

УДК 620.179.14

**В. А. Новиков, д-р техн. наук, проф., Г. И. Скрябина, канд. техн. наук, доц.,
А. В. Шилов, А. В. Кушнер**

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Проведен обзор новых теоретических и экспериментальных исследований в области магнитографической дефектоскопии, выполненных авторами. Описаны результаты исследований с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса, осуществляющего яркостную индикацию сигналов от дефектов с записью полей дефектов на визуализирующую магнитные поля пленку. Указаны перспективные направления применения магнитографической дефектоскопии в машиностроении.

В машиностроении существует большое количество объектов из ферромагнитных материалов, которые необходимо контролировать на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов: коленчатые, карданные, кулачковые валы, оси, шпильки, зубчатые колеса, подшипники, корпусные детали, рессоры, колесные пары вагонов, сцепки, хомуты тяговые, буровое оборудование и др. Такие объекты иногда покрыты слоем краски или в процессе эксплуатации подвергаются коррозии. Весьма перспективным для их дефектоскопии является магнитографический метод контроля (МГК). Он характеризуется высокой производительностью и экономичностью, не требует предварительной зачистки поверхности контролируемого изделия, однако существующие устройства для реализации метода характеризуются большими весом и габаритами, необходимостью изготовления дополнительных полюсных наконечников и использования мощных источников питания. Поэтому часто предпочтение отдается другим методам контроля, несмотря на их низкую производительность и большую трудоемкость.

Возможности метода значительно повысились после разработки авторами способа МГК, основанного на намагничивании контролируемого объекта перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель, а также методики

контроля с использованием визуализирующей магнитные поля пленки [1, 10, 12, 13]. Авторами проведены исследования по оптимизации условий контроля, определению новых информационных параметров сигналов, обусловленных дефектами, позволившие уменьшить пропуск дефектов и повысить селективность метода. Разработаны программа для ЭВМ аппаратного комплекса, осуществляющая яркостную индикацию сигналов от дефектов; малогабаритные устройства для реализации способа, которые в десятки раз легче существующих технических средств; методики контроля ферромагнитных объектов с использованием визуализирующей магнитные поля пленки; программа, позволяющая произвести количественную оценку полученных на ней индикаторных рисунков дефектов.

Систематизируем полученные за последние годы результаты, заострив внимание на наиболее значимых из них, и определим перспективные направления применения магнитографической дефектоскопии в машиностроении.

Экспериментально установлено, что при МГК с намагничиванием контролируемого объекта перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель и считывании записи с ленты дифференциальным индукционным преобразователем трещины, сквозные и узкие несквозные несплавления обна-

руживаются дипольным электрическим импульсом, а дефекты «с дном» (риски, углубления от поверхностных неровностей, широкие несквозные несплавления) выявляются в зависимости от условий контроля однополярным, трансформированным или дипольным сигналом (рис. 1). Изменение вида сигнала, обусловленного дефектом «с

дном», и смена его полярности происходят при удалении магнита от поверхности объекта, увеличении его высоты, переходе от намагничивания «углом вперед» к намагничиванию «углом назад», изменении угла наклона магнита, глубины дефекта, крутизны характеристики магнитной ленты [2, 5–7].



Рис. 1. Трансформация сигнала, обусловленного дефектом, при намагничивании объекта перпендикулярно поверхности перемещаемым постоянным магнитом с близкорасположенными полюсными гранями: а – расстояние Δ от полюса магнита до объекта 0,2 мм; б – $1,75 \leq \Delta \leq 2,25$ мм; в – $\Delta = 4$ мм

Для постоянного магнита с коэрцитивной силой $H_c = 2400$ А/см и остаточной индукцией $B_r = 0,39$ Тл экспериментально определены условия, при которых одновременно обеспечиваются наибольшая чувствительность метода контроля и селективность к виду дефекта, при этом наиболее опасные дефекты (трещины, сквозные и узкие несквозные несплавления) обнаруживаются дипольными сигналами, а другие несплошности (риски, углубления от поверхностных неровностей, широкие несквозные несплошности) – однополярными:

– при записи на низкокоэрцитивную ленту ($H_c = 80$ А/см) угол наклона магнита к поверхности объекта – от 0 до 5° или от 85 до 90° при намагничивании «углом назад», от 40 до 60° – «углом вперед»;

– если магнит обращен к объекту гранью с одним полюсом, то расстояние Δ между объектом контроля и магнитом должно быть от 0 до $0,4$ мм или от 4 до 11 мм, высота L магнита от $6,5$ до 13 мм или от 39 до 130 мм;

– при записи на высококоэрцитивную ленту ($H_c = 260$ А/см) Δ должно

быть от $0,4$ до 11 мм, а L – от 39 до 130 мм в исследованном диапазоне $6,5 \leq L \leq 130$ мм;

– если магнит обращен к объекту гранью с двумя полюсами, то Δ должно быть минимальным, средняя часть магнита на отрезке, составляющем около 70% длины грани магнита, должна перекрывать всю ширину ленты, а плоскость, разделяющая полюсы магнита, образовывать минимальный угол (но не более 20°) с направлением перемещения магнита, совпадающим с предполагаемым направлением протяженного дефекта в изделии.

Это позволяет отличить наиболее опасные дефекты от других несплошностей по виду сигнала. При этом минимальное раскрытие уверенно обнаруживаемого дефекта составляет 5 мкм, минимальная глубина обнаруживаемого поверхностного дефекта – 150 мкм, дефекты обнаруживаются на глубине до 3 мм [2–7, 9]. Высокая чувствительность метода контроля при малой массе магнита ($20 \dots 50$ г) объясняется контролем объектов в приложенном поле, высокой напряженностью магнитного поля

в зоне дефекта при приближении к нему магнита, однородным максимальным полем, создаваемым магнитом в контролируемой зоне при его перемещении над уложенным на контролируемый объект магнитоносителем.

При установленных выше условиях контроля предложены два новых информационных параметра сигналов, обусловленных дефектами: *вид сигнала*, т. к. сигнал принимает однополярный или двухполярный вид в зависимости от наличия или отсутствия «дна» у несплошности, что позволяет повысить селективность метода; *размах* (вместо амплитуды), т. к. смена полярности сигнала при изменении условий контроля происходит, минуя стадию перехода через ноль его размаха, что позволяет исключить пропуск дефектов и повысить достоверность контроля [6, 7, 11].

Методом графической аппроксимации предельного и частных циклов гистерезиса по полученным ранее формулам показано и экспериментально подтверждено, что вид сигнала (однополярный, двухполярный, трансформированный), обусловленного дефектом, зависит от соотношения между остаточной намагниченностью участка ленты, находившегося в зоне действия поля рассеяния дефекта, и ее остаточной намагниченностью, вызванной полем перемещаемого магнита. Это соотношение может изменяться вследствие гистерезисных явлений в магнитной ленте при изменении величины намагничивающего и (или) размагничивающего поля, величины поля рассеяния дефекта, т. к. на следе перемещаемого постоянного магнита тангенциальное направление намагничивания, а в ряде случаев нормальное поверхности контролируемого объекта, изменяется на противоположное [2, 3, 5–8, 11].

Установлено, что сигнал, обусловленный дефектом, при считывании записи с ленты дифференциальной магнитной головкой имеет однополярный или трансформированный вид, если од-

на часть ленты под влиянием поля рассеяния дефекта приобретает большую, вторая – равную, а третья – меньшую остаточную намагниченность $M_{rл}$, чем лента под действием внешнего поля M_{r0} . Если $M_{rл} > M_{r0}$ или $M_{rл} < M_{r0}$, то сигнал имеет двухполярный вид, а полярность его полувольт зависит от того, большую или меньшую остаточную намагниченность приобретают участки магнитной ленты в зоне дефекта по сравнению с ее участками, находившимися под действием внешнего поля (см. рис. 1).

Дано объяснение причин смены полярности сигнала, обусловленного дефектом, при действии только нормальной или только тангенциальной составляющей внешнего поля, перемещаемого над лентой магнита [8, 11].

При намагничивании контролируемого объекта наклоненным к его поверхности перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель тангенциальная составляющая внешнего поля направлена сначала в одну, а затем в противоположную сторону, а напряженности этих полей отличаются по модулю. Приведем объяснение причины смены полярности сигнала, обусловленного дефектом, при действии только тангенциальной составляющей напряженности внешнего магнитного поля, изменяющего направление на противоположное [8]. Характер записи поля рассеяния дефекта на магнитоноситель при изменении глубины дефекта в этом случае проанализирован на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 3, при намагничивании объекта с уложенной на его поверхность магнитной лентой в *одном направлении* большей величине поля рассеяния дефекта соответствует большая остаточная намагниченность ленты, т. к. запись полей рассеяния дефектов происходит на возрастающей кривой первоначального намагничивания ее магнитной характеристики. При намагничивании в *противоположном направлении* вследствие гистерезисных явлений в ленте и записи полей на ниспа-

дающей ветви петли гистерезиса ее участки, находившиеся в поле рассеяния дефекта большей напряженности, по мере роста крутизны ветви петли гисте-

резиса на ее частном цикле приобретают меньшую остаточную намагниченность, чем участки, находившиеся в слабом поле.

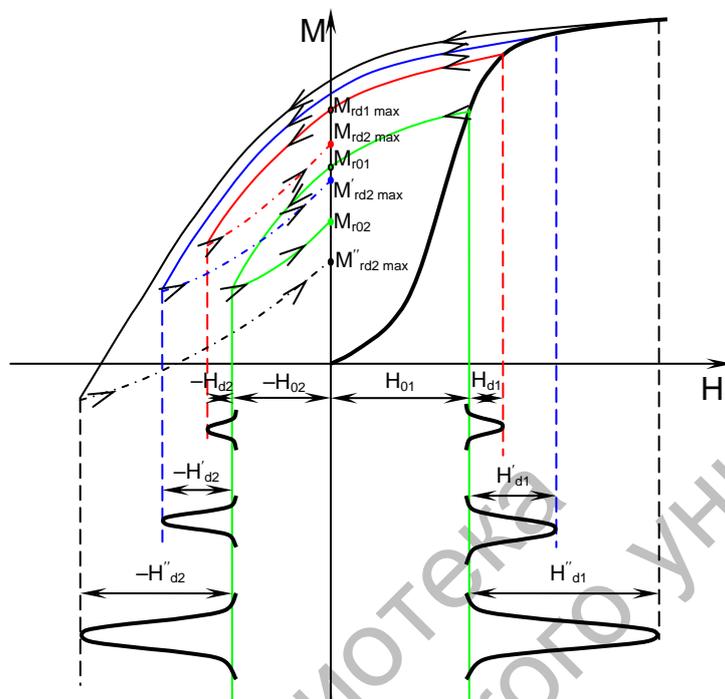


Рис. 2. К пояснению записи на маггитоноситель полей рассеяния дефектов малой, средней и большой глубины при тангенциальном намагничивании объекта контроля сначала в одном, а затем противоположном направлении

Поэтому остаточная намагниченность ленты в зоне действия поля несплошности малой глубины имеет колокообразный вид, а сигналограмма – дипольный вид (см. рис. 3, а, I и II), и в зоне несплошности средней глубины приобретает седлообразную форму (см. рис. 3, б, I). Соответствующая ей сигналограмма имеет трансформированный вид (см. рис. 3, б, II), а при большой глубине несплошности – дипольный вид (см. рис. 3, в, II). Полярность полувольт сигнала зависит от того, большую или меньшую остаточную намагниченность приобрела лента в месте действия поля рассеяния дефекта по сравнению с ее остаточной намагниченностью, обусловленной внешним полем (см. рис. 2 и 3, а, I и в, I). Таким образом, из рис. 3, II видно, что при

действии только тангенциальной составляющей внешнего поля, изменяющего направление на противоположное, вследствие гистерезисных явлений в магнитной ленте сигнал о наличии дефекта при увеличении его глубины может приобрести трансформированный вид или сменить полярность полувольт.

Так как остаточная намагниченность ленты в зоне действия поля рассеяния дефекта зависит от величины намагничивающего и (или) размагничивающего поля, величины поля рассеяния дефекта и крутизны магнитной характеристики ленты, то от этих факторов зависит вид сигнала (однополярный, дипольный, трансформированный), обусловленного дефектом.

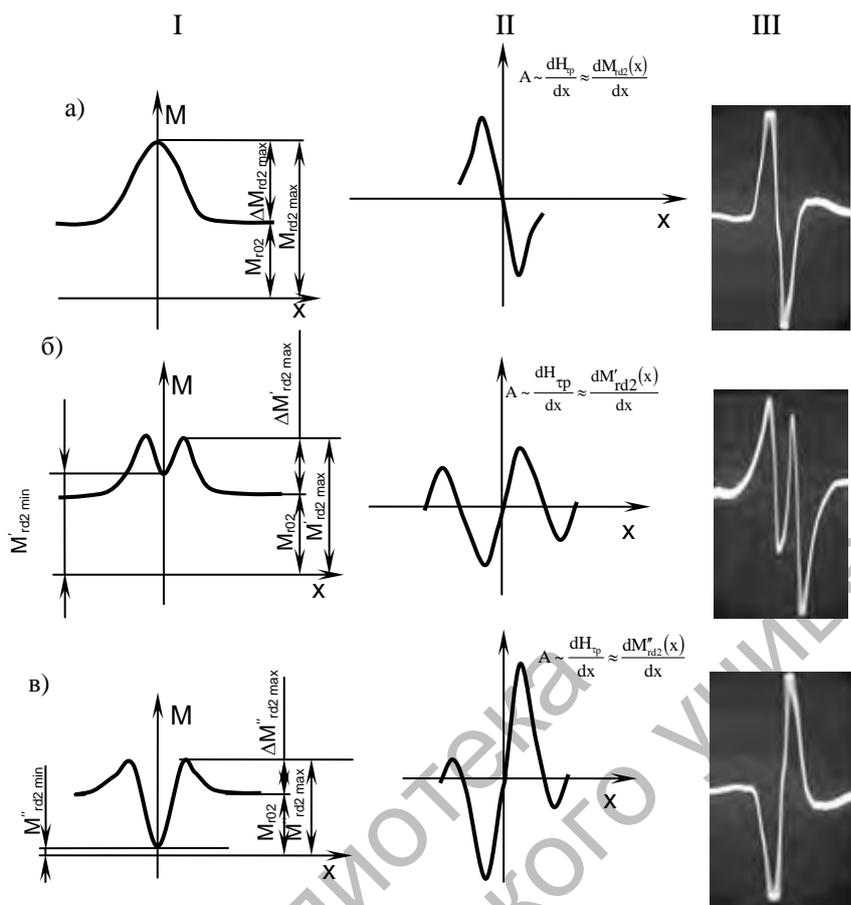


Рис. 3. Характер изменения остаточной намагниченности ленты и сигнала от дефекта с увеличением его глубины при намагничивании объекта контроля параллельно поверхности сначала в одном, а затем в противоположном направлении: I – изменение остаточной намагниченности ленты в зоне действия поля рассеяния дефекта при увеличении глубины дефекта; II, III – теоретические и реальные сигналограммы соответственно; а, б, в – остаточная намагниченность магнитной ленты и вид сигналограммы при обнаружении дефектов малой, средней и большой глубины соответственно

Это подтверждается экспериментально при моделировании исследуемого способа МГК путем намагничивания контролируемой зоны объекта с уложенной магнитной лентой полем электромагнита сначала в одном, а затем в противоположном направлении (см. рис. 3, III) [8]. При построении графиков, изображенных на рис. 2, ориентировались на кривые возврата, построенные по полученным ранее формулам.

Для визуализации полей дефектов разработана программа для ЭВМ аппаратного комплекса, осуществляющая яркостную индикацию полей дефектов [5]. При яркостной индикации изображения полей дефектов с дном (риски,

вмятины, широкие несквозные несплавления и т. д.) на экране проявляются в виде светлых участков, повторяющих конфигурацию дефектов, трещины – в виде черных линий, по обе стороны которых наблюдаются широкие светлые полосы (рис. 4).

Для отстройки от помех в программе реализована амплитудная и низкочастотная фильтрация сигнала.

Таким образом, разработан и подробно исследован способ магнитографического контроля, основанный на намагничивании контролируемого ферромагнитного объекта через уложенный на его поверхность магнитноситель, позволивший повысить мобильность

дефектоскопии, осуществить контроль объектов в труднодоступных местах, не только обнаружить несплошности, но и отличить наиболее опасные дефекты от других. Назовем в связи с этим перспективные направления применения магнитографической дефектоскопии в машиностроении при использовании обычной магнитной ленты для записи полей дефектов:

- контроль деталей в узлах без их разборки в процессе ремонта. Он стал возможен, т. к. при намагничивании объекта через магнитную ленту используются малогабаритные постоянные магниты;

- контроль стального литья до его чистовой обработки, чтобы не только обнаружить дефекты, но и отличить

трещины и неслитины от рисок и углублений поверхностных неровностей по виду сигнала;

- контроль зоны термического влияния сварных соединений, чтобы отличить трещины от мнимых дефектов, обусловленных структурными неоднородностями;

- контроль стальных изделий после термической обработки непосредственно на рабочем месте, чтобы оперативно выявить трещины и исключить их появление в дальнейшем путем корректировки режимов термообработки;

- инспекционный контроль, позволяющий оперативно определить наличие наиболее опасных дефектов – трещин, сквозных и узких несквозных несплошностей.

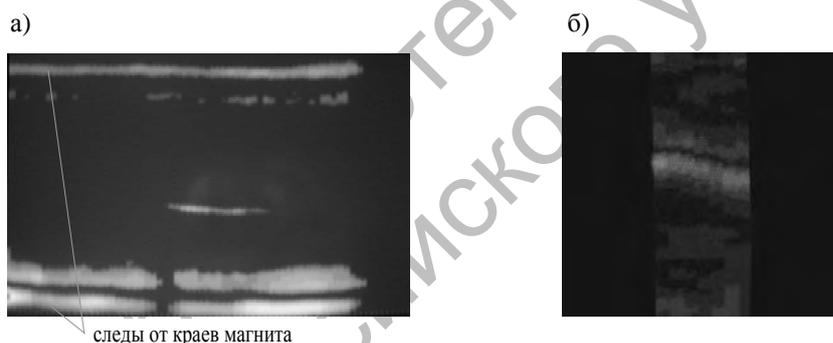


Рис. 4. Дефектограммы образцов с риской и трещиной: а – образца с риской; б – образца с трещиной

Рассмотрим более подробно второе направление использования магнитографической дефектоскопии – контроль с использованием визуализирующей магнитные поля пленки.

Известными средствами визуализации магнитных полей рассеяния дефектов сплошности ферромагнитных изделий являются магнитные порошки, суспензии, магнитные жидкости, магнитная лента для магнитографической дефектоскопии, феррит-гранатовая пленка и др. В последние годы для визуализации магнитных полей разработана специальная пленка, которая содержит залитые в гель подвижные частички никеля. В за-

висимости от своего расположения эти частички по-разному отражают падающий свет. Пленка окрашивается в темные тона, когда магнитное поле направлено под прямым углом к ее поверхности, и в светлые, когда направление магнитного поля параллельно поверхности. Пленка изготавливается на основе нанотехнологий и имеет толщину 0,15 мм. Описано применение таких пленок для визуализации создаваемых постоянными магнитами и намагниченными объектами полей, по которым судят о свойствах объектов. Авторами проведены исследования по определению возможности применения визуализирующей

магнитные поля пленки для обнаружения дефектов сплошности ферромагнитных изделий.

Для исследований применяли образцы с искусственными и естественными дефектами сплошности. Контроль объектов производили без предварительной зачистки поверхности деталей.

Намагничивание деталей осуществляли постоянными магнитами или электромагнитом. После намагничивания объекта с уложенной на него пленкой перемещаемым постоянным магнитом на пленке появились очертания стенки объекта контроля и индикаторный рисунок дефекта (рис. 5).

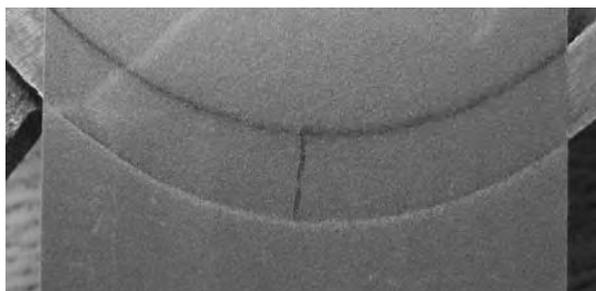


Рис. 5. Индикаторный рисунок трещины раскрытием 34 мкм в щите электродвигателя после намагничивания перемещаемым постоянным магнитом через пленку

Аналогичные исследования выполнены и на Т-образных стальных образцах (длина образца – 35 мм, наибольшая ширина – 14 мм). Соответствующий вид индикаторных рисунков

дефектов при контроле в приложенном поле перемещаемого постоянного магнита изображен на рис. 6, а. Было обнаружено 14 поверхностных трещин.

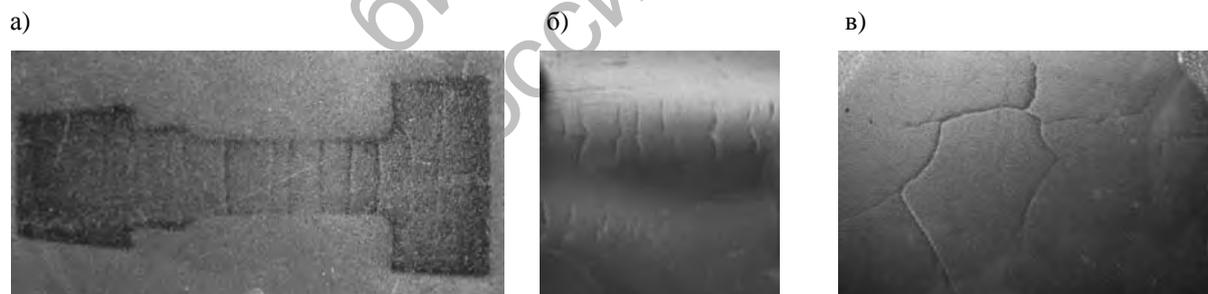


Рис. 6. Индикаторные рисунки поверхностных трещин: а – на Т-образном образце в приложенном поле перемещаемого над пленкой постоянного магнита; б – поперечных трещин на выпуклости шва при контроле на остаточной намагниченности; в – на диске при контроле на остаточной намагниченности

Затем Т-образный образец контролировали визуально-оптическим методом с использованием микроскопа ЕС МЕТАМ РВ-21, допускающего погрешность измерений ± 1 мкм. Было подтверждено наличие в образце 14 поверхностных трещин, которые имели ширину: (4 ± 1) мкм (три трещины), (5 ± 1) мкм

(две трещины), (6 ± 1) мкм (три трещины), (7 ± 1) мкм (две трещины), (8 ± 1) мкм (одна трещина), (10 ± 1) мкм (две трещины), (28 ± 1) мкм (одна трещина) [10].

Дальнейшие исследования показали, что минимальное раскрытие обнаруживаемых наружных трещин при записи полей дефектов на визуализиру-

щую магнитные поля пленку составляет 1...2 мкм (рис. 6, б, в), а при традиционном методе магнитографического контроля с записью магнитных полей рассеяния на магнитную ленту – 5 мкм.

Пленка позволяет обнаружить перебитые номера кузовов автомобилей (рис. 7), визуализировать поля дефектов сплошности ферромагнитных объектов и в ряде случаев может быть использована для их дефектоскопии. Наиболее четкие индикаторные рисунки наблюдаются для дефектов, расположенных на наружной поверхности контролируемой детали. Наибольшая разрешаю-

щая способность метода имеет место при контроле в приложенном поле магнита, перемещаемого над лентой (за исключением случая контроля сварных соединений на наличие поверхностных трещин). Дефекты внутренней поверхности выявляются только при контроле в приложенном поле электромагнита. Отверстия диаметром 3 мм обнаруживаются и на глубине 23 мм. Крупные протяженные несплошности могут быть обнаружены, даже если индикаторная пленка находится на расстоянии 4...5 мм от поверхности объекта.

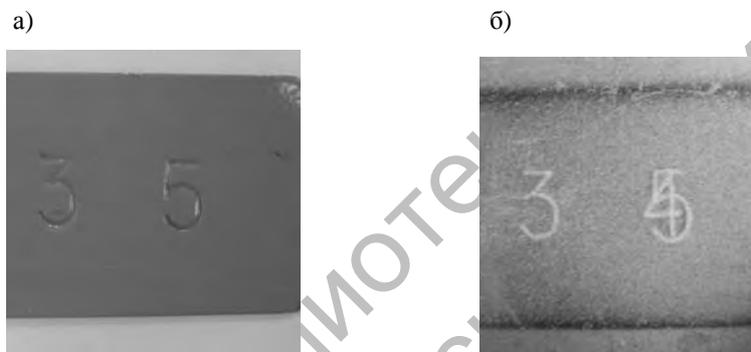


Рис. 7. Контроль номеров кузовов автомобилей: а – изображение образца с перебитым номером; б – индикаторные рисунки цифр номера кузова автомобиля

По появлению индикаторных рисунков на магнитной пленке можно установить наличие дефектов в изделии, однако сложно количественно оценить их параметры. Поэтому в [12, 13] исследовано влияние предварительной подготовки магнитной пленки, параметров несплошностей и условий контроля на количественные характеристики индикаторных рисунков. Установлена зависимость численных значений интенсивности окраски магнитной пленки, визуализирующей поле, от ее предварительной подготовки и напряженности действующего на нее намагничивающего поля. Рассмотрены вопросы количественной оценки индикаторных рисунков дефектов различного типа и вида при контроле на остаточной намагниченности с визуализацией их полей.

Проведены исследования влияния параметров дефектов и условий контроля на количественные характеристики индикаторных рисунков дефектов на пленке при контроле в приложенном поле.

Установлено, что с увеличением глубины дефекта внутренней поверхности размах сигнала возрастает, причем при малых режимах намагничивания (до 96 А/см) крутизна кривых увеличивается с ростом глубины несплошности, при $H = 96$ А/см – остается постоянной, а при более высоких режимах – уменьшается при возрастании H . С увеличением напряженности поля размах сигнала сначала возрастает, а затем стабилизируется, причем чем больше глубина несплошности, тем при меньшей напряженности поля происходит стабили-

зация размаха сигнала. Дефекту большей глубины соответствует больший размах сигнала. Ширина сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, с ростом ширины дефекта изменяется монотонно. Влияние ширины дефекта внутренней поверхности на размах обусловленного им сигнала, получаемого на пленке, в приложенном поле при низких напряженностях намагничивающего поля немонотонно. В диапазоне режимов намагничивания $192 \leq H \leq 480$ А/см с ростом ширины дефекта происходит резкий спад размаха сигнала. Размах сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, для дефектов различной ширины с ростом напряженности намагничивающего поля сначала увеличивается, а затем плавно уменьшается и стабилизируется. При этом большему дефекту соответствует больший размах сигнала. Ширина сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, возрастает линейно с увеличением ширины дефекта. В диапазоне напряженностей $96 \leq H \leq 480$ А/см ширина сигнала мало зависит от режима намагничивания.

Размах сигнала, обусловленный дефектом наружной поверхности, для режимов намагничивания менее 256 А/см при увеличении глубины дефекта до 1 мм сначала резко возрастает, а затем плавно увеличивается. Для режимов намагничивания более 256 А/см зависимость размаха сигнала от глубины дефекта линейна и практически не зависит от режима намагничивания. Размах сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, при увеличении напряженности поля сначала круто возрастает, а при напряженности поля более 300 А/см остается практически постоянным и мало зависит от глубины дефекта. С увеличением глубины дефекта ширина сигналов, обусловленных дефектами наружной поверхности, сначала увеличивается, а затем, достигнув своего максимума, уменьшается. Кривые тем раньше достигают максимума,

чем меньше глубина дефекта. Ширина сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, с увеличением раскрытия несплошности монотонно увеличивается и мало зависит от режима намагничивания.

С ростом напряженности поля размах сигналов, обусловленных дефектами, расположенными на различной глубине от поверхности объекта, возрастает, достигая постоянной величины при напряженности поля тем большей, чем больше глубина залегания дефекта. Закономерности нарушаются при приближении несплошности к внутренней и наружной поверхности образца (глубина залегания дефекта 2,5 и 22,5 мм).

Размах сигналов, обусловленных дефектами наружной и внутренней поверхности (при различных расстояниях между контролируемым объектом и пленкой), возрастает с увеличением напряженности намагничивающего поля, а затем стабилизируется. Чем меньше расстояние от пленки до объекта, тем при большей напряженности поля стабилизируется размах сигнала, вызванного дефектом.

Угол наблюдения должен составлять от -50 до $+50^{\circ}$ к нормали к поверхности пленки.

По результатам исследований разработаны методики контроля различных объектов с использованием визуализирующей магнитные поля пленки.

Назовем в связи с этим перспективные направления применения магнитографической дефектоскопии в машиностроении при использовании магнитной пленки, визуализирующей магнитные поля:

– контроль деталей в узлах без их предварительной разборки. Он стал возможен, т. к. визуализирующую магнитные поля пленку можно поместить в труднодоступное место и бесконтактно намагнитить контролируемую зону малогабаритным перемещаемым постоянным магнитом;

– контроль стальных отливок без

их чистовой обработки, позволяющий отстроиться от помех, обусловленных поверхностными неровностями, при обнаружении внутренних несплошностей; его возможность объясняется тем, что поля наружных неровностей с удалением точки наблюдения от поверхности объекта убывают на порядок быстрее, чем поля внутренних несплошностей;

– контроль наличия технологических отверстий, выступов и углублений на поверхности контролируемого объекта через слой изоляции, т. к. индикаторные рисунки таких элементов наблюдаются при достаточно большом расстоянии от пленки до поверхности объекта;

– непрерывный контроль момента образования трещин в местах с высокой концентрацией механических напряжений. Визуализирующая поля пленка может быть закреплена на поверхности объекта, а постоянный магнит или электромагнит может находиться на большом удалении от объекта;

– высокопроизводительный контроль объектов больших размеров (пленка закрепляется в межполюсном пространстве электромагнита и перемещается вместе с ним вдоль контролируемой зоны). Получаемое на ней изображение в реальном режиме времени выводится на экран;

– контроль объектов, находящихся во взрывоопасных местах. Для намагничивания объекта используется постоянный магнит;

– контроль номеров кузовов автомобилей (применяемые устройства, простые, дешевые и высокопроизводительные, позволяют осуществлять контроль в полевых условиях с использованием для намагничивания контролируемой зоны постоянных магнитов);

– инспекционный контроль, позволяющий оперативно определять наличие и получать индикаторные рисунки наиболее опасных дефектов – трещин, сквозных и узких несквозных несплошностей.

Таким образом, в настоящей работе проведен обзор новых теоретических и экспериментальных исследований в области магнитографической дефектоскопии, выполненных авторами. Описаны результаты исследований с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса, осуществляющего яркостную индикацию сигналов от дефектов с записью полей дефектов на визуализирующую магнитные поля пленку. Указаны перспективные направления применения магнитографической дефектоскопии в машиностроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2154818 RU, МКИ 7 G 01 N 27 / 85. Способ магнитографического контроля ферромагнитных изделий / В. А. Новиков ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 96111357 ; заявл. 03.06.96 ; опубл. 20.08.00, Бюл. № 23. – 8 с. : ил.
2. Новые возможности магнитографической дефектоскопии / В. А. Новиков [и др.] // Промышленная безопасность на взрывоопасных и химически опасных производственных объектах : сб. науч. тр. – Уфа, 2009. – С. 163–168.
3. Пат. 6102 С 1 ВУ, МПК G 01 N 27 / 85. Способ магнитографического контроля изделий из ферромагнитных материалов и устройство для его осуществления / А. В. Кушнер, В. А. Новиков ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20001118 ; заявл. 19.12.00 ; опубл. 30.06.04, Бюл. № 12. – 5 с.
4. Новиков, В. А. Магнитографический контроль объектов при их намагничивании перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель. Схемы намагничивания / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2010. – № 6. – С. 30–35.
5. Кушнер, А. В. Программно-аппаратный комплекс для магнитографического контроля / А. В. Кушнер, А. В. Шилов, В. А. Новиков // Дефектоскопия. – 2010. – № 6. – С. 36–40.
6. Новиков, В. А. Экспериментальное исследование магнитографического контроля объектов при их намагничивании перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель I / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2010. – № 7. – С. 42–50.
7. Новиков, В. А. Экспериментальное исследование магнитографического контроля объектов при их намагничивании перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель II / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Ши-

лов // Дефектоскопия. – 2010. – № 7. – С. 51–58.

8. **Новиков, В. А.** Запись поля дефекта на магнитную ленту при тангенциальном намагничивании полями последовательно противоположных направлений / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2010. – № 8. – С. 54–60.

9. **Пат. 12939 С 1 ВУ, МПК G 01 N 27 / 82.** Способ магнитографического контроля изделия из ферромагнитного материала (варианты) / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № a20001118; заявл. 21.11.07; опубл. 28.02.10, Бюл. № 1. – 4 с.

10. **Новиков, В. А.** Визуализация полей дефектов ферромагнитных объектов с помощью магнитной пленки / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Контроль. Диагностика. – 2010. –

№ 5. – С. 18–22.

11. Исследование вида сигналограмм при магнитографическом контроле с намагничиванием объекта через магнитоноситель / В. А. Новиков [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2004. – № 4. – С. 15–20.

12. **Шилов, А. В.** Количественная оценка индикаторных рисунков дефектов при визуализации их полей на магнитной пленке / А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 152–160.

13. **Шилов, А. В.** Количественная оценка индикаторных рисунков дефектов при визуализации их полей на магнитной пленке в приложенном поле / А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 160–168.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 09.03.2011

**V. A. Novikov, G. I. Skryabina,
A. V. Shilov, A. V. Kushner
Perspective directions of magnetic
tape testing in mechanical engineering**

The review of new theoretical and experimental researches in the sphere of magnetic tape testing executed by the authors is presented in the article. The results of the researches with the use of the developed hardware-software complex which carries out brightness indication of signals from defects, with record of the fields of defects on a film visualising magnetic fields have been described. Perspective directions of magnetic tape testing use in mechanical engineering are given in the paper.