

УДК 537.8

МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ: ИНТРОСКОПИЧЕСКИЙ И МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОДЫ

*Вишневский В.Г.¹, Бержанский В.Н.¹, Козик Г.П.¹, Михайлов В.И.¹,
Панков Ф.Н.¹, Левый С.В.², Агалиди Ю.С.²*

¹Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Украина

²НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

E-mail: domain@crimea.edu, sleviy@lad.org.ua

В работе рассмотрены вихретоковая интроскопия и магнитография с использованием магнитооптического датчика на основе висмутосодержащей гранатовой пленки, применительно к проводящим неферромагнитным объектам контроля. В экспериментах были использованы пленки составов $(\text{Bi, Eu, Lu})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ и $(\text{Bi, Tm})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$, синтезированные методом эпитаксии из жидкой фазы. Приведены блок-схемы магнитооптического интроскопа и магнитографа. Приведены параметры пленок, с использованием которых получены лучшие результаты. Получены вихретоковые магнитооптические образы дефектов в тестовых объектах контроля. Представлены фотографии этих дефектов и их магнитооптических образов, полученных при различных режимах.

Ключевые слова: магнитооптика, вихревые токи, гранатовая пленка, визуализация, магнитография.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитооптические (МО) преобразователи часто применяют для визуализации неоднородных магнитных полей и выявления скрытых дефектов ферромагнитных изделий [1, 2]. Однако в случае неферромагнитных материалов намагнитить объект контроля (ОК) невозможно, и в нем индуцируют вихревые токи (ВТ), которые генерируют магнитное поле, зависимое, в том числе, и от дефектов в ОК. Анализ топологии этого поля и позволяет обнаруживать дефекты в ОК.

В [3], по-видимому, впервые была предложена схема МО интроскопа, где возбуждение ВТ в ОК реализовано пропусканием переменного тока через толстую пластину-проводник (индуктор), расположенную между ОК и МО преобразователем. МО преобразователем здесь служила монокристаллическая эпитаксиальная пленка феррита-граната (ЭПФГ). Идея [3] получила развитие в [4], где индуктор ВТ – катушка-соленоид, вместе с МО преобразователем, расположена на поверхности ОК. Обработка регистрируемой видеоинформации в схеме [4] осуществлялась цифровой фильтрацией изображений в реальном времени. При этом применялся специальный видеопроцессор и проблемно-ориентированное программное обеспечение. В [5] описана схема намного более простого устройства, основанного на принципе стробоскопического освещения.

Иным направлением МО ВТ контроля является магнитографирование (МГ), т.е. запись полей рассеяния ОК, индуцированных ВТ, на промежуточный носитель (магнитную ленту), наложенный на поверхность объекта [6]. Наилучшим вариантом анализа МГ и здесь является визуализация с помощью МО преобразователя.

Несмотря на аналогичность функций, индукторы МО ВТ интроскопов и магнитографов имеют принципиально различные конфигурации. Так как для интроскопии нужно одновременно возбуждать ВТ в скин-слое по всей площади МО преобразователя, то индуктор, как правило, выполняется в виде соленоида, накладываемого на МО преобразователь. Для плоской катушки, имеющей n витков среднего радиуса r , напряженность поля H , порождаемого током I на расстоянии x , определяется соотношением

$$H_{coil} = \frac{nIr^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где x – расстояние от торца катушки по её оси. В частном случае ($x \approx 0$)

$$H_{coil} = \frac{nI}{2r}. \quad (1a)$$

В то же время, для выполнения МГ достаточно одновременно возбуждать ВТ в относительно узком сегменте скин-слоя по ширине области записи. Поэтому МГ индуктор целесообразно выполнять в виде отрезка прямолинейного проводника. Для такого отрезка с круглым сечением (радиуса R), напряженность магнитного поля H на его поверхности ($x = 0$), определяется простой формулой

$$H_{wire} = \frac{I}{2\pi r}. \quad (2)$$

В рассматриваемых далее схемах индукторов используются различные по напряженности магнитные поля $H_{coil} \neq H_{wire}$, что обусловлено разными площадями одномоментно возбуждаемых ВТ и различными чувствительностями рабочих сред (коэрцитивностью МО преобразователя и магнитной ленты).

1. ВИХРЕТОКОВАЯ ИНТРОСКОПИЯ

На рис. 1 видно, что силовые линии магнитного поля H_0 возбуждаемого катушкой-индуктором, пронизывают ОК, зарождая в нем вихревые токи, плотность которых распределена по объекту как в зависимости от расстояния по оси катушки, по глубине, так и от внутренних неоднородностей.

Если индуктор установлен над линейным дефектом типа трещины (щели), то в плоскости ОК образуются два контура ВТ, что изменяет структуру результирующего электромагнитного поля (рис. 2). В отсутствие дефекта ВТ в объеме детали текут по круговым контурам, создавая вторичное поле H_i . Составляющая поля дефекта формируется ввиду разделения контуров, токи которых протекают вдоль краев дефекта в противоположных направлениях. Нормальная компонента поля $H_{\delta n}$ в срединной плоскости трещины имеет максимум, а тангенциальная $H_{\delta t}$ здесь равна нулю. Если дефект не пересекает контур ВТ, он практически не создает поля рассеяния и не обнаруживается при конструкции индуктора в виде катушки. Таким дефектом в металле может быть, например, уединенная пора.

МО преобразователь, расположенный на ОК (рис. 1) и чувствительный только к полю вдоль оси индуктора, должен регистрировать суммарное поле

$$H = H_0 - H_i + H_{\delta n}. \quad (3)$$

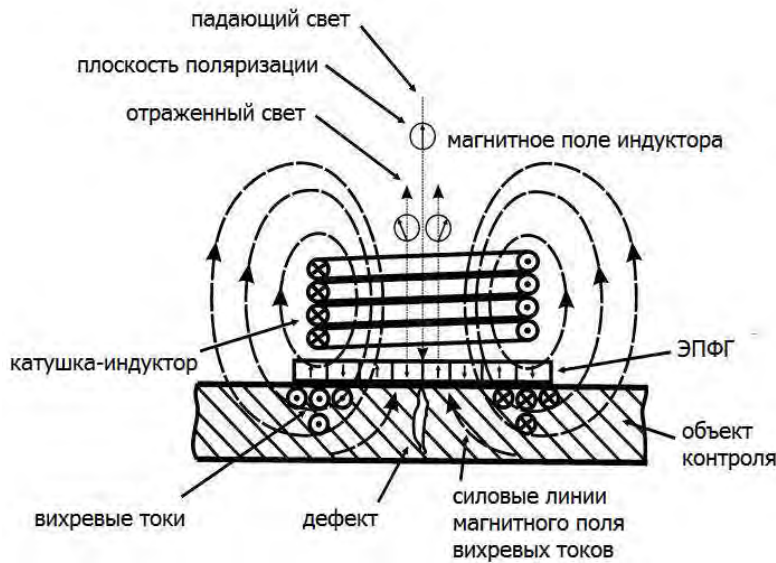


Рис. 1. Принцип действия соленоидального индуктора ВТ.

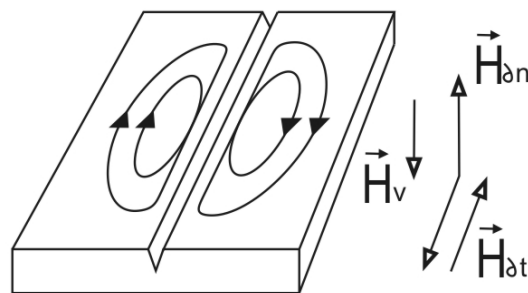


Рис. 2. Разделение контуров вихревых токов линейным дефектом.

ЭПФ с одноосной (перпендикулярной) анизотропией может служить таким преобразователем, ибо детектируемое им поле будет направлено вдоль оси легкого намагничивания (ОЛН). Тогда равновесная доменная структура (ДС) пленки, в случае если суммарное внешнее магнитное поле меньше поля насыщения H_s , но превышает величину ее коэрцитивности H_c , выстроится адекватно пространственному распределению внешнего поля, отображая конфигурацию полей рассеяния дефектов в ОК. В зонах, внутри контура которых $|H| > |H_s|$, реакция преобразователя будет отсутствовать. МО контраст в картине распределения ДС возникает в отраженном поляризованном свете (рис. 1) благодаря эффекту Фарадея.

В индукторе генерируют переменный ток (обычно синусоидальный), и ДС ЭПФ реагирует на создаваемое поле при его нарастании, либо убывании. После того момента, когда ДС входит в насыщение и становится монодоменной ($H = H_s$), распределение поля рассеяния дефекта в ОК перестает отображаться; информация о

его МО образе теряется. Поэтому важной составляющей принципа действия стробоскопического МО интроскопа является правильный выбор момента и длительности экспозиции. Видеосистема или осветитель должны обеспечивать регистрацию изображений ДС лишь в определенные моменты времени. Если осветитель (например, светодиод) функционирует как в моменты роста, так и в моменты спада тока в индукторе, картины ДС ЭПФГ окажутся инверсными. Это неизбежно вызовет потерю МО контраста.

В сравнении с синусоидальным режимом питания индуктора импульсный режим позволяет снизить амплитуду рабочего напряжения и повысить частоту генерации ВТ и вспышек освещения. При этом оказывается возможным повысить интенсивность света, и, следовательно, яркость и контраст изображений только за счет импульсного режима работы светодиода.

Блок-схема интроскопа, использовавшегося в описываемых экспериментах, приведена на рис. 3. Она несколько отличается от устройства, описанного в [5].

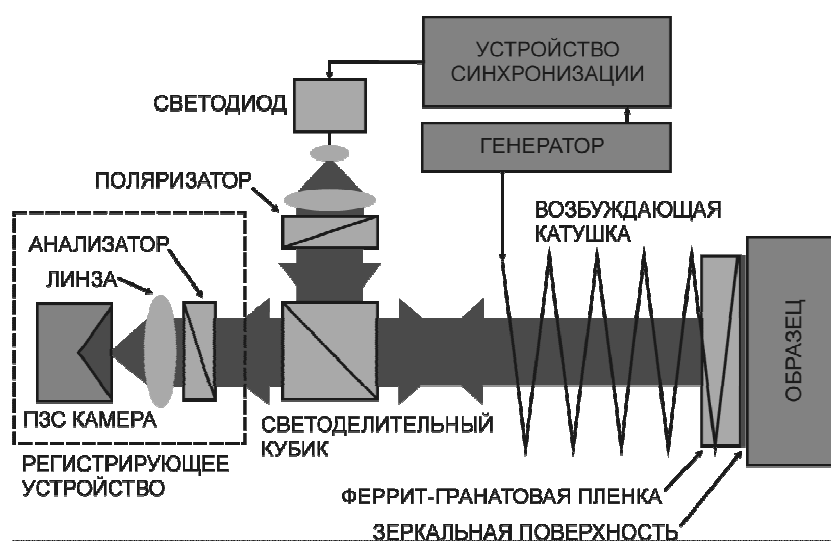


Рис. 3. Блок-схема ВТ МО интроскопа.

Оптическая часть включала систему освещения и построения изображений в отраженном поляризованном свете. В качестве поляризатора и анализатора применены обычные дихроичные поляриды, а линза объектива формировала пятикратно увеличенное изображение ДС ЭПФГ на матрице CCD. Ввод видеок кадров в компьютер осуществлялся посредством USB-CCD камеры с разрешением 1,3 Мпс и чувствительностью 0,1 лк. В качестве осветителя применялся мощный светодиод с белым излучением. Коллимация излучения и его равномерность обеспечивались линзой с матовой поверхностью.

В экспериментах были использованы ЭПФГ составов $(\text{Bi}, \text{Eu}, \text{Lu})_3(\text{Fe}, \text{Ga}, \text{Al})_5\text{O}_{12}$ и $(\text{Bi}, \text{Tm})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$, синтезированные методом эпитаксии из жидкой фазы на монокристаллических подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ кристаллографической ориентации

(111) со стандартным параметром решетки $12,383 \text{ \AA}$. Поле эффективной одноосной анизотропии образцов пленок $H_k > 240 \text{ кА/м}$, поле насыщения $H_s < 3,6 \text{ кА/м}$, толщина эпитаксиального слоя $h = 5\text{-}6 \text{ мкм}$, период собственной (равновесной) ДС $2w = 20\text{-}45 \text{ мкм}$. Коэрцитивность пленок H_c не превышала значений $0,056 \text{ кА/м}$. Суммарное вращение Фарадея θ на длине волны света $0,63 \text{ мкм}$ составило $6,5\text{-}8,50^\circ$. В качестве зеркально-защитного слоя на контактную поверхность пленок методом напыления в вакууме было нанесено устойчивое к износу композиционное покрытие Cr+TiN толщиной $1,5 \text{ мкм}$.

Источником прямоугольных импульсов служил программируемый микроконтроллер, вырабатывающий два сигнала: один сигнал усиливался и преобразовывался для питания индуктора, другой – для подачи короткого стробирующего импульса на светодиод. Прошивкой контроллера выбирались частота тока в индукторе, момент и длительность стробирования.

Генерация импульсов обеспечивалась синхронно на усиливающие модули светодиода и управления драйвером усилителя мощности. Импульсы синхронно перестраивались вместе с током индуктора в диапазоне $f = 0,3\text{-}45 \text{ кГц}$. Сигнал на строб светодиода менял длительность в пределах от $1,37$ до 30 мкс . Положение (фаза) строба, его длительность и частота сохранялись в энергонезависимую память для восстановления при каждом последующем включении устройства. Усилитель мощности был собран на двух полевых транзисторах, функционирующих в ключевом режиме. Для получения синусоидального напряжения последовательно с выходным трансформатором подключен набор ёмкостей, определяющих резонансную частоту колебаний. Во вторичную обмотку трансформатора подключался индуктор. Число витков в его катушке варьировалось от 200 до 250 , расчетный ток в ее цепи – до 5 А .

Тестовыми ОК (см. рис. 4) служили наборы калибровочных щелей с дискретно меняющимся зазором ($0,1\text{-}1 \text{ мм}$), выполненных в полированных пластинах толщиной 1 мм из нержавеющей стали и алюминиевого сплава.

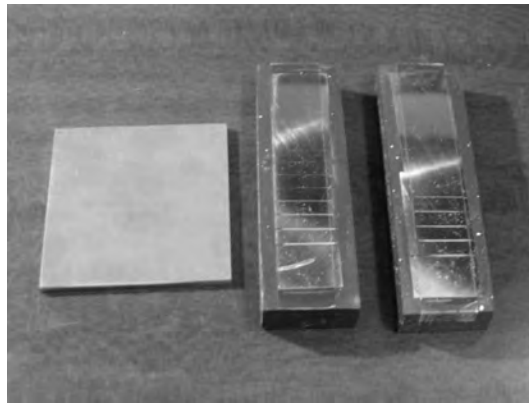


Рис. 4. Тестовые ОК: сварные пластины и калибровочные щели.

Кроме того, изучались МО ВТ образы бездефектных сварных швов в более толстых пластинах (5 мм) из тех же материалов. МО ВТ образы, полученные экспериментально, представлены на рис. 5 и 6.

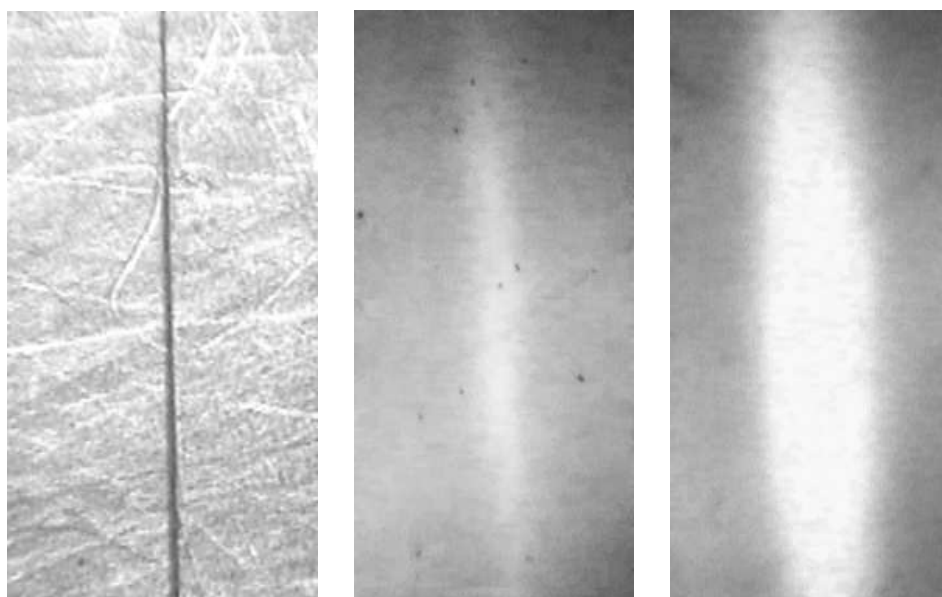


Рис. 5. Изображение 0,1 мм щели в алюминии (слева) и два последовательных МО ВТ образа при двукратном росте тока в индукторе. Частота 13 кГц.



Рис. 6. Эффект последовательной смены амплитуды тока в индукторе при получении МО ВТ образа щели в нержавеющей стали. Частота тока 11 кГц.

Как видно, МО ВТ образ отличается от реальных дефектов тестовых ОК некоторым «размытием». Эксперимент показал, что степень «размытия» коррелирует с частотой тока в индукторе. Роль амплитуды тока при этом неоднозначна: с ее ростом яркость и контраст ВТ образа ОК вначале увеличиваются, а затем уменьшаются. Поскольку регистрируемые устройством изображения зависят от интерференции частот видеоразвертки и импульсов освещения, вероятно, было бы целесообразно применить CCD-камеру с функцией управления электронным затвором. Это позволило бы подбирать частоту следования видеокadres соответственно частоте тока в индукторе. При отборе ЭПФГ лучшие результаты были получены на образцах с минимальной величиной H_s (т.е. с наибольшим периодом ДС; $2w = 45$ мкм). МО ВТ образы сварных швов с помощью интроскопа получить не удалось.

Очевидно, можно расширить возможности интроскопа за счет индуктора, имеющего рамочную конструкцию. Можно также применить принцип вращающегося поля, как это предложено в [6]. Тогда станет возможным выявлять в ОК аксиально-симметричные дефекты типа отверстий.

2. ВИХРЕТОВАЯ МАГНИТОГРАФИЯ

На рис. 7 видно, что силовые линии магнитного поля $H_{exc}(t)$, возбуждаемого отрезком проводника (индуктором) с переменным током $I_{exc}(t)$, пронизывают образец, зарождая в нем вихревые токи $I_{EC}(t)$, плотность которых распределена по образцу в зависимости от формы и расположения проводника и от неоднородностей в ОК.

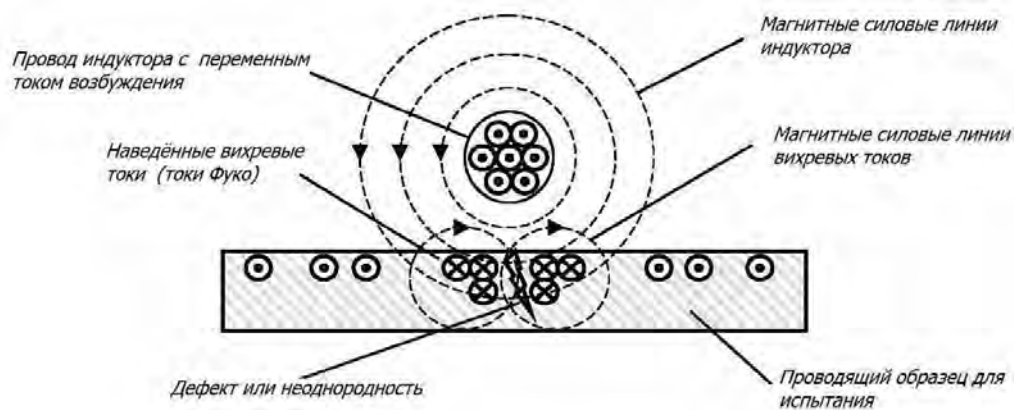


Рис. 7. Принцип действия прямолинейного индуктора ВТ.

Если индуктор установлен над бездефектной областью ОК, то в скин-слое ОК образуются зеркально-симметричные контуры ВТ с максимальной плотностью тока по оси симметрии (рис. 8а). При положении индуктора над дефектом произвольной формы, траектории ВТ искривляются по законам Ома и Кирхгофа, что существенно меняет структуру результирующего электромагнитного поля (рис. 8б), являющегося суперпозицией поля индуктора $H_{exc}(t)$ и магнитного поля ВТ $H_{EC}(t)$.

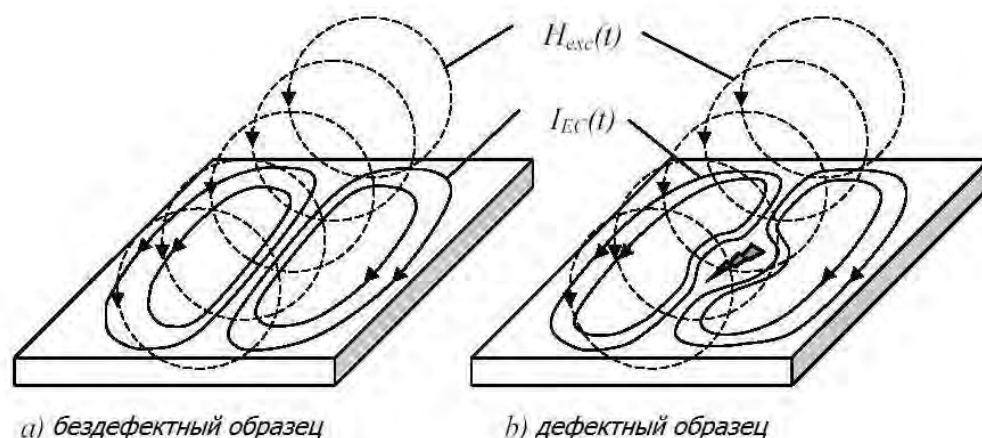


Рис. 8. Разделение контуров вихревых токов точечным дефектом.

Магнитная лента, предварительно зафиксированная на поверхности ОК, регистрирует пространственно-неоднородное магнитное поле над поверхностью ОК и, в результате продольного сканирования индуктора, сохранит в виде МГ ВТ образ неоднородностей и дефектов ОК. Так как лента гибкая и проводник индуктора тоже может быть сделан гибким и располагаться на упругом основании (как пружинящая опора на рис. 9), это позволяет контролировать поверхности сложного профиля. Напряженность поля вокруг проводника с током (как и плотность ВТ) обратно пропорциональна удаленности от него x и для бесконечно длинного и тонкого проводника определяется в соответствие с формулой Био-Савара-Лапласа

$$H_{exc}(t) = \frac{I_{exc}(t)}{2\pi x} \quad (4)$$

Гибкость проводника индуктора обеспечивает эквидистантность от ОК при минимальном значении x , чем поддерживается высокая амплитуда $H_{exc}(t)$ на всей поверхности ОК.

Кроме того, т.к. напряженность поля рассеяния дефекта линейно зависит от напряженности на поверхности $H_{ECmax}(t)$ и нелинейно - от размеров дефекта λ и удаленности y :

$$H_{EC}(t) = H_{ECmax}(t) \cdot e^{-\frac{2\pi y}{\lambda}} \quad (5)$$

Гибкость ленты обеспечивает эквидистантность от ОК при минимуме удаленности y , что, в свою очередь, поддерживает высокую и равномерную амплитуду $H_{EC}(t)$ в ферромагнитном слое ленты.

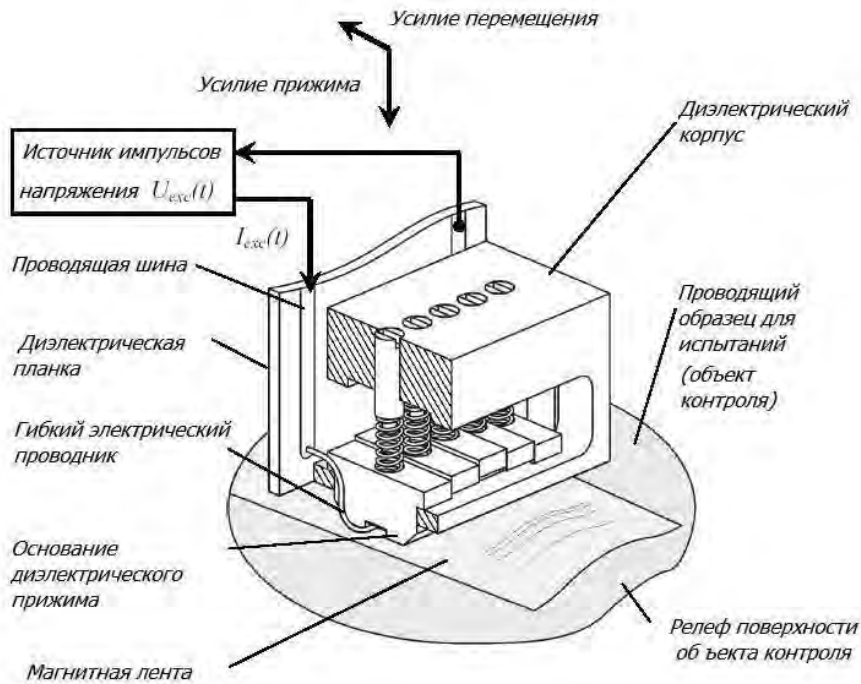


Рис. 9. Устройство прямолинейного индуктора ВТ.

Конструктивные особенности описываемого индуктора обеспечивают низкую индуктивность нагрузки L . Поэтому оказывается малой постоянная времени эквивалентной схемы (RL -цепи) индуктора $\tau = L / R$ (где L – индуктивность, а R – активное сопротивление выходной цепи), что дает возможность работы на высоких частотах с крутыми фронтами $I_{exc}(t)$ и индуцировать мощные высокочастотные импульсы ВТ $I_{EC}(t)$. На рис. 10 приведен отклик тока в индукторе $I_{exc}(t)$, на напряжение возбуждения $U_{exc}(t)$ в виде последовательности прямоугольных импульсов, согласно выражению:

$$I_{exc}(t) = \frac{U_o}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (6)$$

Отклик ВТ на рис. 10 получен, с учетом (5), как производная от функции (6) тока возбуждения $I_{exc}(t)$, протекающего в индукторе.

Блок-схема МО ВТ магнитографа приведена на рис. 11. Технологический процесс контроля содержит четыре последовательных операции (шаг и 1-4): запись МГ, передача МГ на МО визуализацию, МО визуализация МГ, анализ МО изображений и принятие дефектоскопического решения.

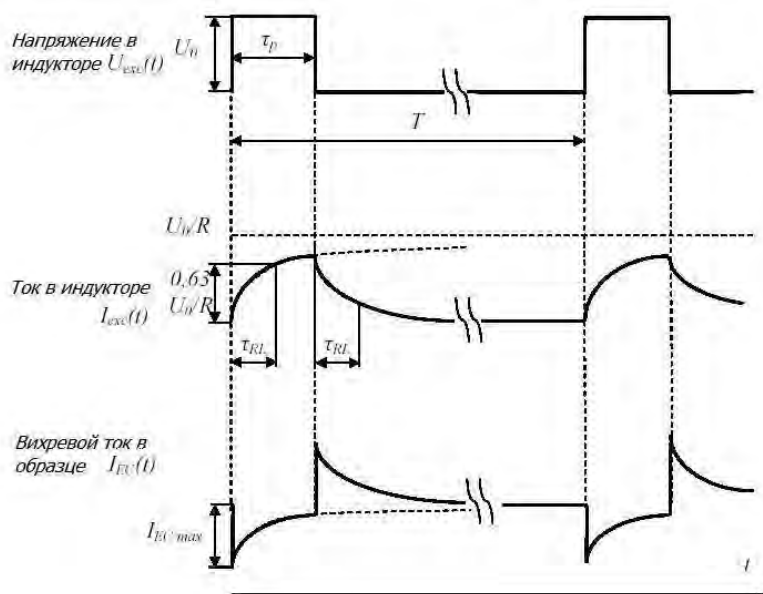


Рис. 10. Отклик тока в индукторе и ВТ на напряжение возбуждения в виде последовательности прямоугольных импульсов.

Устройство записи МГ выполнено на основе описанного выше индуктора ВТ и оснащено приводом для сканирования поверхности и системой фиксации ленты. Устройство МО визуализации, в значительной мере соответствует рис. 3, но отличается наличием приводов пошагового перемещения и прижима ленты. Последовательность частично перекрывающихся МО образов, формируемая ССD-камерой в последовательность перекрывающихся кадров, вводится в РС и программно сшивается в панорамную сшивку, используемую для дальнейшего анализа.

В экспериментах использовались устройства, принадлежности и материалы со следующими характеристиками. Для МГ применена металлическая лента для продольной записи: остаточная магнитная индукция $B_r = 0,08\text{Тл}$; максимальная остаточная намагниченность $M_r \text{ max} = 64\text{кА/м}$; коэрцитивность $H_c = 32\text{кА/м}$; параметры насыщения $H_s = 80\text{кА/м}$, $B_s = 0,1\text{Тл}$; ширина 1дюйм; толщина 15мкм. Проводник индуктора ВТ выполнен из жилы электротехнической меди $\varnothing 0,8\text{ мм}$ общей длиной 40 мм и длиной прямолинейной в исходном положении рабочей части 25 мм. Параметры источника напряжения возбуждения $U_{exc}(t)$ - периодическая последовательность униполярных прямоугольных импульсов с амплитудой $U_0 = 14\text{-}16\text{В}$, длительностью $\tau = 0,2\text{-}0,3\mu\text{с}$ и периодом $T = 1\text{мс}$ (скважность последовательности $q = T/\tau = 5000\text{-}3000$). Мгновенная скорость сканирования $V_{scan\text{ MG}} \leq 50\text{ мм/с}$.

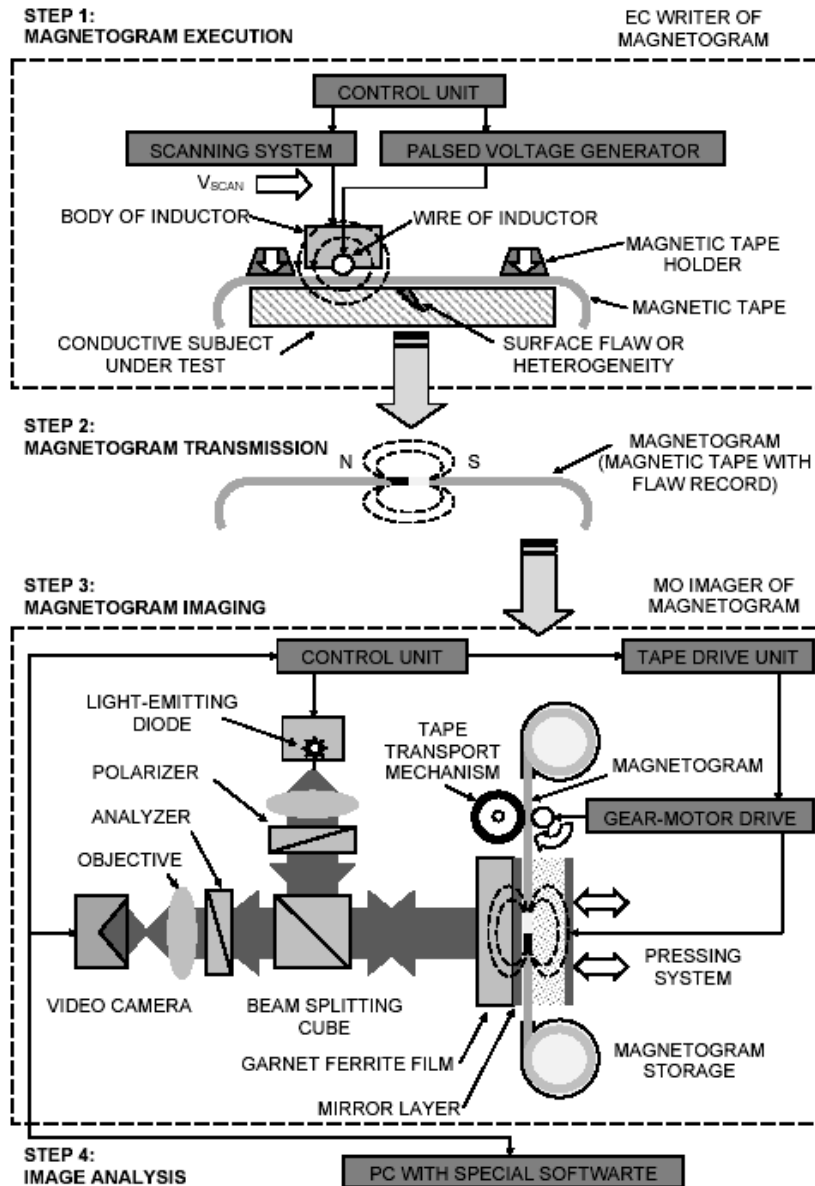
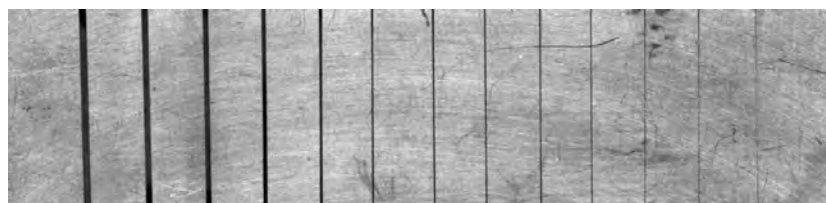


Рис. 11. Блок-схема МО ВТ магнитографа.

В качестве осветителя применялся мощный светодиод с оранжевым излучением. CMOS-видеокамера форматом кадра 1280 x 1024 при поле зрения 20 x 15 mm обеспечивала физический размер точки изображения 16 мкм.

В качестве тестовых применялись уже описанные выше ОК (рис. 4).

Полученные экспериментальные результаты представлены на рис. 12-13.



a)



b)

Рис. 12. Изображение (a) и МО образ ВТ МГ (b) для калибровочных щелей 560-10 μm в алюминиевом сплаве.



a)



b)

Рис. 13. Изображение (a) и МО образ ВТ МГ (b) для калибровочных щелей 500-40 μm в нержавеющей стали.

Как видно из изображений рис. 12-13, МГ метод и средства МО визуализации МГ ВТ обладают достаточной чувствительностью для выявления дефектов типа щелей (трещин) с зазором до 10 мкм для алюминиевых сплавов и до 40 мкм для нержавеющей сталей. МО ВТ образ, как и в случае с интроскопом (рис. 5-6), отличается от реальных размеров дефекта в ОК некоторым «размытием», что объяснимо искривлением траекторий ВТ контурами дефекта (рис. 8-9). ВТ образ ОК из нержавеющей стали (рис. 13) уступает по МО контрасту алюминиевому ОК (рис. 12), что, вероятно, является следствием различий электропроводности ОК.

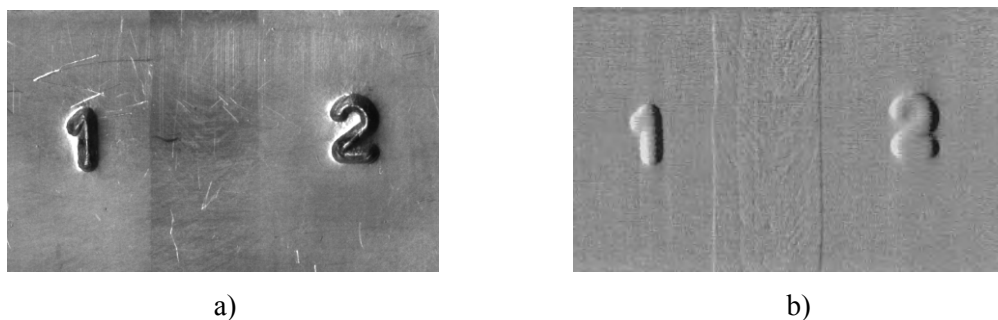


Рис. 14. Изображение (а) и МО ВТ образ МГ (b) бездефектного сварного шва в алюминиевом сплаве.

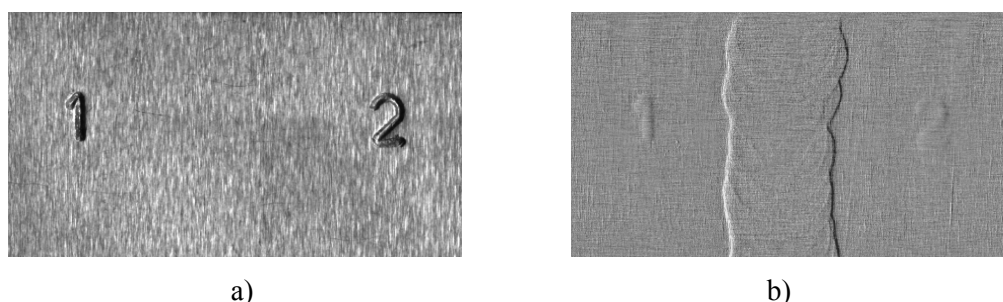


Рис. 15. Изображение (а) и МО ВТ образ МГ (b) бездефектного сварного шва в нержавеющей стали.

Экспериментальные исследования бездефектных сварных швов (рис. 14-15) демонстрируют высокую чувствительность МГ метода и средств МО визуализации в отношении структурных неоднородностей материала поверхностного слоя. Для обоих типов ОК МО ВТ образы уверенно выявляют кромки сварных швов и просматривается их структура.

ВЫВОДЫ

Магнитооптические вихретоковые интроскопы, как контрольно-диагностическое оборудование для работы в реальном времени и записью информации непосредственно на МО преобразователь, целесообразно использовать для исследования динамических процессов и выполнения оперативного управления, например: исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, дефектоскопическом мониторинге опасных производств и критических процессов.

Магнитооптические вихретоковые магнитографы, как оборудование с промежуточной записью информации и переносом ее на МО преобразователь, более эффективно может быть применено для исследования последствий статических и динамических процессов, диагностики текущего дефектоскопического состояния и выполнения прогнозирования, например: исследования остаточных внутренних напряжений и дефектов конструкций, прогнозирования образования и роста трещин, оценки остаточного ресурса.

Список литературы

1. Diraison Y.Le. Rotating field eddy current imaging for the non-destructive evaluation of buried and oriented defects in riveted lap-joints / Diraison Y.Le, Joubert P.Y. // *Sensor Letters*. – 2009. – Vol. 7, No 3. – P. 406-411.
2. Application of magneto-optic method for real-time visualization of eddy current with high spatial resolution for nondestructive testing / Radtke U., Zeilke R., Rademacher H. et al. // *Optics and Lasers in Engineering*. – 2001. – Vol. 36. – P. 251-268.
3. Абакумов А.А. Магнитная интроскопия / Абакумов А.А. – М. «Энергоатомиздат», 1996. – 272 с.
4. Magneto-Optic/Eddy Current Imaging of Aging Aircraft: A New NDI Technique / Fitzpatrick G.L., Thome D.K., Skaugset R.L. et al. // *Materials Evaluation*. – 1993. – Vol. 51, No. 12. – pp. 1402-1407.
5. Final report DOT/FAA/AR-97/37. Development of an improved magneto optic/eddy current imager. – Office of Aviation Research, Washington DC, 20591. –1998.
6. U.S. Patent 5648720, G01N27/82, G01R33/12. Apparatus and method for producing a magnetic image of a conductive pattern using eddy currents / Yarmchuk E.J. – July 1997.
7. International application No. PCT/UA2009/000029, G01N27/00, G01N27/82. Inductor of eddy currents for magnetic tape testing and scanner based thereon / Agalidi Yu., Levyi S., Shumsky I. – 01 July 2009.
8. Levy S.V. Magnetic field topographical survey by space-time light modulators / Levy S.V., Ostrovsky A.S., Agalidi Yu.S. // *Proc. International Conf. "Holography, Correlation Optics and Recording Materials"* SPIE. – Ukraine, Chernovtsy, 1993. – Vol. 2108. – P. 142-146.
9. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Бессонов Л.А. – М.: «Высшая школа», 1973. – 752 с.
10. Щербинин В.Е. Магнитный контроль качества металлов / Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 265 с.
11. Visualizer of Magnetic Protection of Securities and Banknotes / Vishnevskii V.G., Berzhansky V.N., Nedviga A.S., and Nesteruk A.G. // *Sensor Letters*. – 2009. – Vol. 7, No. 3. – P. 1-4.
12. International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers 97) : Digest of Technical Papers, Chicago, USA, Vol. 1 (1997). – [USA], 1997. – P. 413-417. – Authors: Vishnevskii V. / Vishnevskii V., Dubinko S., Levy S., Nedviga A., Prokopov A.

Вишневецький В.Г. Магнітооптичний вихрострумний контроль: інтроскопічний та магнітографічний методи / Вишневецький В.Г., Бержанський В.Н., Козик Г.П., Михайлов В.І., Панков Ф.М., Левий С.В., Агаліді Ю.С. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Фізико-математичні науки. – 2011. – Т. 24(63), №2. – С. 127-140.

У роботі розглянуті вихрострумна інтроскопія та магнітографія з використанням магнітооптичного датчика на основі гранатової плівки зі змістом вісмуту, стосовно провідників неферомагнітних об'єктів контролю. В експериментах були використані плівки складів $(\text{Bi, Eu, Lu})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ і $(\text{Bi, Tm})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$, які синтезовані методом епітаксії з рідкої фази. Наведено блок-схеми магнітооптичного інтроскопа та магнітографа. Наведено параметри плівок, з використанням яких отримано найкращі результати. Отримано вихрострумні магнітооптичні образи дефектів у тестових об'єктах контролю. Представлені фотографії цих дефектів і їх магнітооптичних образів, отриманих при різних режимах.

Ключові слова: магнітооптика, вихрові струми, гранатова плівка, візуалізація, магнітографія.

Vishnevskii V.G. Magneto-optical eddy current control: methods of introscopy and magnetography / Vishnevskii V.G., Berzhansky V.N., Kozik G.P., Mikhailov V.I., Pankov F.M., Levyi S.V., Agalidi Yu.S. // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2011 – Vol. 24(63), No.2. – P. 127-140.

In this paper the eddy current introscopy and magnetography with using magneto-optical sensor on basis of bismuth garnet films are considered as applied to conducting non-ferromagnetic objects of control. In the experiments we used films of $(\text{Bi, Eu, Lu})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ and $(\text{Bi, Tm})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$ synthesized by liquid phase epitaxy method. A block schemes of the magneto-optical introscope and magnetograph are show. Films parameters, which are used to get the best results are presented. It is obtained eddy current magneto-optical images of defects in the test objects of control. Photos of these defects and their magneto-optical images obtained under different conditions are presented.

Keywords: magneto-optics, eddy currents, garnet film, visualization, magnetography.

Поступила в редакцію 16.09.2011 г.