

05.1;05.2;06.3;07;12

©1994

ДИНАМИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛАХ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО МАГНИТОВИЗОРА

В.В.Рандошкин, М.В.Логунов

Магнитооптический магнитовизор используется для визуализации пространственно-неоднородных магнитных полей [1-4], визуализации дефектов в изделиях из постоянных магнитов [5], в магнитных головках [6], в изделиях из магнитомягких материалов [7-9]. В последнем случае магнитные поля рассеяния в окрестности дефекта создают, помещая образец во внешнее магнитное поле.

Важной задачей является визуализация дефектов в немагнитных проводящих материалах. Для обнаружения таких дефектов часто используют вихретоковый метод [10]. Целью настоящей работы являлось расширение возможностей вихретокового метода за счет обеспечения визуализации дефектов с помощью магнитооптического магнитовизора.

В качестве преобразователя в магнитовизоре использовали висмут-содержащую монокристаллическую пленку феррит-граната (МПФГ) [1,2], которую помещали вблизи поверхности исследуемого образца в области действия испытательной накладной катушки с внутренним диаметром 2.5 мм. Распределение намагниченности в МПФГ визуализировали с помощью магнитооптического эффекта Фарадея в режиме "на отражение". Использовали импульсный источник света, синхронизованный с источником импульсов тока, подаваемых в испытательную катушку. Это обеспечивало наблюдение динамических доменных структур в МПФГ, формируемых в процессе действия импульса магнитного поля [1,11].

В качестве образцов использовали медную пластину (фольгу) толщиной 0.15 мм, в которой выполнены сквозные отверстия диаметром 1.0 и 2.5 мм, и стальные пластины толщиной 6 мм, в которых выполнены отверстия диаметром от 0,5 до 5.0 мм, а также прямолинейные пазы квадратного сечения со стороной квадрата от 0.3 до 1.5 мм.

Экспериментальная установка обеспечивала длительность импульса подсветки (время экспозиции) 5 нс, длительность импульса магнитного поля (тока) до 1 мкс при

длительности фронта импульса в отсутствие контролируемого образца не более 0,05 мкс (при помещении вблизи испытательной катушки контролируемого образца длительность фронта возрастала на порядок и более).

Эксперименты проводили следующим образом. В исходном состоянии МПФГ намагничивали до насыщения полем смещения $H_{см}$, приложенным вдоль нормали к пленке. Испытательная катушка формировала противоположно направленное импульсное магнитное поле $H_{и}$, изменяющееся вдоль радиуса катушки. Приложение поля $H_{и}$ вызывало импульсное перемагничивание МПФГ, механизм зависит от амплитуды и длительности импульса магнитного поля, а также от длительности его фронта [1,11]. При помещении контролируемого образца вблизи катушки механизм перемагничивания МПФГ изменяется, поскольку формирующиеся вихревые токи создают противоположно направленное магнитное поле. При наличии дефекта в пластине, локально снижающего электропроводность, плотность вихревых токов уменьшается. Как следствие, результирующий магнитный поток через катушку будет выше, чем в случае бездефектной пластины.

На рис. 1 приведены фотографии, иллюстрирующие метод визуализации дефектов в немагнитных проводящих материалах. Использовался контраст, близкий к фазовому, что позволяло визуализировать области МПФГ, для которых вектора намагниченности в каком-нибудь слое отклоняются от нормали к пленке. На рис. 1, а показана доменная структура в МПФГ при $H_{см} = 0$ и $H_{и} = 0$. Заметим, что МПФГ с дефектами использовали специально (с целью демонстрации возможностей разделения дефектов МПФГ и контролируемого образца, исходя из визуализируемой картины). Рис. 1, б относится к случаю, когда МПФГ намагничена до насыщения полем смещения, и иллюстрирует неоднородность лазерного пучка, а также рассеивание света на дефектах МПФГ.

Рис. 1, в относится к случаю, когда вместе с полем смещения приложен импульс магнитного поля, а контролируемый образец отсутствует. Видны домены с обратной намагниченностью (ДОН), зарождающиеся на дефектах МПФГ. Эти же дефекты проявляются на рис. 1, а и частично на рис. 1, б.

Рис. 1, г относится к случаю, когда присутствует контролируемый образец с дефектом в виде отверстия, причем испытательная катушка и отверстие не соосны, а частично перекрываются. Видно, что кроме ДОН, наблюдающихся и на рис. 1, в, имеет место динамическая доменная стенка, локализованная примерно по краю отверстия в пластине. Этот факт подтверждается непосредственным наблюдением

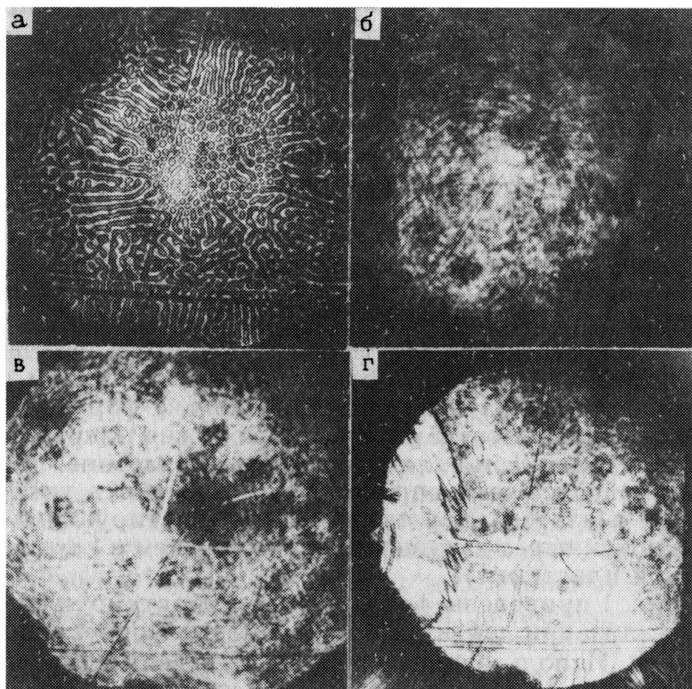


Рис. 1. Фотографии, иллюстрирующие методику визуализации дефектов в проводящих материалах: *а* — статическая доменная структура; *б* — намагниченная до насыщения МПФГ; *в* — динамическая доменная структура в отсутствие контролируемого образца; *г* — динамическая доменная структура в присутствии медной пластины с отверстием.

отверстия сквозь МПФГ, на поверхность которой не наносилось отражающее покрытие. Кроме того, при перемещении контролируемого образца относительно катушки указанная доменная стенка также перемещалась по поверхности МПФГ, тогда как ДОН, связанные с дефектами МПФГ, не меняли своего местоположения. Заметим, что формирование динамической доменной стенки, связанной с дефектом контролируемого образца, обусловлено медленным нарастанием магнитного поля (при наличии пластины длительность фронта импульса возрастает до 0.66 мкс). “Изрезанность” этой доменной стенки обусловлена поверхностными дефектами контролируемого образца.

Рис. 2, где показаны визуализируемые картины, полученные в одних и тех же условиях, но в разные моменты времени, иллюстрирует необходимость использования импульс-

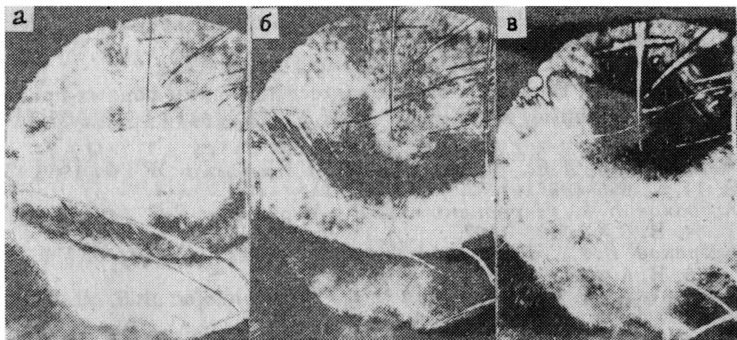


Рис. 2. Визуализированные картины, связанные с дефектом медной пластины в виде отверстия, в различные моменты времени после подачи в испытательную катушку импульса тока: а — 0.69; б — 0.76; в — 0.88 мкс. Длительность фронта импульса 0.66 мкс.

ной подсветки. Узкие доменные конфигурации, представляющие собой зарождающиеся на дефектах пленки ДОН, медленно расширяются со временем, причем их число возрастает. Широкие доменные конфигурации обусловлены влиянием вихревых токов в пластине. Внешний край перемагничиваемой области связан с краем отверстия в пластине (поскольку использовался фазовый контраст, то светлыми являются области, которые либо еще не начинали перемагничиваться, либо уже полностью перемагнитились). Так как внутри отверстия вихревых токов нет, то внутренняя граница перемагничиваемой области перемещается существенно быстрее, чем ее внешняя граница. Постепенное потемнение визуализируемой картины со временем, по-видимому, связана с перемагничиванием переходного поверхностного слоя МПФГ с пониженной анизотропией [11].

Таким образом, в настоящей работе показана принципиальная возможность динамической визуализации дефектов в изделиях из проводящих материалов с помощью магнитооптического магнитовизора с импульсной (стробоскопической) подсветкой при возбуждении в контролируемом образце вихревых токов.

Авторы благодарят В.Н. Дудорова за помощь при выполнении данной работы.

Список литературы

- [1] Рандошкин В.В., Червоенкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат. 1990. 320 с.
- [2] Кубраков Н.Ф. // Proc. SPIE. 1989. V. 1126. P. 85-92.
- [3] Кубраков Н.Ф. В сб.: Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука. 1992. С. 136-164. (Труды ИОФАН. Т. 35).
- [4] Червоенкис А.Я., Кубраков Н.Ф. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 11. С. 696-699.
- [5] Кубраков Н.Ф., Червоенкис А.Я., Меркулова Г.Я. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 6. С. 1163-1167.
- [6] Кубраков Н.Ф., Червоенкис А.Я., Кащеев М.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 6. С. 1215-1218.
- [7] Введенский Б.С., Лисовский Ф.В., Червоенкис А.Я. // Техника кино и телевидения. 1978. В. 6. С. 11-16.
- [8] Рандошкин В.В., Логунов М.В. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 16. С. 62-65.
- [9] Рандошкин В.В., Дудоров В.Н. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 22. С. 79-83.
- [10] Михелев Л.И. Контроль качества машин. М.: Машиностроение. 1991. 160 с.
- [11] Рандошкин В.В. В сб.: Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука. 1992. С. 49-107 (Труды ИОФАН. Т. 36).

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

Поступило в Редакцию
13 января 1994 г.

