

## Перспективный метод неразрушающего контроля ферромагнитных объектов

*А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер*

*Описан разработанный авторами метод визуализирующей магнитные поля пленки, позволяющий обнаруживать несплошности в ферромагнитных объектах. Представлены результаты экспериментальных исследований по обнаружению реальных и искусственных дефектов. Указаны возможности метода при дефектоскопии ферромагнитных изделий.*

**Ключевые слова:** ферромагнитные объекты, дефектоскопия, визуализирующая пленка, визуализация полей.

## Promising method for nondestructive testing of ferromagnetic objects

*A. V. Shilov, V. A. Novikov, A. V. Kushner*

*The authors' developed method of visualizing magnetic fields of the film, which allows to detect discontinuities in ferromagnetic objects, is described. The results of experimental research into the detection of real and artificial defects are presented. Possibilities of the method for defectoscopy of ferromagnetic products are indicated.*

**Keywords:** ferromagnetic objects, flaw detection, imaging film, imaging fields.

В ряде случаев потребитель заинтересован в применении простого в реализации, оперативного и экономичного метода дефектоскопии, который позволял бы одновременно производить контроль больших объемов объектов без предварительной механической подготовки контролируемой поверхности. Таким требованиям, на наш взгляд, удовлетворяет недавно разработанный и подробно исследованный метод визуализирующей магнитные поля пленки, позволяющий обнаруживать дефекты сплошности в ферромагнитных объектах [1–3].

Применяемая при реализации метода контроля пленка имеет немагнитную основу, к которой прикреплены миниатюрные капсулы, содержащие гель. В капсулах находятся частицы слабомагнитного металла никеля. Ферромагнитные частицы имеют длину 50...60 мкм и на порядок меньшую ширину. Пленка окрашивается в светлые тона, когда частицы никеля располагаются параллельно ее поверхности, и становится темной, если перпендикулярно. Если пленку поместить в магнитное поле, то частицы никеля будут выстраиваться по касательным к силовым линиям поля, т. е. визуализирующая пленка, в отличие от магнитной ленты, чувствительна и к тангенциальной, и к нормальной составляющей напряженности магнитного поля.

Зарубежная пленка Flux-detector и российская ООО НПК «ПРОФ-МАГНИТ» имеют толщину около 0,14 мм, а защищенные от внешних повреж-

дений ламинирующим покрытием – около 0,38 мм и могут быть использованы несколько тысяч раз.

Сущность разработанного метода дефектоскопии заключается в том, что на контролируемый ферромагнитный объект укладывают пленку, визуализирующую магнитные поля, объект намагничивают, а о наличии дефектов сплошности в нем судят по появлению на пленке индикаторных рисунков дефектов. Индикаторные рисунки дефектов на пленке отличаются от индикаторных рисунков дефектов при магнитопорошковом контроле: в зависимости от угла наблюдения они имеют вид светлых полос, по обе стороны которых располагаются темные полосы, или прилегающих друг к другу темных и светлых полос.

Метод контроля позволяет обнаруживать поверхностные и внутренние дефекты как на остаточной намагниченности объекта контроля (рис. 1), так и в приложенном поле без предварительной механической подготовки поверхности объекта. Минимальное раскрытие обнаруживаемых трещин – 4 мкм. Разрешающая способность метода убывает с увеличением глубины залегания несплошности и для протяженных дефектов, находящихся на глубине 10 мм, составляет 2 мм.

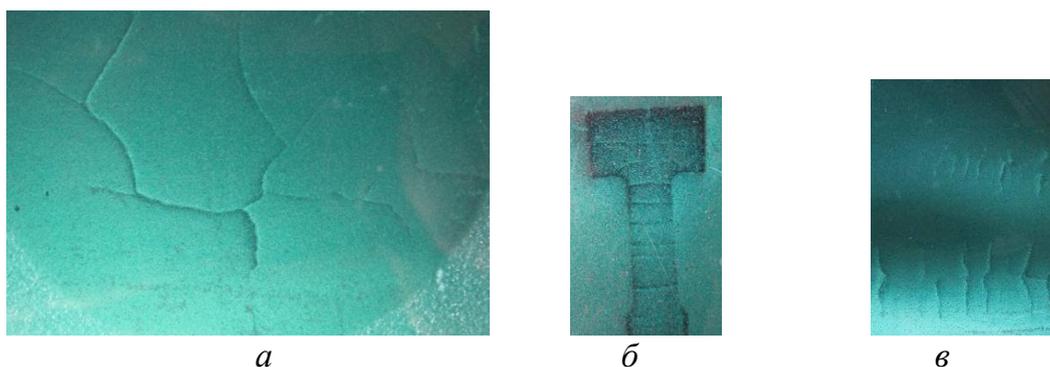


Рис. 1. Индикаторные рисунки на визуализирующей магнитные поля пленке трещин в образцах: *а* – в диске; *б* – в Т-образном образце; *в* – поперечных поверхностных трещин в выпуклости шва, при контроле на остаточной намагниченности

Сравнительный анализ показал, что в приложенном магнитном поле более четкими и контрастными получаются изображения индикаторных рисунков дефектов на пленке Flux-detector, а при контроле на остаточной намагниченности – на пленке ООО НПК «ПРОФ-МАГНИТ».

Внутренние несплошности обнаруживаются значительно лучше при контроле в приложенном поле, чем на остаточной намагниченности. На рис. 2 показаны полученные на пленке Flux-detector индикаторные рисунки шлаковых включений размерами 3,2; 4 и 4,8 мм, находящихся в образце толщиной 12 мм на глубине 6 мм от поверхности, при контроле образца в приложенном поле.

Удовлетворительные результаты контроля наблюдаются без предварительной механической подготовки поверхности объекта (даже стального литья) толщиной до 30 мм. Дефектоскопию такого объекта с использованием визуализирующей магнитные пленки производили в приложенном поле. На рис. 3, а

представлены полученные на пленке индикаторные рисунки компактных внутренних дефектов (шлаковых включений), а на рис. 3, б – трещины.

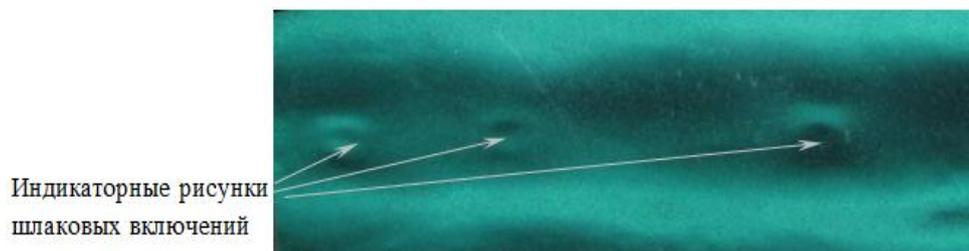


Рис. 2. Индикаторные рисунки на пленке шлаковых включений размерами 3,2; 4 и 4,8 мм, находящихся в образце толщиной 12 мм на глубине 6 мм от поверхности, при контроле образца в приложенном поле

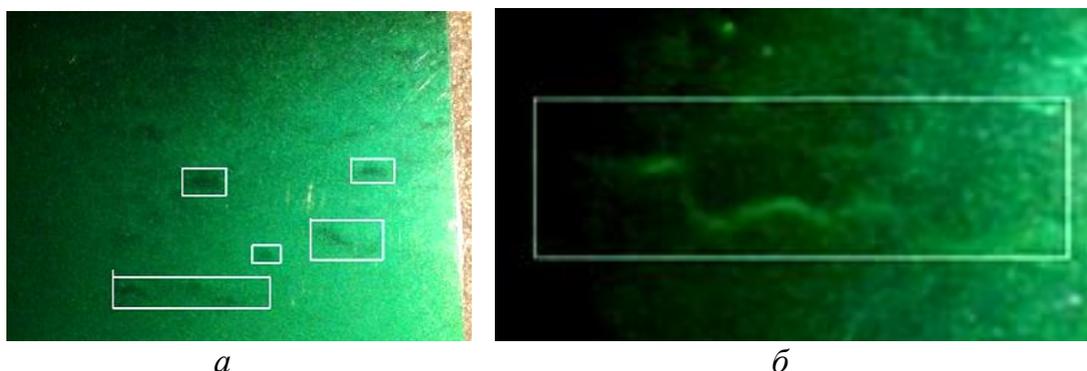


Рис. 3. Индикаторные рисунки на визуализирующей магнитные поля пленке внутренних компактных дефектов (а) и трещины (б) в стальном литом объекте толщиной 30 мм

Наличие обнаруженных дефектов в объекте подтверждено разрушающим методом. С этой целью из объекта контроля были вырезаны образцы, которые послойно фрезеровали с шагом 2 мм. В первом из них на глубине 20 мм были обнаружены 5 шлаковых включений, из которых 3 оказались недопустимыми (рис. 4,а), во втором – на глубине 6 мм была обнаружена трещина (рисунок 4, б).

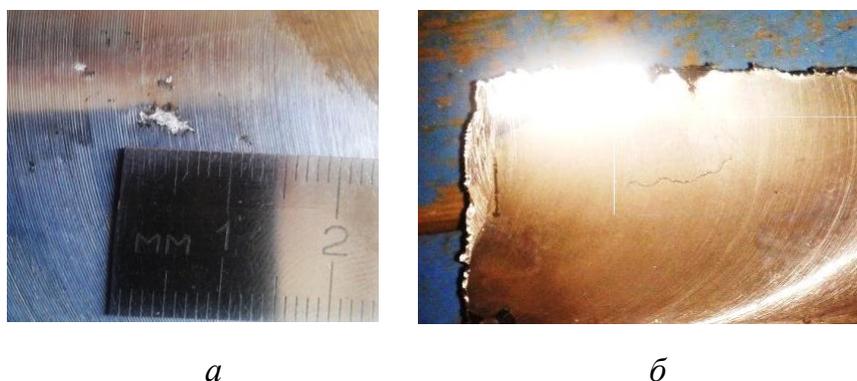


Рис. 4. Вид реальных дефектов, обнаруженных методом визуализирующей пленки в стальном литом объекте толщиной 30 мм: а – компактных шлаковых включений, находящихся на глубине 20 мм; б – трещины, находящейся на глубине 6 мм от поверхности объекта

Метод визуализирующей магнитные поля пленки позволяет определить глубину залегания дефекта и установить его величину [3]. С этой целью объект с уложенной на его поверхность визуализирующей магнитные поля пленкой намагничивают постоянным полем, освещают пленку параллельным пучком светового излучения зеленого цвета, фиксируют с помощью цифрового фотоаппарата полученные на пленке индикаторные рисунки дефектов, находящихся в объекте. Затем обрабатывают полученную информацию компьютерными методами, получая график зависимости коэффициента диффузного отражения света  $r$  (отношение отраженного от пленки светового потока к падающему) от расстояния  $x$  от плоскости симметрии индикаторного рисунка дефекта на пленке в поперечном направлении. При этом на мониторе возникает остроконечный импульс. Расстояние между его минимумами коррелирует с глубиной залегания дефекта, а приращение амплитуды – с величиной дефекта. Разработана компьютерная программа, которая позволяет не только получить график зависимости  $r(x)$ , но и определить глубину залегания дефекта и его величину по предварительно построенным номограммам.

В подтверждение сказанного на рис. 5 изображен индикаторный рисунок дефекта и соответствующая ему экспериментальная зависимость коэффициента диффузного отражения света пленки от расстояния поперек плоского дефекта внутренней по отношению к пленке поверхности пластины толщиной 6 мм. Ширина протяженного дефекта – 1,5 мм, глубина – 3 мм.

Приведенные результаты экспериментальных исследований по обнаружению реальных и искусственных дефектов в ферромагнитных объектах с использованием визуализирующей магнитные поля пленки показывают перспективность применения в ряде случаев разработанного метода контроля.

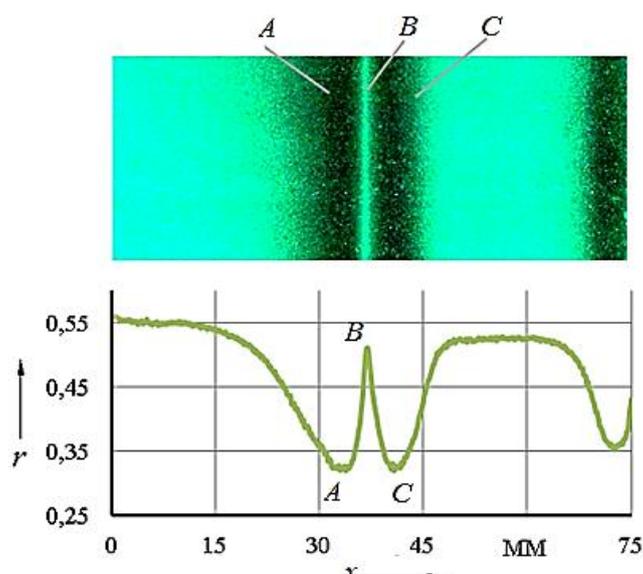


Рис. 5. Индикаторный рисунок дефекта и соответствующая ему экспериментально полученная зависимость коэффициента диффузного отражения света пленки от расстояния поперек плоского дефекта глубиной 3 мм, расположенного на внутренней поверхности пластины толщиной 6 мм

### Библиографический список

1. *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. – №4, 2016 с. 41-47.
2. *Новиков, В. А.* Магнитный контроль объектов с грубой поверхностью с использованием визуализирующей магнитные поля пленки / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2017. – № 1. – С. 43–60.
3. Пат. 21905 С1 ВУ, МПК G 01 N 27/85. Способ магнитографической дефектоскопии объекта и устройство для его осуществления /В. А. Новиков, А. В. Шилов; заявитель и патентообладатель Белорусско-Российский ун-т.–№ a20130262; заявл. 04. 03. 2013; опубл. 28.02.2018, Бюл. № 6.– 8с.

### Сведения об авторах

*Андрей Владимирович Шилов*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь, г. Могилев), shilov.andrej.80@gmail.com

*Владимир Алексеевич Новиков*, доктор технических наук, профессор кафедры «Физические методы контроля» межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь, г. Могилев), novikovva@tut.by

*Андрей Валерьевич Кушнер*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физические методы контроля» межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь, г. Могилев), kushnerandrej@tut.by