

УДК 621.318.1

*Г.А. Политова, И.С. Терешина, С.А. Никитин,
Г.С. Бурханов, И.В. Беляев, А.К. Ким,
Л.А. Ломтев***МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ
ТИПА (Tb, Dy)Fe₂, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ
НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И МЕТОДОМ
ПРЕССОВАНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ***

Материалы с высокими значениями магнитострикции (это явление изменения размера магнетика во внешнем магнитном поле) являются перспективными для управления лазерными лучами в оптоэлектронике, для генерации звуковых и ультразвуковых волн в гидроакустике, для управляющих конструкций в гидравлике. Эффективность работы магнитострикционных преобразователей и излучателей (в режиме излучения) определяется параметром, пропорциональным магнитострикционной восприимчивости $\partial\lambda/\partial H$ и зависит от магнитострикции насыщения λ_s . Одним из путей создания магнитострикционных материалов с высокой магнитострикционной восприимчивостью и высокой магнитострикцией насыщения является получение соединений с монокристаллической или магнитоориентированной структурой, обладающих скомпенсированной магнитной анизотропией. Для этого необходима разработка соответствующих технологий.

Целью данной работой было получение сплавов типа (Tb,Dy)Fe₂ (состава терфенол-д) методом направленного затвердевания и методом прессования в магнитном поле, а также сравнение магнитострикционных свойств полученных сплавов.

Технологии получения образцов

Сплавы состава 48% Dy+20%Tb+32%Fe выплавляли путем сплавления чистых металлов (Dy марки Дим-1, Tb марки Тбм-1, Fe марки 015 ЖРЮ) в вакуумной индукционной печи типа ИСТ-0,05 в атмосфере аргона при избыточном давлении 0.3 Па. Камеру предварительно вакуумировали (10⁻³ мм. рт. ст.), промывали аргоном, и только после этого производили плавку. Футеровка тигля – электрокорунд. Вес плавки – 0.5 кг. Все компоненты шихты загружали в тигель одновременно. Сразу после расплавления шихты расплав заливали в металлический кокиль. Полученный слиток зачищали и протирали спиртом. Химический состав сплава контролировали методами химического анализа. Далее слиток передавали на операцию выращивания. Выращивание производили в высокочастотной вакуумной установке «К-204» в атмосфере аргона по методу Бриджмена со скоростью 1 мм/мин. Использовали конусные тигли из электрокорунда, полученные методом газоплазменного напыления с последующим отжигом в течение 4 часов при температуре 1350°C. Используя разные тигли, получены цилиндрические заготовки различного диаметра.

Выращенные
заготовки

*Работа поддержана федеральной программой поддержки ведущих научных школ № НШ-8701.2006.2 и грантом РФФИ № 06-03-32850. отжигали при t = 1150°C в

течение 2 часов в вакууме.

Для получения прессованных образцов применялась следующая технология: проводился разлом в среде изопропилового спирта. Полученный порошок спрессовывался в магнитном поле. Далее проводилось жидкофазное спекание при температуре T = 1180 °C в вакууме в течение 2 часов. Остывание образцов производилось внутри остывающей печи.

Структура и фазовый состав

После кристаллизации и полного остывания проводилось исследование структуры и фазового состава методами металлографического, химического и рентгенофазового анализов. Рентгенофазовый анализ порошковых образцов проводился на дифрактометре ДРОН-2 с использованием излучения Co K_α и базы данных PDF (рис. 1). Фазовый состав сплава после выращивания: 92.9 % (Dy,Tb)Fe₂ + 7.1 (Dy,Tb) + 0,1%, химический состав после выращивания: Dy = 41 %, Tb = 23 %, Fe - ост (% по массе)

Микроструктура поперечного сечения образца из сплава $(\text{Tb,Dy})\text{Fe}_2$, выращенного из конуса по методу Бриджмена показана на рис. 2 (до отжига образца). На фото шлифа наблюда-

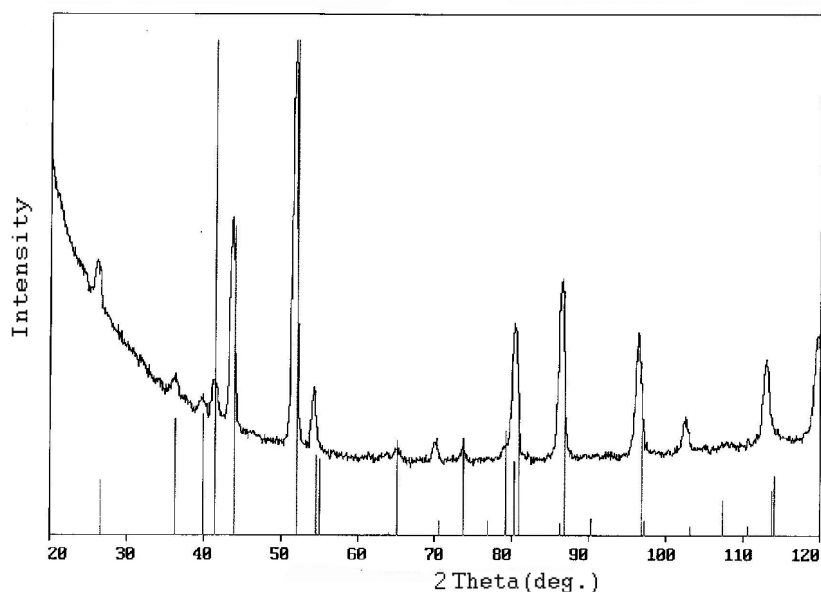


Рис. 1. Дифрактограмма сплава $(\text{Tb,Dy})\text{Fe}_2$ (порошок) при $T = 295 \text{ K}$

ется 2-х фазный состав образца четко выраженные первичные кристаллы фазы $(\text{DyTb})\text{Fe}_2$, по границам располагается фаза (DyTb) .

Установлено, что вторая фаза практически исчезает в результате отжига, проводимого при температуре $T = 1130\text{--}1140 \text{ C}$.

Магнитострикционные свойства

Измерения магнитострикции, проводились тензометрическим методом при комнатной температуре в магнитных полях до 12 кЭ. Использовались проволоочные тензодатчики. Поле прикладывалось как вдоль приклеенного тензодатчика (продольная магнитострикция), так и перпендикулярно ему (поперечная магнитострикция).

Использованные в данной работе тензодатчики были изготовлены из тензочувствительной проволоки, не обладавшей заметным магнитосопротивлением (тип тензодатчиков 1 – LY16 – 1.5/120). Датчики имели базу 5 мм и сопротивление 120 Ω .

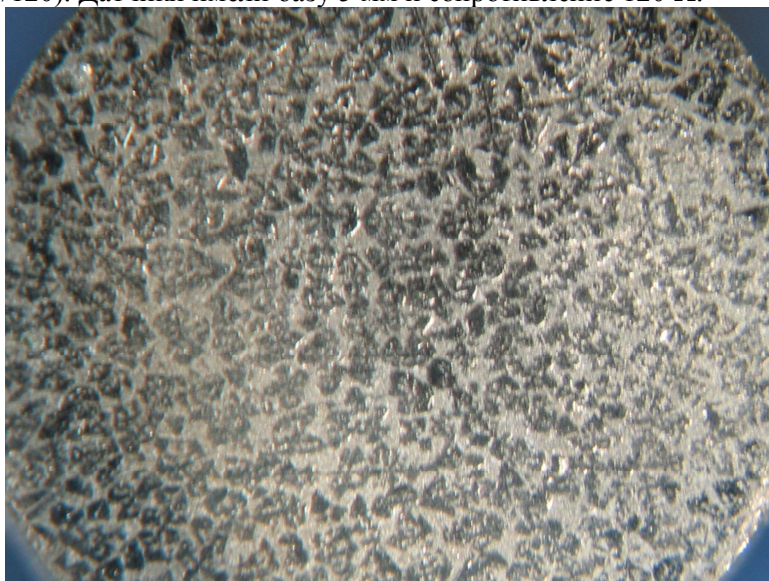
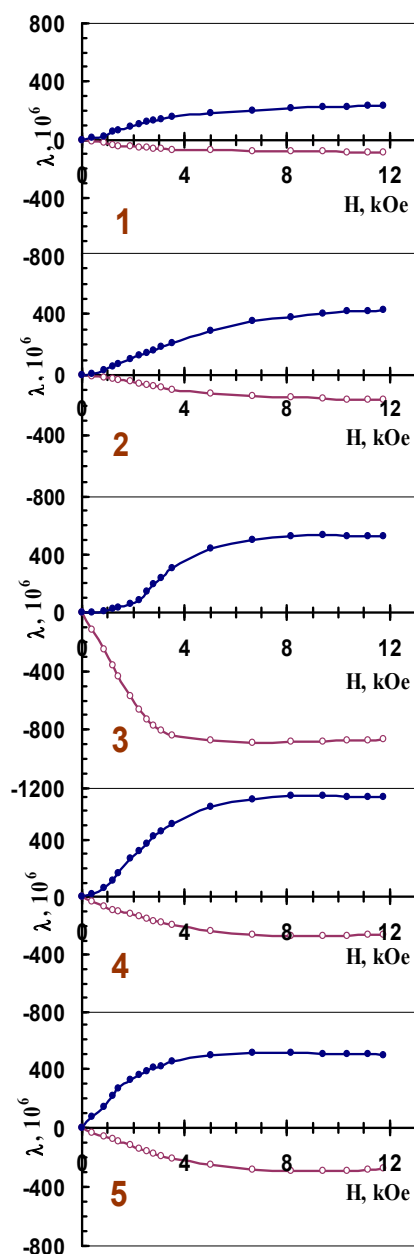


Рис. 2. Фотография микроструктуры поперечного сечения образца из сплава терфенол выращенного из конуса по методу Бриджмена. (увеличение Ч32)



Коэффициент тензочувствительности составлял $S = 2$ во всем температурном интервале. При измерениях один датчик наклеивался на образец, а другой, компенсационный, наклеивался на тонкую кварцевую пластинку, которая прижималась к образцу. Тензодатчики подключались друг к другу по мостовой схеме Уинстона. Сопротивления рабочего и компенсационного тензодатчиков отличались не более чем на 1 %. Подключение второго образца (кварцевого) необходимо для того, чтобы исключить все изменения сопротивления тензодатчиков, не связанные с магнитострикционными деформациями исследуемого образца. Деформация образца в магнитном поле влечет за собой изменение сопротивления тензодатчика, что приводит к разбалансировке моста. Величина разбалансировки измерялась с помощью вольтметра. Величина стрикции λ вычислялась по формуле:

$$\lambda = \frac{R_{\text{эт}}}{S \cdot R_T \cdot \alpha_{\text{эт}}} \alpha$$

(1)

Рис. 3. Полевые зависимости продольной и поперечной магнитострикции сплавов $(\text{Tb,Dy})\text{Fe}_2$, полученных по различным технологиям при $T = 295 \text{ K}$

где α - величина разбаланса моста, $R_{\text{эт}}$ - величина эталонного сопротивления (0.1 Ом), $\alpha_{\text{эт}}$ - величина разбаланса моста при включении эталонного сопротивления последовательно тензодатчику, R_T - сопротивление тензодатчика.

В качестве двух остальных плеч моста R_1 и R_2 используются мосты сопротивлений МСРБ-48. Напряжение на мост подается при помощи блока питания Б5-43 (5.5 В). В целом система позволяет производить измерения стрикции с точностью до $0.5 \cdot 10^{-6}$.

На рис. 3 показаны полевые зависимости продольной и поперечной магнитострикции сплавов $(\text{Tb,Dy})\text{Fe}_2$, полученных по различным технологиям: 1, 2 и 3 – литые цилиндры различного диаметра, 4 – прессованный цилиндр, 5 – прессованный брусок.

Видно, что все кривые $\lambda(H)$ выходят на насыщение.

Максимальную магнито-
Значения магнитострикционной восприимчивости
исследуемых образцов

Номер образца	$d\lambda/dH, \text{Э}^{-1} \cdot 10^6$
1	87
2	176
3	76
4	219
5	243

стрикцию насыщения λ_s (в продольном направлении) имеет образец в форме цилиндра, полученный методом прессования в магнитном поле (№ 4). λ_s для данного образца достигает при комнатной температуре значения $700 \cdot 10^{-6}$. Этот же образец имеет и довольно высокую магнитострикционную восприимчивость $d\lambda/dH = 219 \text{ Э}^{-1} \cdot 10^6$ (см. таблицу). Однако, как показали наши исследования, максимальное значение $d\lambda/dH = 243 \text{ Э}^{-1} \cdot 10^6$ имеет образец, полученный методом прессования, но имеющий форму бруска (№ 5). Литые образцы (№№ 1, 2 и 3) имеют меньшее значение магнитострикции насыщения и гораздо медленнее выходят на насыщение. Это

связано, по нашему мнению, с тем фактом, что метод прессования в магнитном поле позволяет создать образцы с такой магнитоориентированной структурой, которая обеспечивает наиболее высокую магнитострикционную восприимчивость.

Выводы

Таким образом, использование метода Бриджмена с последующим отжигом, позволило нам получить однофазный сплав $(\text{TbDy})\text{Fe}_2$ (состав 41 масс. % Dy, 23 масс. % Tb, остальное Fe), имеющий столбчатую структуру. Все сплавы имеют достаточно высокие значения магнитострикции, однако наибольшее значение магнитострикции насыщения и магнитострикционной восприимчивости имеют образцы, полученные предварительным размельчением этого сплава и прессовыванием его в магнитном поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения, Наука, М. 1987, 159 с.
2. Clark A.E., Magnetostrictive RFe_2 intermetallic compounds, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare-Earth, ed. by K.A. Gschneider, North-Holland publishing company, 1979, p. 231-258.
3. Политова Г.А., Никитин С.А., Кольчугина Н.Б., Терешина И.С., Бурханов Г.С., Чистяков О.Д., Беляев И.В., Ким А.К., Стукалов В.Ф., Магнитострикционные свойства сплавов Tb-Dy-Fe с направленной структурой, в сб. «Материалы для пассивных радиоэлектронных компонентов. Труды международной научно-технической конференции», под ред. В.Г. Недорезова. Пенза, НИИЭМП, 2005, с. 266 - 273.

Коротко об авторах

Политова Г.А., Никитин С.А. – Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Терешина И.С., Бурханов Г.С. – ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова,
Беляев И.В., Ким А.К., Ломтев Л.А. – ОАО НПО «Магнетон».