

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ АНИЗОТРОПИИ НА МАГНИТОУПРУГИЕ СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНЕТИКА

А.Л.Петров, С.М.Зубрицкий, А.А.Гаврилюк

Иркутский государственный университет,
664003, Иркутск
(Поступило в Редакцию 23 марта 1995 г.)

Как показывают исследования магнитоупругих свойств аморфных металлических сплавов на основе железа [1-3], наибольшие значения магнитоупругих характеристик, таких как величина ΔE -эффекта, коэффициент магнитомеханической связи и др., достигаются в образцах с полосовой доменной структурой и осью легкого намагничивания (ОЛН), направленной перпендикулярно линии приложения магнитного поля и упругих растягивающих напряжений. Под действием магнитного поля и упругих растягивающих напряжений, приложенных вдоль оси трудного намагничивания, происходит поворот намагниченности в доменах из первоначального положения к направлению действия магнитного поля и упругих растягивающих напряжений. Считается [1,2], что для получения высоких магнитоупругих характеристик помимо большой величины магнитострикции требуется выполнение двух условий: наличие одноосной анизотропии с малой величиной дисперсии, константа одноосной анизотропии не должна превышать 1000 J/m. Однако, согласно [3], эти два условия являются взаимоисключающими. В образцах с малой величиной константы одноосной анизотропии, как правило, наблюдается большая дисперсия анизотропии. В то же время дисперсия анизотропии заметно меньше для образцов с малой величиной константы магнитострикции и большой величиной константы анизотропии K . Влияние дисперсии анизотропии на магнитоупругие свойства ферромагнетиков на примере аморфных металлических сплавов на основе железа уже исследовалось в ряде работ [4-6]. При этом основное внимание в этих работах уделялось влиянию угловой дисперсии анизотропии. Вместе с тем в материалах, где магнитострикция достаточно велика $((30-40) \cdot 10^{-6})$, большую роль играет также амплитудная дисперсия анизотропии, влияние которой на магнитоупругие свойства высокомагнитострикционных ферромагнетиков ранее практически не исследовалось. Кроме того, до настоящего времени не существует теории, адекватно описывающей влияние угловой дисперсии анизотропии на магнитоупругие свойства ферромагнетиков.

Рассмотрим влияние угловой дисперсии анизотропии на магнитоупругие свойства ферромагнетика с полосовой доменной структурой. Направления локальных ОЛН образуют углы α по отношению к среднему направлению ОЛН ферромагнетика. Будем считать, что распределение намагниченности в домене соответствует распределению локальных осей легкого намагничивания. Постоянное магнитное поле прикладывается вдоль среднего направления оси трудного намагничивания. Величины углов поворота намагниченности найдем из условия минимума суммы энергии анизотропии и энергии взаимодействия намагниченности с внешним магнитным полем. Выражения для энергии

векторов намагниченности, направление которых составляет углы α с направлением средней ОЛН, можно записать в виде

$$E_1 = K \sin^2 \beta_1 - M_s H \cos(\pi/2 - \alpha - \beta_1) \quad (\text{для } \alpha), \quad (1)$$

$$E_2 = K \sin^2 \beta_2 - M_s H \cos(\pi/2 + \alpha - \beta_2) \quad (\text{для } -\alpha), \quad (2)$$

где β_1, β_2 — величины углов поворота намагниченности под действием магнитного поля, M_s — намагниченность насыщения. Намагниченность образца в результате действия магнитного поля равна

$$M = \frac{M_s}{2} [\sin(\alpha + \beta_1) + \sin(\beta_2 - \alpha)]. \quad (3)$$

Как следует из [6], максимум величины ΔE -эффекта достигается в случае, когда намагниченность образца, приобретенная под действием постоянного магнитного поля, равна половине намагниченности насыщения (т. е. $M = M_s/2$). В ферромагнетике, в котором угловая дисперсия анизотропии равна нулю (т. е. $\alpha = 0$), намагниченность образца достигает величины $0.5M$ в магнитном поле $H = H_k/\sqrt{2}$, где H_k — поле одноосной анизотропии. В ферромагнетике, в котором угловая дисперсия анизотропии не равна нулю, выполнение условия $M = M_s/2$ достигается в магнитном поле большей величины (рис. 1). Чем больше величина α , тем в больших магнитных полях достигается максимум величины ΔE -эффекта. Таким образом, рост угловой дисперсии анизотропии приводит к смещению максимума ΔE -эффекта в область более высоких магнитных полей.

Рассмотрим теперь ферромагнетик с полосовой доменной структурой и поперечной анизотропией. Будем считать, что угловая дисперсия анизотропии равна нулю, а сам ферромагнетик состоит из областей, в которых константа анизотропии принимает следующие значения: $K - \Delta K, K, K + \Delta K$. Считаем также, что магнитостатическое и обменное взаимодействия между областями с различными значениями константы анизотропии пренебрежимо малы. Постоянное магнитное поле H и растягивающие напряжения σ прикладываются вдоль

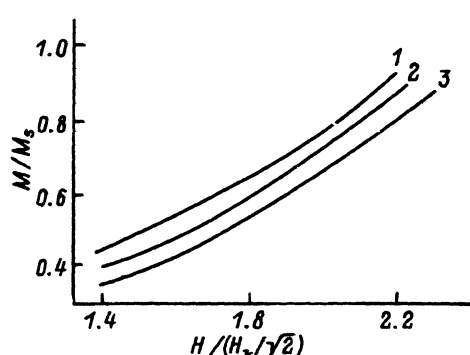


Рис. 1. Зависимость относительной намагниченности образца от величины приведенного магнитного поля при различных значениях угловой дисперсии анизотропии α . α ($^\circ$): 1 — 10, 2 — 15, 3 — 40.

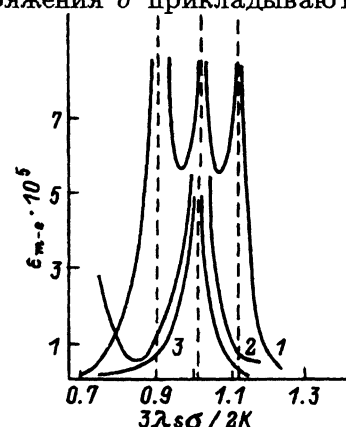


Рис. 2. Зависимость магнитоупругой деформации от величины прикладываемых напряжений при различных значениях амплитудной дисперсии анизотропии ΔK .

ΔK : 1 — 0.1 К, 2 — 0.3 К, 3 — 0.5 К.

оси трудного намагничивания. Значения углов поворота намагниченности в областях с различными значениями константы анизотропии найдем путем минимизации энергии доменной структуры, в которую входят энергия анизотропии, энергия взаимодействия намагниченности с внешним магнитным полем и магнитоупругая энергия.

$$E_1 = (K + \Delta K) \sin^2 \beta_1 - \frac{3}{2} \lambda_s \sigma \sin^2 \beta_1 - M_s H \cos(\pi/2 - \beta_1), \quad (4)$$

$$E_2 = K \sin^2 \beta_2 - \frac{3}{2} \lambda_s \sigma \sin^2 \beta_2 - M_s H \cos(\pi/2 - \beta_2), \quad (5)$$

$$E_3 = (K - \Delta K) \sin^2 \beta_3 - \frac{3}{2} \lambda_s \sigma \sin^2 \beta_3 - M_s H \cos(\pi/2 - \beta_3). \quad (6)$$

Находя значения углов поворота намагниченности $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ из выражения для магнитоупругой деформации [1]

$$\varepsilon_{m-e} = \frac{3}{2} \lambda_s \left(\sin \beta - \frac{1}{3} \right), \quad (7)$$

получим следующие выражения для величины магнитоупругой деформации ферромагнетика с амплитудной дисперсией анизотропии

$$\varepsilon_{m-e} = \frac{1}{2} \lambda_s \left[\left(\frac{M_s H}{2(K - \Delta K) - 3\lambda_s \sigma} \right)^2 + \left(\frac{M_s H}{2K - 3\lambda_s \sigma} \right)^2 + \left(\frac{M_s H}{2(K + \Delta K) - 3\lambda_s \sigma} \right)^2 - 1 \right].$$

Как показывают полученные зависимости ε_{m-e} от величины σ растягивающих напряжений при различных значениях амплитудной дисперсии анизотропии ΔK , с увеличением ΔK происходит заметное уменьшение магнитоупругой деформации ε_{m-e} (рис. 2). Значение величины ΔE -эффекта может быть найдено [1] из следующего выражения: $(E_s - E_H)/E_s$, где E_H — значение модуля упругости в магнитном поле H , E_s — значение модуля упругости в магнитном поле насыщения. Результаты проведенных расчетов показали, что с увеличением ΔK происходит уменьшение величины ΔE -эффекта. Таким образом, угловая дисперсия анизотропии приводит к смещению максимума ΔE -эффекта в направлении больших магнитных полей, тогда как амплитудная дисперсия анизотропии приводит к существенному снижению величины ΔE -эффекта. Следовательно, характер влияния угловой и амплитудной дисперсии анизотропии на величину ΔE -эффекта оказывается качественно различным.

Список литературы

- [1] Livingston J.D. Phys. Stat. Sol. (a) **70**, 591 (1982).
- [2] Squire P.T. J. Magn. Magn. Mater. **87**, 299 (1990).
- [3] Squire P.T., Gibbs M.R.J. IEEE Trans. Magn. **25**, 5, 3614 (1989).
- [4] Thomas A.P., Squire P.T., Gibbs M.R.J. IEEE Trans. Magn. **26**, 5, 1406 (1990).
- [5] Thomas A.P., Gibbs M.R.J. J. Magn. Magn. Mater. **103**, 97 (1992).
- [6] Berry B.S., Pritchett W.S. Phys. Rev. Lett. **34**, 1022 (1975).