

УДК 539.216.2:65.011.56

СИЛЫ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

В.Л. Дятлов

Оценка сил магнитостатического взаимодействия намагниченных магнитных пленок представляет практический интерес для определения перспектив создания пленочных электромагнитных элементов.

К магнитным пленкам не могут быть применены известные методы расчета сил для взаимодействующих массивных постоянных ленточных магнитов [1,2], что связано с необходимостью учитывать в пленках специфику доменной структуры. Также нельзя использовать и известные представления о сосредоточении всего магнитного заряда на противоположных концах однодоменной намагниченной пленки [3], поскольку в этом случае в области концов пленки возникли бы поля, направленные против момента и значительно превосходящие величину коэрцитивной силы.

Изучение доменной структуры на краях намагниченных пленок показало, что в этих областях возникают иглообразные домены, магнитный момент которых направлен против направления момента в центральной области пленки. Эти обратные домены имеют форму клиньев (для тонких пленок толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$) или форму конусов (для толстых пленок толщиной $\sim 10000 \text{ \AA}$). Примерный вид обратных доменов изображен на рис. 1, где размер δ характери-

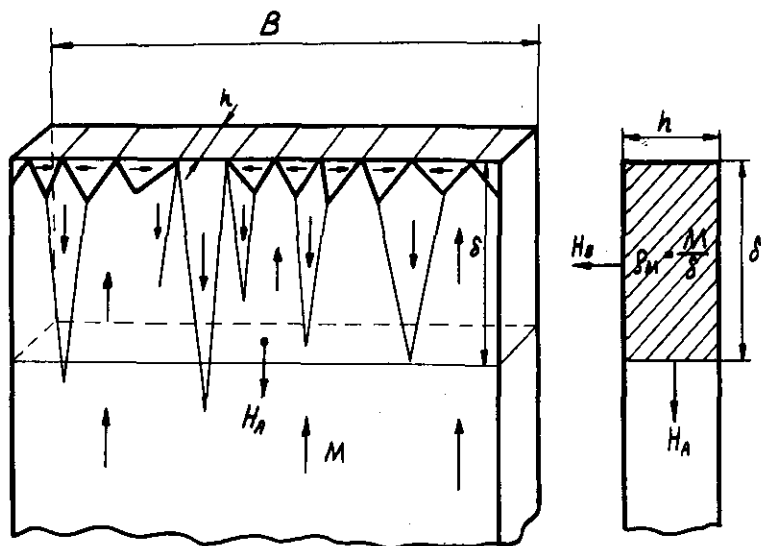


Рис. 1. Вид обратных доменов на краю намагниченной плёнки

зует величину области, занятой обратными доменами. В областях обратных доменов устанавливается такое распределение поверхностных и объемных магнитных зарядов, что возникающие размагничивающие поля не превышают величины коэрцитивной силы [4,5]. Величину δ можно оценить, предполагая, что распределение магнитного заряда в области расположения обратных доменов равномерно ($\rho_m = \frac{M}{\delta}$, где ρ_m — объемная плотность магнитного заряда, M — намагниченность насыщения) и максимальная величина размагничивающего поля H_A не превышает значения коэрцитивной силы H_c . Считая $\delta \gg h$, получим выражение для определения величины δ :

$$H_A = \frac{M}{2\pi} \left[2 \arctg \frac{h}{2\delta} + \frac{1}{2} \frac{h}{\delta} \ln \left(1 + \frac{4\delta^2}{h^2} \right) \right] = H_c, \quad (1)$$

где h — толщина пленки.

Для оценки сил взаимодействия намагниченных пленок необходимо определить поле H_B , направленное перпендикулярно плоскости пленки в точках середины области δ . Выражение для этого поля имеет вид:

$$H_B = \frac{M}{2\pi} \left[\frac{2h}{\delta} \arctg \frac{\delta}{2h} + \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{4h^2}{\delta^2} \right) \right] \quad (2)$$

В таблице приведены зависимости величин $\frac{H_c}{M}$ и $\frac{H_B}{M}$ от величины δ/h .

Т а б л и ц а

δ/h	1	5	10	50	500	5000
$\frac{H_c}{M}$	0,277	$1,05 \cdot 10^{-1}$	$6,38 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$	$2,51 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-4}$
$\frac{H_B}{M}$	0,277	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}

Учитывая приближенность предположения о равномерном распределении заряда в области обратных доменов, можно грубо представить данные таблицы выражениями:

$$\frac{H_c}{M} \cong \frac{h}{\delta} \quad \text{и} \quad H_B \cong \frac{1}{2} H_c \quad (3)$$

Зная величину H_B , можно теперь оценить силы взаимодействия (на единицу площади) двух близко расположенных пленок

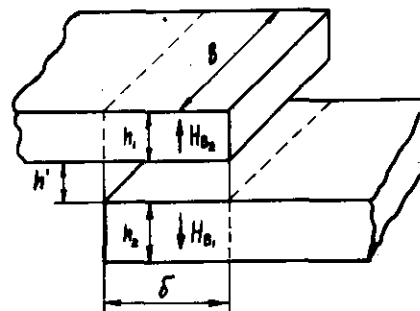


Рис. 2. Взаимодействие близко-расположенных магнитных плёнок

(на расстоянии $h' \ll \delta$) с одинаковыми величинами областей обратных доменов δ (рис. 2). Не вдаваясь в детали классического расчета (полагая $\delta \gg h$ и размагничивающий фактор областей δ в перпендикулярном плёнкам направлении близким к единице), получим выражение для этих сил (на длине δ):

$$p \cong \mu_0 \frac{H_{c1} H_{c2}}{2}, \quad (4)$$

где H_{c1} , H_{c2} - значения коэрцитивной силы для первой и второй плёнок соответственно.

Если принять $H_c = 1000$ а/см (высококоэрцитивные сплавы), то, согласно (4), $\rho \approx 10^{-1}$ кг/см². Такие величины сил достаточны для создания привода плёночных электромагнитных элементов с плёнками микронной толщины, о чем можно судить из сравнения этих сил с силами, развиваемыми в плёночных электростатических реле [6]. С другой стороны, при использовании высококоэрцитивных плёнок требуются исключительно высокие перемагничивающие токи, которые можно оценить величинами $I \approx 10$ а. В этой связи представляет интерес совместное использование в плёночных элементах постоянно намагниченных взаимодействующих магнитных плёнок и плёночных приводов на основе электростатического взаимодействия.

Л и т е р а т у р а

1. КОВАЛЕНКОВ В.И. Основы теории магнитных цепей. АН СССР, 1940.

2. БУЛЬ Б.К. Основы теории и расчета магнитных цепей. Энергия, 1964.

3. КОБЕЛЕВ В.В. Магнитные элементы устройств вычислительной техники. Сб. статей. АН СССР, ИТМ и ВТ, 1961, стр. 131.

4. ШИШКОВ А.Г., ОСУХОВСКИЙ В.Э. Влияние полей рассеяния на намагничивание тонких пермалловых плёнок. - Физика магнитных плёнок. Иркутск, 1968, стр. 107-120.

5. ИЛЬИЧЕВА Е.Н., КАНАВИНА Н.Г., ШИШКОВ А.Г. Исследование процессов зародышеобразования на краю тонких пермалловых плёнок. - Физика металлов и металловедение, 1966, т. 21, вып. 1, стр. 21-27.

6. ДЯТЛОВ В.Л., СОЛДАТЕНКОВ И.С. Некоторые результаты исследований плёночных электростатических реле. - Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам. Новосибирск, "Наука" СО, 1968, вып. 5, стр. 159-176.

Поступила в редакцию
20.9.1970