

Анализ влияния магнитостатических полей на процесс перемагничивания одноосного магнетика с игольчатым выделением

А.М. Ерёмин

БПГУ им. В.М. Шукшина, г. Бийск

Проведён систематический теоретический анализ влияния магнитостатических полей на процесс перемагничивания одноосного магнетика с игольчатым выделением [1-3]. Аппроксимация игольчатого выделения проводилась цилиндром. Показано, что для некогерентных выделений игольчатой формы учёт магнитостатических взаимодействий в выражении для полной энергии системы обуславливает корректировку величины коэрцитивной силы (H_c) и поля разрушения одноосно намагниченного состояния (H_o) в сторону возрастания.

Постановка задачи и методика численных расчётов. Теоретическое исследование процессов перемагничивания магнетиков опирается на микромагнитный подход [4]. Рассматривалось игольчатое выделение, помещённое в матрицу. Между матрицей и выделением имелся переходный слой (ПС), оси лёгкого намагничивания матрицы и выделения были перпендикулярны друг относительно друга.

При произвольном распределении намагниченности, задаваемом полем единичных векторов

$$\vec{V}(\vec{x}) = V_1(\vec{x}) \vec{i} + V_2(\vec{x}) \vec{j} + V_3(\vec{x}) \vec{k} \quad (\vec{M}_s(\vec{x}) = M_s \vec{V}(\vec{x})),$$

полная энергия системы без учёта магнитоупругих эффектов и поверхностной анизотропии даётся выражением:

$$E[\vec{V}(\vec{x})] = \int_V A(\vec{x}) [(\vec{\nabla} V_1)^2 + (\vec{\nabla} V_2)^2 + (\vec{\nabla} V_3)^2] dV + \int_V F(\vec{V}(\vec{x})) dV - \int_V M_s(\vec{x}) \vec{H} \vec{V}(\vec{x}) dV - \frac{1}{2} \int_V M_s(\vec{x}) \vec{H}_m(\vec{x}) \vec{V}(\vec{x}) dV, \quad (1)$$

где первый член описывает обменную энергию (A – константа обменного взаимодействия), второй – энергию магнитной анизотропии, где $F(\vec{V}(\vec{x}))$ – некоторая функция ориентации намагниченности, вид которой зависит от симметрии кристаллической решётки, третий – энергию намагниченности во внешнем поле \vec{H} (M_s – константа намагниченности насыщения), а последний – энергию полей рассеяния, создаваемых намагниченностью $\vec{M}_s(\vec{x})$, V – объём системы.

Размагничивающее поле \vec{H}_m определяют через градиент магнито-статического потенциала U :

$$\vec{H}_m = -\vec{\nabla}U \quad (2)$$

В объёме системы магнито-статический потенциал удовлетворяет уравнению:

$$\text{div grad } U = 4\pi M_s \text{div } \vec{V}. \quad (3)$$

Магнито-статический потенциал на бесконечности принимался равным нулю, т.е. $U(\infty) = 0$. Нахождение равновесного распределения намагниченности заключалось в поиске некоторого локального минимума функционала свободной энергии (1) при условиях (2), (3). Численное решение задачи состояло в применении градиентного спуска для дискретного аналога функционала (1) – функции конечного числа переменных.

Результаты численных расчётов и их анализ. Некоторые результаты численных расчётов приведены и проанализированы в работах [1-3].

В частности, для $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ с некогерентным игольчатым выделением $\text{Fe} \sim 86$ нм и ПС ~ 43 нм расчётное значение H_c и H_0 без учёта магнито-статического члена в функционале энергии составляет соответственно $\sim 15,7$ кЭ и $\sim 8,5$ кЭ, а с учётом магнито-статического члена $H_c \sim 17,13$ кЭ, $H_0 \sim 9,9$ кЭ.

Как видно из расчётных данных, учёт магнито-статического члена в выражении для полной энергии системы в случае некогерентного игольчатого выделения, увеличивает значение H_c и H_0 за счёт анизотропии формы выделения.

Литература

1. Ерёмин А.М., Манаков Н.А., Толстобров Ю.В. // Изв. ВУЗов. Физика. – 2002. – Т. 44. – №8 (Приложение). – С. 26–29.
2. Ерёмин А.М., Манаков Н.А., Толстобров Ю.В. // Магнитная анизотропия и гистерезисные свойства редкоземельных сплавов: Сб. материалов. Всерос. школы-семинара. – Тверь: Твер. гос ун-т, 2003. –С. 5–13.
3. Манаков Н.А., Еремин А.М., Толстобров Ю.В. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – №2, Т. 2. Естественные и технические науки. – С. 58–61.
4. Браун У.Ф. Микромагнетизм. – М.: Наука, 1979. – 159 с.