

05;12

Влияние термомагнитной обработки на скорость распространения магнитоупругих колебаний и ΔE -эффект в неупорядоченных ферромагнетиках

© А.А. Гаврилюк, Н.П. Ковалева, А.В. Гаврилюк

Иркутский государственный университет

Поступило в Редакцию 9 января 1998 г.

Исследованы зависимости скорости распространения магнитоупругих колебаний и ΔE -эффекта от температуры магнитного отжига и внешнего магнитного поля в аморфных металлических сплавах на основе железа. Показано, что полученные зависимости имеют немонотонный характер. Экстремальные значения скорости распространения магнитоупругих колебаний и ΔE -эффекта совпадают лишь в определенном интервале температур отжига. С увеличением температуры отжига экстремальные значения магнитоупругих характеристик смещаются в область больших магнитных полей.

Для улучшения магнитоупругих характеристик аморфных металлических сплавов на основе железа используется отжиг образцов в магнитном поле. Целью настоящей работы являлось исследование влияния температуры отжига на скорость распространения магнитоупругих колебаний V и величину ΔE -эффекта ($\frac{\Delta E}{E_0} = (E_0 - E_H)/E_0$, где E_0 — модуль упругости образца в размагниченном состоянии, E_H — модуль упругости в магнитном поле) аморфного металлического сплава $Fe_{81.5} - B_{13.5} - Si_3 - Cr_2$ (отечественный аналог сплава Metglass 2605 SC [1,2]).

Исследуемые образцы в виде узких полосок размерами $0.05 \times 0.002 \times 3 \cdot 10^{-5}$ м были подвергнуты отжигу в магнитном поле величиной 160 кА/м, приложенном перпендикулярно длине образца, в интервале температур от 330 до 440° С в течение 20 min. Целью отжига являлось снятие в сплавах внутренних напряжений, возникающих при их получении, а также создание периодической доменной структуры с осью легкого намагничивания, ориентированной перпендикулярно длине образца. Перестройка такой доменной структуры под действием

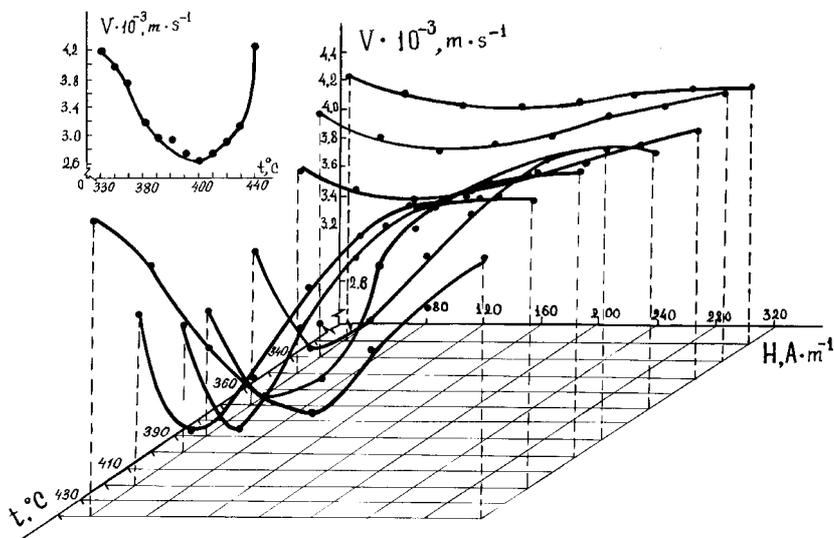


Рис. 1. Зависимость скорости распространения магнитоупругих колебаний от величины внешнего магнитного поля при различных температурах отжига.

магнитного поля, направленного вдоль длины образца, должна осуществляться путем однородного вращения намагниченности. Изменения скорости распространения магнитоупругих колебаний и величины ΔE -эффекта были проведены методом резонанса-антирезонанса [3]. Постоянное магнитное поле и малое переменное магнитное поле (1 А/м), необходимое для возбуждения магнитоупругих колебаний, прикладывались вдоль длины исследуемых образцов.

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные зависимости скорости распространения магнитоупругих колебаний и ΔE -эффекта от величины внешнего магнитного поля для образцов, отожженных при температурах от 330 до 440°С, анализ которых приводит к следующим выводам:

1. При всех температурах отжига имеет место характерный минимум на зависимости $V(H)$ (рис. 1).
2. Для температуры отжига в интервале от 370 до 430°С минимум скорости распространения магнитоупругих колебаний и максимум

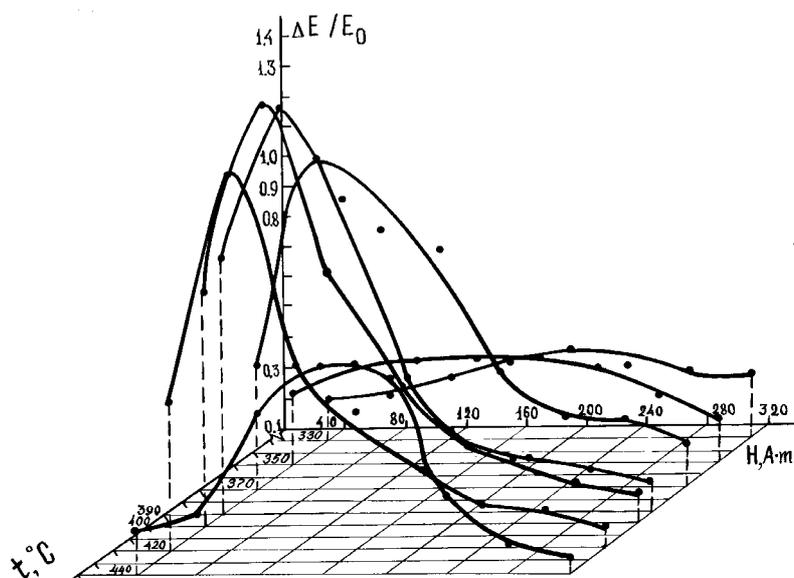


Рис. 2. Зависимость ΔE -эффекта от величины внешнего магнитного поля при различных температурах отжига.

ΔE -эффекта соответствуют одному и тому же значению внешнего магнитного поля.

3. При температурах отжига от 330 до 360°C между полями максимума ΔE -эффекта и минимума скорости распространения магнитоупругих колебаний совпадения не наблюдалось. Отжиг при температуре 440°C также приводит к несовпадению полей экстремальных значений V и ΔE -эффекта.

4. С увеличением температуры отжига образцов минимум V и максимум ΔE -эффекта смещаются в область больших магнитных полей.

5. На вставке к рис. 1 приведен график зависимости скорости распространения магнитоупругих колебаний от температуры отжига образца в магнитном поле $H = 80 \text{ A/m}$. Подобные же зависимости наблюдаются и при других значениях действующего магнитного поля H . Как следует из приведенного графика, величина V минимальна при температуре отжига 400°C.

Полученные результаты могут быть объяснены следующим образом.

При достаточно низких температурах отжига доменная структура исследованных образцов из-за наличия в них внутренних напряжений неоднородна [4,5]. Поэтому перестройка доменной структуры представляет собой сложный совместный процесс вращения намагниченности и смещения доменных границ. Процесс смещения не 180° -ных доменных границ различным образом влияет на величину ΔE -эффекта и скорость распространения магнитоупругих колебаний. Поэтому поле максимума величины ΔE -эффекта не совпадает с полем минимума V . С ростом температуры отжига и с релаксацией внутренних напряжений доменная структура образца приобретает более однородный характер. При этом преобладающим процессом ее перестройки становится процесс однородного вращения намагниченности. Поэтому поле максимума величины ΔE -эффекта совпадает с полем минимума скорости распространения магнитоупругих колебаний. При еще более высоких температурах отжига начинается процесс кристаллизации аморфного металлического сплава, который ведет к созданию в образце внутренних напряжений. Следствием этого должно являться несовпадение полей экстремумов величин ΔE -эффекта и скорости распространения колебаний, что и наблюдается экспериментально.

В работе [6] было показано, что минимум модуля упругости в магнитном поле и максимум ΔE -эффекта в сплавах с полосовой доменной структурой определяются полем блох–неелевского перехода структуры доменных границ. С ростом температуры магнитного отжига происходит увеличение поля наведенной анизотропии, что приводит к увеличению поля изменения структуры доменных границ, следствием чего является смещение минимумов модуля упругости, скорости распространения магнитоупругих волн, а также максимума ΔE -эффекта в область больших магнитных полей.

Скорость распространения магнитоупругих колебаний в магнитном поле $H = 80 \text{ A/m}$ в интервале температур от 330 до 400°C уменьшается с увеличением температуры отжига, что связано с уменьшением анизотропии, обусловленной внутренними напряжениями. В результате начавшегося процесса кристаллизации аморфного вещества в области 400°C и дальнейшего повышения температуры отжига происходит увеличение поля анизотропии, которое в данных условиях обусловлено атомным упорядочением.

Согласно [7], выражение для величины модуля упругости в магнитном поле E_H в зависимости от константы анизотропии K можно представить в виде

$$E_H = E_0 \cdot [2K - 3\lambda_s \cdot \sigma]^3 / \left\{ [2K - 3\lambda_s \cdot \sigma]^3 + 9\lambda_s^2 \cdot M_s^2 \cdot H^2 \cdot E_0 \right\}, \quad (1)$$

где λ_s — магнитострикция насыщения, M_s — намагниченность насыщения, σ — величина внешних упругих напряжений, E_0 — модуль упругости в отсутствие магнитного поля. Учитывая, что соотношение между скоростью распространения магнитоупругих колебаний и модулем упругости может быть записано как

$$V = (E_H/\rho)^{1/2}, \quad (2)$$

где ρ — плотность образца, получим следующее выражение для скорости распространения магнитоупругих колебаний:

$$V = \left\{ (E_0/\rho) \cdot [2K - 3\lambda_s \cdot \sigma]^3 / \left([2K - 3\lambda_s \cdot \sigma]^3 + 9 \cdot \lambda_s^2 \cdot M_s^2 \cdot H^2 \cdot E_0 \right) \right\}^{1/2}. \quad (3)$$

Таким образом, с ростом константы анизотропии наблюдается увеличение скорости распространения магнитоупругих колебаний.

Список литературы

- [1] Spano M.L., Hathaway K.B., Savage H.T. // Journ. Appl. Phys. 1982. V. 53. P. 2667–2669.
- [2] Restorf I.B., Wun-Fogle M., Hathaway K.B. // Journ. Appl. Phys. 1991. V. 69. N 8. P. 4668–4670.
- [3] O'Dell T. // Phys. Stat. Sol. (a). 1982. V. 74. P. 2667–2669.
- [4] Livingston J.D. // Phys. stat. sol. (a). 1979. V. 56. P. 637–645.
- [5] Fernengel W. // Phy. stat. sol. (a). 1981. V. 64. P. 538–599.
- [6] Петров А.Л., Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М. // ФММ. 1995. Т. 80. В. 6. С. 47–53.
- [7] Livingston J.D. // Phys. stat. sol. (a). 1982. V. 70. P. 591–596.