры T/T_c) объемной магнитострикции соединений $R_2Fe_{14}V$ практически одинаковы для всех R [5, 9]

$$\omega_s(T) = n_{Fe-Fe} \mu_{Fe}^2(T), \quad (2)$$

где коэффициент магнитоупругой связи n_{Fe-Fe} не зависит от температуры. В случае, когда железо замещается на другой $3d$ -металл, введем μ_d — средний магнитный момент $3d$ -атома и n_{dd} . В таблице приведены величины ω_s, μ_d, n_{dd} при 5 К, а на рис. 3 — температурные зависимости n_{dd} соединений разных составов (обозначения те же, что и на рис. 1). Видно, что при $x \leq 0.1$ $n_{dd}(T) \approx \text{const}$, а при большем содержании кобальта начинает спадать с ростом температуры. Из таблицы и рис. 3 следует, что магнито-объемный эффект при введении кобальта в $Y_2Fe_{14}V$ уменьшается быстрее, чем квадрат среднего магнитного момента $3d$ -атома при изменении как

состава (спад n_{dd} с ростом x), так и температуры. Это свидетельствует, по-видимому, о некорректности описания температурных и концентрационных зависимостей магнитных свойств $Y_2(Fe_{1-x}Co_x)_{14}B$ в приближении одноподрешеточного ферромагнетика.

Кривые $n_{dd}(T)$ на рис. 3 построены до $T = 0.8 T_c$. Далее n_{dd} начинает резко расти, формально обращаясь в бесконечность в T_c . Это связано с тем, что до 20 % ω_s (0 К) сохраняется в T_c , где спонтанный момент μ_d равен нулю (рис. 1, 2). Эти магнитоэластические деформации пропадают только при температурах, на 50—60 К превышающих существование дальнего магнитного порядка, и, очевидно, характеризуют область ближнего порядка.

Список литературы

- [1] Clark A. E. // AIP Conf. Proc. 1974. V. 19. P. 1015—1032.
- [2] Givord D., Lemaire R. // IEEE Trans. Magn. 1979. V. 10. N 1. P. 109—113.
- [3] Андреев А. В., Барташевич М. И., Дерягин А. В. и др. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. № 4. С. 218—230.
- [4] Sagawa M., Fujimura S., Togawa N. e. a. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N. 6. P. 2083—2087.
- [5] Андреев А. В., Дерягин А. В., Задворкин С. М., Терентьев С. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 6. С. 1641—1645.
- [6] Givord D., Li H. S., Moreau J. M. e. a. // Physica B. 1985. V. 130. N 1—3. P. 323—326.
- [7] Buschow K. H. J. // J. Less-Comm. Met. 1986. V. 118. N 2. P. 349—353.
- [8] Chang B., Yang Y., Fu S., James M. J. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 8. P. 3586—3588.
- [9] Fuji H., Nagata H., Uwatoko Y. e. a. // J. Magn. Magn. Mat. 1987. V. 70. P. 331—333.
- [10] Bolzoni F., Gavigan J. P., Givord D. e. a. // J. Magn. Magn. Mat. 1987. V. 66. N 1. P. 158—162.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького
Свердловск

Поступило в Редакцию
29 июня 1989 г.
В окончательной редакции
18 октября 1989 г.