

05.1;05.2;12

©1993

## МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ В МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛАХ

*В.В.Рандошкин, В.Н.Дудоров*

Разработка магнитооптического метода визуализации и топографирования пространственно-неоднородных магнитных полей [1-4] открыла новые возможности для магнитной дефектоскопии. Суть этого метода состоит в нахождении распределения компонент магнитного поля по конфигурации доменных структур, формирующихся в визуализирующей магнитооптической пленке с высокой одноосной анизотропией. О дефектах источников магнитного поля, например, пленочных радкоземельных магнитов или магнитных головок, судят по неоднородности их магнитных полей рассеяния [3,4].

Идея использования магнитооптической визуализации для контроля дефектов магнитомягкого образца, не обладающего в обычных условиях полями рассеяния, состоит в намагничивании образца полем, параллельным поверхности визуализирующей пленки и много меньшим поля одноосной магнитной анизотропии  $H_k$  в ней, и в регистрации изменения конфигурации доменной структуры в пленке. Отсутствие таких изменений свидетельствует о малости полей рассеяния образца, тогда как парестройка доменной структуры — о наличии дефекта.

В настоящей работе сообщается о результатах использования магнитооптической дефектоскопии для контроля магнитомягких образцов с помощью различных визуализирующих пленок.

Дефекты визуализировали с помощью специализированной лупы с подсветкой. Доменную структуру наблюдали в отраженном свете с помощью магнитооптического эффекта Фарадея. Свет от источника (лампа накаливания) проходил через поляризатор и направлялся на визуализирующий элемент, состоящий из прозрачной подложки, на которой методом жидкофазной эпитаксии выращена висмутсодержащая монокристаллическая пленка феррит-граната (Vс-МПФГ), а затем нанесен зеркальный слой. Отраженный от этого слоя свет вновь проходит через пленку и подложку и далее — через линзу и анализатор. Магнитомягкими образцами служили стальные пластины толщиной 6 мм, в которых

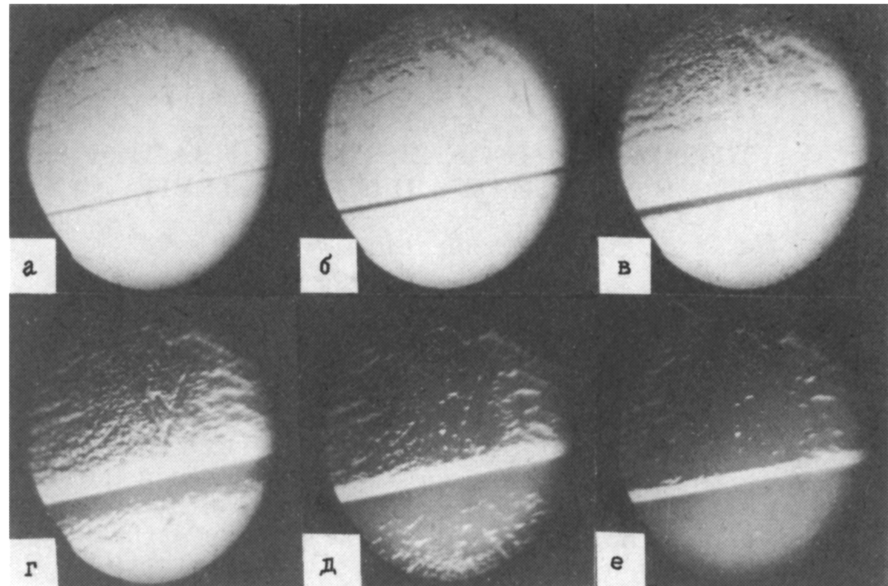


Рис. 1. Визуализированное изображение дефекта с  $a = 0.3$  мм при отсутствии прокладок в различных полях подмагничивания,  $H$ , Э: а — 440, б — 500, в — 620, г — 800, д — 1500, е — 2200.

создавали дефект в виде прямолинейного паза квадратного сечения со стороной квадрата  $a$ , которую варьировали от 0.3 до 1.5 мм. Поверх пластины помещали стальную или диэлектрическую плоскую прокладку. Стальная прокладка позволяла имитировать внутриобъемный дефект с различной глубиной залегания, а диэлектрическая прокладка — зазор между поверхностью стальной пластины и визуализирующей пленкой. Специализированная лупа располагалась над пазом. Указанные элементы помещали между полюсами электромагнита, создающего постоянное поле подмагничивания в плоскости стальной пластины. Напряженность этого поля  $H$  варьировали в пределах от 0 до 3.5 кЭ.

Рис. 1 иллюстрирует изменение визуализируемой картины при изменении  $H$  для случая, когда прокладки отсутствуют, а  $a = 0.3$  мм. Контролируемому дефекту соответствует темная полоса на светлом фоне. Видно, что в диапазоне  $H = 440-1100$  Э эта полоса уширяется с ростом поля подмагничивания, причем одна из границ полосы (доменная стенка в Вс-МПФГ) остается резкой, тогда как другая при  $H = 800$  Э начинает терять прямолинейность и резкие очертания. Кроме полосы на рис. 1 видны локальные темные области, обусловленные поверхностным рельефом стальной пластины, которая не подвергалась механической

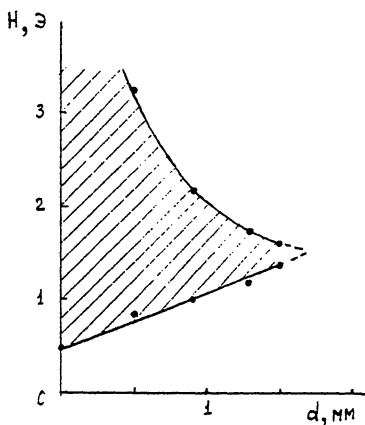


Рис. 2. Зависимость диапазона полей подмагничивания  $H$ , в котором выявляется дефект с  $a = 0.3$  мм, от толщины диэлектрической прокладки  $d$ .

обработке типа шлифовки или полировки. Этот рельеф наиболее заметен в диапазоне  $H = 700-1500$  Э, причем раньше всего он проявляется вдали от паза, тогда как в окрестности последнего визуализирующая пленка остается однородно намагниченной, о чем свидетельствует наличие широкой светлой полосы. С ростом поля подмагничивания эта полоса сужается.

Визуализация дефекта возможна в некотором диапазоне полей подмагничивания, причем с ростом зазора между поверхностью стальной пластины и визуализирующей пленкой (толщины диэлектрической прокладки  $d$ ) нижняя граница этого диапазона повышается, а верхняя резко понижается (рис. 2). Дефект перестает выявляться, если указанный зазор превышает размер дефекта примерно на порядок величины.

Наличие стальной прокладки также усложняет визуализацию дефекта, однако ее влияние слабее, чем в случае диэлектрической прокладки. Так, паз с  $a = 0.3$  мм в случае стальной прокладки толщиной 2 мм выявляется в диапазоне полей  $H = 1170-2800$  Э, тогда как в случае диэлектрической прокладки его выявление оказалось невозможным.

В качестве визуализирующего элемента могут быть использованы Вс-МПФГ различного состава [3]. Наилучшие результаты получены для Вс-МПФГ толщиной  $h \lesssim 5$  мкм,

Параметры Вс-МПФГ состава  $(R, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$  с ориентацией (111) на подложках  $Gd_3Ga_5O_{12}$  (ГГГ) и  $(Gd, Ca)_3(Mg, Zr, Ga)_5O_{12}$  (ГКМЦГГ)

№ п/п	R	Подложка	$h$ , мкм	$w$ , мкм	$H_{нас}$ , Э	$H_k$ , кЭ
1	Gd	ГКМЦГГ	1.0	172	17	3.5
2	Gd	—''—	7.3	21	15	3.5
3	Gd, Eu	—''—	3.0	28	14	3.5
4	Y, Pr	—''—	2.8	11	45	2.4
5	Y, Lu, Pr	—''—	5.6	55	5	3.5
6	Y, Lu, Pr	—''—	2.9	27	24	2.8
7	Y, Lu, Pr	—''—	4.1	78	13	3.5
8	Y, Lu, Pr	—''—	2.6	11	50	0.8
9	Yb	ГГГ	6.6	36	16	3.5
10	Er	—''—	2.9	55	12	3.5
11	Er	—''—	4.5	12	26	2.8
12	Y, Lu	—''—	5.3	22	9	3.5
13	Gd, Tm	—''—	3.3	20	11	1.1

полем насыщения вдоль нормали к пленке  $H_{нас} = 10-100$  Э, шириной полосовых доменов  $w \gtrsim 10$  мкм и полем одноосной анизотропии  $H_k \gtrsim 1000$  Э (см. таблицу).

Таким образом, в работе показано, что метод магнитооптической визуализации можно использовать для целей дефектоскопии изделий из магнитомягких материалов. Конфигурация визуализируемого изображения дефекта зависит от условий подмагничивания образца, глубины залегания дефекта и величины зазора между поверхностью образца и визуализирующей пленкой.

Авторы выражают благодарность М.В. Логунову за помощь при выполнении настоящей работы.

## Список литературы

- [1] Червоненкис А.Я., Кубраков Н.Ф. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 11. С. 696-699.
- [2] Kubrakov N.F. // Proc. SPIE. 1989. V. 1126. P. 85-92.
- [3] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [4] Кубраков Н.Ф. Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука, 1992. С. 136-164. (Тр. ИОФАН. Т. 35).

Совместная хозрасчетная лаборатория  
"Магнитооптоэлектроника"  
Института общей физики РАН  
при Мордовском государственном  
университете им. Н.П.Огарева

Поступило в Редакцию  
5 октября 1993 г.