

Добиваясь наилучшей аппроксимации данных рис. 1 зависимостью (2) (рис. 2), находим значение $\eta=0.55$ Пз. В капле с такими параметрами вязкие силы полностью подавляют инерционные, и в уравнении (1) следует положить $A=0$. Решение этого уравнения с начальным условием $x(0)=x_0$ при $H=H_c$, которое определяется из его стационарного решения, получено численно методом Эйлера. Результаты представлены на рис. 1 сплошными линиями. Причина несколько более плавного нарастания удлинения в эксперименте по сравнению с теорией может заключаться в зависимости вязкости от напряженности поля: поле в капле с увеличением ее длины нарастает.

Если инерционным слагаемым пренебречь нельзя, то процесс имеет колебательный характер (рис. 3). Здесь изображены графики переходного процесса, соответствующего кривой 1 на рис. 1, при различном соотношении вязких, капиллярных и инерционных сил; $B=5$ (1), 10 (2), 40 (3). В качестве масштаба времени в (1) взята обратная частота свободных колебаний невязкой капли

$$t_0 = \left(\frac{8\sigma}{\rho R_0^3} \right)^{1/2}, \quad B = 4\eta \left(\frac{8}{\sigma \rho R_0} \right)^{1/2}, \quad A = 1.$$

Решение получено методом Рунге—Кутты.

Литература

- [1] Архипенко В. Н., Барков Ю. Д., Баштовой В. Г. Магнитная гидродинамика, 1978, № 3, с. 131—134.
- [2] Блум Э. Я., Михайлов Ю. А., Озоле Р. Я. Тепло- и массообмен в магнитном поле. Рига: Зинатне, 1980. 355 с.
- [3] Vacri J. C., Salin D. — J. Physique (Lettres), 1982, v. 43, N 17, p. 649—654.
- [4] Vacri J. C., Salin D. — J. Physique (Lettres), 1983, v. 44, N 13, p. 415—420.
- [5] Цеберс А. О. Магнитная гидродинамика, 1985, № 1, с. 25—34.

Белорусский
политехнический институт
Минск

Поступило в Редакцию
23 марта 1987 г.
В окончательной редакции
8 февраля 1988 г.

О МАГНИТОУПРУГИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ Tb—Fe

Е. В. Долгих, Г. Н. Федюкина, Л. Н. Бабушкина

Интерметаллические соединения RFe_2 ($R—Tb, Sm, Dy$), обладающие такими уникальными свойствами, как гигантская магнитострикция (10^{-3}) и огромный магнитомеханический гистерезис [1^{-3}], не находят практического применения из-за низкой механической прочности и плохой обрабатываемости.

В предлагаемой работе сообщаются результаты исследования магнитоупругих и механических свойств упрочненных образцов системы Tb—Fe.

Сплавы выплавляли в электродуговой печи. Расплавленный металл сливали в цилиндрическую форму. Деформацию образцов (диаметром 6 и длиной 10 мм) измеряли тензометрическим методом, применяя тензодатчики типа КФ-5 (база 1 мм). Для проведения механических испытаний образцы крепили к стальным наконечникам с помощью диффузионной сварки.

Как видно из таблицы, механическая прочность на разрыв образцов состава $Tb_{1.2}Fe_{1.8}$, упрочненных эвтектикой (образцы 4—6), увеличивается по сравнению с $TbFe_2$ (образцы 1—3) в ~ 10 раз, а дополнительное упрочнение медью сплавов этого же состава повышает их механическую прочность, в частности на разрыв, до 200 МПа, что уже близко к пределу текучести железа. При этом сохраняются достаточно высокие значения магнитоупругих характеристик (см. таблицу).

Высокая механическая прочность высокомагнитострикционных сплавов (образцы 7—9) позволила впервые экспериментально получить полную замкнутую петлю магнитомеханиче-

Номер образца	Состав образца	Способ упрочнения	λ_{\parallel} см $\cdot 10^6$	$\epsilon_r \cdot 10^6$	$\frac{\Delta\lambda/dH \cdot 10^6}{(A/m)^{-1}}$	$\sigma_{\text{раст}}^{\text{уп}}$ МПа	$\sigma_{\text{сжат}}^{\text{уп}}$ МПа
1—3	TbFe ₂	Неупрочненный	1680	420	30	4—5	150—200
4—6	Tb _{1.2} Fe _{1.8}	Эвтектическим расплавом	1080	400	15—20	30—40	300
7—9	Tb _{1.2} Fe _{1.8}	Медью	1060	600	10	190—200	500

Примечание. λ_{\parallel} см — продольная магнитострикция, обусловленная процессами смещения доменных границ (при $H = 1600$ кА/м); ϵ_r — остаточная деформация ММГ (при $\sigma_{\text{сжат}} = 80$ МПа); $\Delta\lambda/dH$ — максимальная крутизна зависимости $\lambda_{\parallel}(H)$; $\sigma_{\text{раст}}^{\text{уп}}$ — прочность на разрыв (до разрушения); $\sigma_{\text{сжат}}^{\text{уп}}$ — прочность на сжатие (до разрушения). Числовые значения параметров получены усреднением по трем образцам.

ского гистерезиса (ММГ) магнетика при его одноосном сжатии—растяжении. Петля ММГ при амплитуде магнитного поля $H=0$ показана на рис. 1. Зависимость деформации ϵ образцов 7—9 от нагрузки σ при $H=1600$ кА/м ($\vec{H} \parallel \vec{\sigma}$) представляет собой практически прямую линию, наклон которой определяется в основном упругими свойствами сплава.

Справедливость этого подтверждается следующим. Намагниченность TbFe₂ в поле 1600 кА/м составляет 630 кА/м, а намагниченность насыщения $J_s = 810$ кА/м. Следовательно, выполняется условие для четырехосного магнетика [4],

$$J_{\text{см}} = 0.835J_s = 676 \text{ кА/м.}$$

Значит, процессы смещения доменных границ, которыми в основном определяются механострикционные процессы в TbFe₂, имеющего ось легкого намагничивания (ОЛН) $\langle 111 \rangle$, в поле $H = 1600$ кА/м в основном заканчиваются. При этом энергия магнитного поля, стабилизирующая векторы магнитных моментов, более чем на порядок превышает энергию упругих напряжений

$$\mu_0 H J_s \gg \lambda_{\parallel} \text{ см } \sigma. \quad (1)$$

Действительно, подставляя в (1) численные значения: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м, $H = 1600$ кА/м, $\pi_{\parallel} \text{ см} = 1.18 \cdot 10^{-3}$, $\sigma = 60$ МПа, получаем: $\mu_0 H J_s = 1.6 \cdot 10^6$ Дж/м³, $\lambda_{\parallel} \text{ см} \sigma = 0.7 \cdot 10^6$ Дж/м³.

Сопоставление величин $\lambda_{\parallel} \text{ см}$, λ_m^+ и λ_m^- (см. таблицу и рисунок) показывает, что векторы J_s имеют некоторое преимущественное распределение в направлениях ОЛН, составляющих наименьший угол с осью образца, т. е. последний имеет в этом направлении магнитную

Зависимость деформации ϵ образца Tb_{1.2}Fe_{1.8} от величины механических напряжений σ при внешнем магнитном поле $H=0$ (1) и 1600 кА/м (2). $\vec{H} \parallel \vec{\sigma}$.

текстуру, учет которой дает величины λ_m^+ и λ_m^- для истекстурованного материала соответственно $\sim 824 \cdot 10^{-6}$ и $680 \cdot 10^{-6}$ вместо предсказываемых теоретически [4] $1400 \cdot 10^{-6}$ и $700 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, величина нагрузки σ_s , при которой завершаются процессы смещения доменных границ, для $\lambda_s \sigma < 0$ (сжатие) равна $\sim 50 \div 60$ МПа, а в случае $\lambda_s \sigma > 0$ при этой же величине напряжений механострикционные процессы еще далеки от завершения. Действительно, кривая $\epsilon(\sigma)_{H=0}$ в случае растяжения при $\sigma = 50 \div 60$ МПа имеет максимальную крутизну (кривая 1), а при сжатии ее наклон при той же σ близок к наклону зависимости $\epsilon(\sigma)$, $H = 1600$ кА/м (кривая 2).

Кроме того, для соединений TbFe₂, SmFe₂ экспериментально установлены следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \lambda_s \sigma < 0, \quad \epsilon_r \approx 1/2\lambda_m^+ \\ \lambda_s \sigma < 0, \quad \epsilon_r \approx 1/4\lambda_m^-. \end{aligned}$$

Все это позволяет предположить, что механострикционные процессы, происходящие в образце под действием магнитного поля и упругих напряжений, при $\lambda_s \sigma > 0$ имеют особенности по сравнению со случаем $\lambda_s \sigma < 0$.

Таким образом, в данной работе впервые удалось наблюдать способность интерметаллических соединений системы Tb—Fe, обладающих уникальными магнитоупругими свойствами, выдерживать растягивающие напряжения до 200 МПа (против 3—7 МПа для TbFe₂),

и сжимающие более 500 МПа. Это открывает возможности их широкого практического применения. Впервые полученная экспериментально полная петля ММГ при одноосном сжатии — растяжении образца способствует более полному изучению механострикционных процессов в магнетике и проверке существующих теоретических предпосылок.

Литература

- [1] Белов К. П. Редкоземельные магнетики и их применение. М.: Наука, 1980, с. 239.
 [2] Новиков Б. Ф., Долгих Е. В. ЖТФ, 1983, т. 53, № 11, с. 1877—1879.
 [3] Новиков В. Ф., Долгих Е. В. А. с. 853434. — Оpubл. в Б. И., 1981, № 29.
 [4] Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. М.; Л.: ГИТТЛ, 1948, с. 816.

Тюменский индустриальный институт
им. Ленинского комсомола

Поступило в Редакцию
8 апреля 1987 г.

УДК 621.386.2

Журнал технической физики, т. 58, в. 7, 1988

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОЧАСТОТНЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА GaAlAs

Н. Б. Корнилова, В. Н. Морозов, Р. Ф. Набиев, Ю. М. Попов, В. Р. Шидловский

В настоящее время большой интерес уделяется изучению влияния времени наработки на различные характеристики инжекционных лазеров, в том числе и шумовые. В данной работе приводятся результаты исследования влияния деградации на флуктуации мощности и фазы одночастотных инжекционных лазеров на двойной гетероструктуре GaAlAs с подложкой в форме террасы [1].

Экспериментальная установка позволяла одновременно измерять спектральную плотность флуктуаций мощности в диапазоне частот 400 Гц—1 ГГц с помощью $p-i-n$ фотодиода, селективного микровольметра и спектра-анализатора СК4-58, а также ширину и форму линии генерации с помощью сканирующих конфокальных интерферометров Фабри—Перо (СКИФП) с областью свободной дисперсии 500 МГц и 7.5 ГГц соответственно. Время наработки лазеров составляло 300—400 ч и определялось наблюдением изменения шумовых характеристик при сохранении одночастотного режима генерации с относительной мощностью боковых продольных мод в спектре не более 5 %.

На рис. 1 представлены ватт-амперные характеристики (а) и зависимости спектральной плотности флуктуаций мощности (б) на частоте 1 ГГц в полосе 120 кГц от тока накачки (нагрузочное сопротивление фотоприемника $R=50$ Ом) для лазеров до (1) и после (2) наработки. Видно, что происходит существенное увеличение уровня шума на частоте 1 ГГц; при этом измеренные на частотах менее 50 МГц значения спектральной плотности флуктуаций при одинаковых значениях мощности изменялись не более чем на 10 % до и после 400 ч работы лазеров с помощью излучения 4 мВт с грани.

На рис. 2 представлена форма линии генерации (два порядка СКИФП с областью свободной дисперсии 7.5 ГГц) при мощности лазеров 3 мВт с грани до (а) и после (б) наработки. Видно, что происходит существенное увеличение мощности релаксационных боковых лепестков [2, 3], связанное с увеличением спектральной плотности флуктуаций мощности в резонансе. При этом ширина линии изменяется весьма незначительно (от 80 до 90 МГц до и после наработки). При этом практически не наблюдается изменения значения резонансной частоты.

Таким образом, на начальном этапе деградации в GaAlAs лазерах наблюдается только увеличение уровня шума в резонансном релаксационном максимуме без изменения шумовых

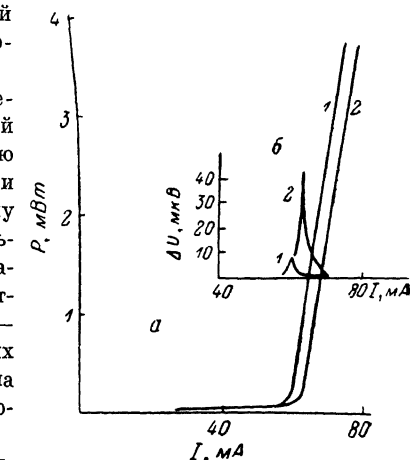


Рис. 1.