УДК 620.179.14 КОНТРОЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩЕЙ ПЛЕНКИ

А. В. ШИЛОВ, С. А. БОРОВИКОВА, А. В. КУШНЕР, В. А. НОВИКОВ Белорусско-Российский университет Могилев, Беларусь

UDC 620.179.14 CONTROL SAMPLE FOR FLAW DETECTION OF FERROMAGNETIC BY OBJECTS THE VIZUALIZING FILM METHOD A. V. SHILOV, S. A. BOROVIKOVA, A. V. KUSHNER, V. A. NOVIKOV

Аннотация. Определены условия, обеспечивающие высокую чувствительность контроля ферромагнитных объектов методом визуализирующей пленки. При их соблюдении получены изображения индикаторных рисунков протяженных несплошностей, находящихся на различной глубине, в образце. Построены графики зависимостей, позволяющие определить глубину залегания дефекта и его величину, что в совокупности позволит повысить достоверность определения глубины залегания и величины дефекта в объекте контроля с близкими магнитными свойствами.

Ключевые слова: ферромагнитный объект, дефектоскопия, контрольный образец, дефекты сплошности, глубина залегания, величина дефекта.

Abstract. Conditions providing high sensitivity of ferromagnetic object control by method of visualizing film are determined. If they are observed, images of indicator patterns of extended irregularities located at different depths in the sample are obtained. Dependencies graphs are constructed, which allow to determine depth of defect occurrence and its value, which together will make it possible to increase determination reliability of depth of defect occurrence and value of defect in object of control with close magnetic properties.

Key words: ferromagnetic object, non-destructive testing, test specimen, continuity defects, burial depth, defect size.

разработан магнитный Сравнительно недавно метод контроля обнаруживать ферромагнитных объектов, позволяющий дефекты в ферромагнитных объектах с намагниченных помошью пленки, визуализирующей магнитные поля, по наличию на ней индикаторных Метод контроля обеспечивает рисунков дефектов. одновременную визуализацию магнитных полей рассеяния дефектов на большой площади объекта, слабо подвержен влиянию мешающих факторов, позволяет производить контроль без предварительной механической обработки поверхности объекта. Установлено соответствие между изображениями индикаторных рисунков дефектов на пленке и видом несплошностей. К настоящему времени разработаны теоретические и экспериментальные основы количественной оценки параметров и глубины залегания дефектов путем компьютерной обработки изображений их индикаторных рисунков на пленке, созданы технические средства и методики магнитного контроля деталей и заготовок с поверхностью в состоянии поставки [1–3].

Существенным недостатком разработанного метода дефектоскопии является отсутствие испытательных (контрольных) образцов, позволяющих осуществлять контроль, т. е. определять наличие, производить идентификацию и находить параметры и глубину залегания дефектов при установленных на контрольном образце условиях (режиме намагничивания, угле наблюдения, расположении пленки по отношению к намагничивающему устройству и т. д.), что обеспечит высокую чувствительность и достоверность контроля.

Поэтому разработка контрольных (испытательных) образцов для дефектоскопии ферромагнитных объектов методом визуализирующей магнитные поля пленки является важной и актуальной задачей.

Ранее были проведены исследования по использованию пленки «Flux-detector» для определения качества постоянных магнитов и дефектоскопии ферромагнитных объектов. Настоящая работа выполнена применительно к пленке российского производства ООО «НПК «Проф-Магнит». Предварительно на основе анализа разработанных способов неразрушающего контроля ферромагнитных объектов были определены условия дефектоскопии при использовании визуализирующей магнитные поля пленки, обеспечивающие наибольшую чувствительность контроля. Показано, что для этого необходимо: создать внешнее поле, не допускающее намагничивания пленки в зоне дефекта выше ее магнитного насыщения; освещение пленки пучком параллельных лучей зеленого цвета; чтобы угол наблюдения не превышал ± 40° к нормали к поверхности объекта; производить фотографирование индикаторных рисунков дефектов на пленке в приложенном поле при постоянной чувствительности матрицы цифровой камеры через 2 с после включения намагничивающего тока в катушке электромагнита, исключая посторонние источники прямого и отраженного светового излучения [4].

Нужно также помнить, что границы области удовлетворительной выявляемости дефектов в изделии зависят от режима намагничивания, величины дефекта, расстояния между полюсами электромагнита, а также от того, находятся электромагнит и пленка с одной или с разных сторон стенки объектов [1].

Образцы для проведения исследований были изготовлены в количестве трех штук из стали Ст 3 размерами 330 × 40 × 26 мм. В первом из них на разной глубине параллельно ребрам 40 мм были выполнены сквозные цилиндрические отверстия диаметром 3 мм. Во втором образце диаметры отверстий были равны 4 мм, а в третьем – 5 мм.

Для экспериментального определения коэффициента диффузного отражения света от пленки, визуализирующей магнитные поля, в зоне

индикаторных рисунков дефектов при контроле в приложенном поле использована установка, изображенная на рис. 1. Она состоит из электромагнита 1 с П-образным сердечником, источника питания электромагнита 2, контролируемого образца 3, пленки, визуализирующей магнитные поля, 4, а также помещенных в корпус оптической системы 5 двояковыпуклой линзы 6, светодиода 7, находящегося в фокусе линзы, и светофильтра 8. Светодиод был запитан от источника 9, стабилизированного по току. Для создания оптической системой параллельного пучка света светодиод располагался в фокусе линзы. Фотографирование индикаторных рисунков дефектов на пленке осуществляли цифровым фотоаппаратом «Canon 600d» 10, который был настроен в ручном режиме на чувствительность ISO 800. Обработку полученной информации производили на компьютере.



Рис. 1. Экспериментальная установка

Чтобы снизить влияние посторонних источников светового излучения на результаты экспериментальных исследований, индикаторные рисунки дефектов фотографировали, защищая зону контроля от внешнего света плотной темной накидкой. Фотоаппарат предварительно был проградуирован при помощи нейтрально серых фильтров. На рис. 2 изображена зависимость изменения коэффициента диффузного отражения света r от пленки от коэффициента пропускания света τ для нейтрально серых светофильтров HC-1, HC-2, HC-3, HC-6, HC-7, HC-13 [1, 5–7].

Эксперименты выполняли следующим образом. На контролируемый образец укладывали визуализирующий магнитные поля магнитоноситель, намагничивали его вместе с образцом постоянным магнитным полем, освещали магнитоноситель параллельным пучком светового излучения зеленого цвета. Поочередно фиксировали с помощью цифрового фотоаппарата сформировавшиеся на магнитоносителе индикаторные рисунки отверстий для каждой глубины залегания в объекте. Полученные

изображения индикаторных рисунков отверстий, находящихся на различной глубине в образце, представлены в табл. 1.



Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента диффузного отражения света от пленки r от коэффициента пропускания света τ для нейтрально серых светофильтров HC – 1, HC – 2, HC – 3, HC – 6, HC – 7, HC – 13

Табл. 1. Изображения индикаторных рисунков отверстий в образце, находящихся на различной глубине

Глубина	2,5	5	7,5	10
залегания				
дефекта, мм				
Индикаторные	CONTRACTOR OF A	STATES STATES	COMPANY AND INCOME.	1000 BROAT
рисунки	1.198 80.10	10 M	1003 BOYO	5010EB #50.72
дефектов на	CONTRACTOR OF CONTRACTOR		Local Broom	
пленке	Contraction of the second	ALCONOM REPLYCE	Concession Services	Contraction of the second

Продолжение табл. 1

Глубина	12,5	15	17,5	20	22,5
залегания					
дефекта, мм					
Индикаторные	1000	COMPANY OF COMPANY	COMP BRIDE	CONTRACTOR	The second
рисунки дефектов на пленке					

Как видно из таблицы, индикаторные рисунки несплошностей имеют вид светлых полос, по обе стороны которых располагаются темные полосы. С увеличением глубины залегания несплошности наблюдается увеличение ширины светлой полосы.

Полученные с помощью фотоаппарата цифровые изображения копировали на носитель информации, попиксельно определяли на каждом из них значения интенсивности изображения зеленого цвета, пропорциональные по величине отраженному от магнитоносителя световому излучению. Затем определяли значения интенсивности падающего на магнитоноситель светового излучения, вычисляли соответствующий каждому указанному пикселю коэффициент отражения магнитоносителя $r = \Phi_r / \Phi_0$, где Φ_r – отраженный от пленки, а Φ_0 – падающий на пленку световой поток. Для каждого изображения строили график зависимости коэффициента диффузного отражения света r от расстояния x, отсчитываемого от плоскости симметрии индикаторного рисунка отверстия на пленке в поперечном направлении, выводили его на монитор (рис. 3) [7].

На рис. 3 представлен график зависимости коэффициента диффузного отражения света r от пленки в зоне индикаторного рисунка отверстия диаметром 3 мм, расположенного на глубине 2,5 мм, от расстояния x поперек несплошности. Как видно, r(x) имеет вид остроконечного импульса с ярко выраженным максимумом и двумя минимумами по обе его стороны [4, 5].



Рис. 3. График зависимости коэффициента диффузного отражения света *r* от пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта от расстояния *x*

Затем строили графики зависимостей расстояния l между минимумами коэффициента диффузного отражения света r(x) от пленки, обусловленного отверстиями диаметром 3, 4, 5 мм, от глубины их залегания h_3 в образце (рис. 4). Из рисунка видно, что это расстояние l возрастает при увеличении глубины залегания отверстия и не зависит от диаметра отверстия.

Потом строили семейство графиков зависимостей приращения коэффициента диффузного отражения света Δr_m от глубины залегания h отверстий различного диаметра (рис. 5). Чтобы определить диаметр несплошности, восстанавливают перпендикуляры из точек осей, соответствующих значениям Δr_m и h до их пересечения. Точка пересечения укажет значение d [7].

Как видно из рис. 5, с ростом глубины залегания отверстия наблюдается уменьшение значения приращения коэффициента диффузного отражения света на поверхности пленки в зоне индикаторного рисунка отверстия. Известно, что при приближении дефекта сплошности к наружной поверхности пластины замедляется рост тангенциальной составляющей его

поля, а при приближении к внутренней поверхности – замедляется убывание его поля и даже происходит некоторый его рост. Аналогично ведет себя и коэффициент диффузного отражения света от пленки в месте индикаторного рисунка дефекта.





Рис. 5. График зависимости максимального приращения коэффициента диффузного отражения света от пленки Δr_m от глубины залегания h_3 отверстий разного диаметра: 1 - d = 3 мм; 2 - d = 4 мм; 3 - d = 5 мм.

Таким образом, разработан контрольный (испытательный) образец, включающий полученные *при установленных условиях контроля*:

– таблица (или линейка) изображений индикаторных рисунков отверстий, находящихся на различной глубине в образце, позволяющая установить наличие *протяженного* дефекта в объекте и приблизительно оценить глубину его залегания;

– графики зависимостей расстояния между минимумами коэффициента диффузного отражения света от пленки *r*(*x*) в зоне индикаторного рисунка дефекта от глубины его залегания, позволяющие определить глубину залегания несплошности [7];

– семейство графиков зависимостей приращения Δr_m коэффициента диффузного отражения света от пленки от глубины залегания дефекта разной величины, позволяющие определить величину дефекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов А. В. Дефектоскопия ферромагнитных объектов с визуализацией магнитных полей на пленке: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Шилов – Могилев, 2015. – 24 с.

2. Боровикова С. А. О необходимости разработки контрольных образцов для дефектоскопии ферромагнитных объектов методом визуализирующей пленки / С. А. Боровикова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: сб. тр. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – 266 с.

3. Каталог ярмарки инновационных разработок «Приборостроение» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// belisa.org.by/pdf/2018/katal og_19.pdf. – Дата доступа: 23.07.2020.

4. Новиков, В. А. Исследование коэффициента отражения пленки, визуализирующей магнитные поля в области дефекта / В. А. Новиков, А. В. Шилов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 88–98.

5. Шилов, А. В. Обнаружение реальных дефектов в ферромагнитных объектах с помощью визуализирующей магнитные поля пленки / А. В. Шилов, А. В. Кушнер, В А. Новиков // Дефектоскопия. – 2016. – № 4. – С. 41–47.

6. **Новиков, В. А.** Экспериментальные исследования коэффициента отражения визуализирующей магнитные поля пленки в зоне дефекта при контроле ферромагнитных объектов / В. А. Новиков, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2014. – № 3. – С. 40–49.

7. **Новиков, В.** А. Определение глубины залегания и диаметра несплошности при контроле ферромагнитных объектов с использованием визуализирующей магнитные поля пленки / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 106–116.