

УДК 681.7.013.8

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТОПОРОШКОВОГО И
МАГНИТООПТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Для численной оценки сравнительной эффективности двух методов наблюдения остаточных напряжений в поверхностных слоях ферромагнитных изделий были выполнены экспериментальные исследования отношения сигнал/шум по результатам визуализации магнитных полей рассеяния

Вступление

Определение остаточных напряжений в материалах путём неразрушающих исследований является одной из наиболее актуальных и сложных задач экспериментальной механики. Решения данной задачи на основе ультразвуковых (акустических) и рентгеновских методов отличаются высокой сложностью оборудования и трудоёмкостью исследований, что ограничивает их практическое применение. В то же время, по отношению к исследованию остаточных напряжений в изделиях из ферромагнитных материалов, очевидна перспективность магнитных методов [1].

В частности, для криминалистических исследований (восстановления уничтоженных знаков рельефной маркировки) номеров оружия, клейм боеприпасов, идентификационных номеров автомобилей и т.п. традиционно используется магнитопорошковый метод [2, 3]. Применение магнитопорошкового метода для исследований остаточных напряжений является нецелевым с точки зрения нормативной базы неразрушающего контроля (в частности, стандарт [4] регламентирует применение данного метода только для выявления поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности). Тем не менее, поскольку данный метод даёт практические результаты и до недавнего времени являлся единственным неразрушающим методом инструментальных криминалистических исследований данного класса объектов, то его применение широко распространено. Очевидно, что в данном случае речь идёт не об измерении остаточных напряжений или их допусковом контроле, – криминалистической информацией является пространственное распределение полей остаточных напряжений, а экспертной задачей – восстановление значения первичной маркировки объекта по данным наблюдения результатов визуализации этих полей.

Альтернативным подходом к визуализации магнитных полей рассеяния напряжённых объектов является новый для криминалистики метод магнитооптической визуализации [5], который, тем не менее, уже находит практическое применение и опирается на методическую [6] и правовую базу [7]. Бесспорными качественными преимуществами данного метода для обеспечения криминалистических исследований являются: нечувствительность к плоскостности и ориен-

тации исследуемых поверхностей, возможность селективного возбуждения полей рассеяния поверхностного слоя объекта, возможность исследования корродированных поверхностей.

При наличии альтернативных методов исследования неизбежно возникают вопросы о том, какие параметры улучшаются при использовании нового метода и о количественной оценке этих параметров, об их сравнении с параметрами традиционных методов исследований.

Постановка задачи

В настоящей работе выполнено сравнение магнитопорошкового и магнитооптического методов визуализации пространственного распределения магнитных полей напряжённых объектов по показателю сигнал/шум. Отношение сигнал/шум не характеризует в полном объёме достоверность экспертного решения, поскольку последняя определяется не только качеством данных визуализации, но и экспертной базой знаний, правилами интерпретации, набором решающих правил. В то же время, отношение сигнал/шум может выступать в виде количественного показателя качества данных, представляемых для исследования.

Анализ сигнала и шума в результатах визуализации распределения магнитного поля напряженного образца

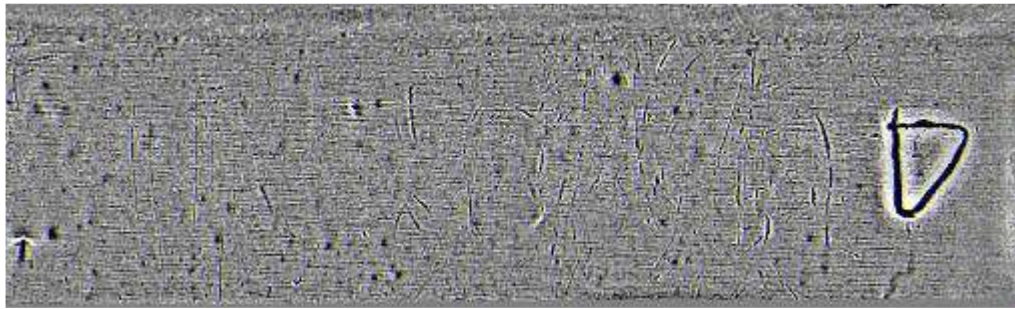
Экспериментальные исследования заключались в выполнении визуализации сравниваемыми методами полей рассеяния напряжённого тест-объекта. Тест-объект представляет собой пластину листового металла (Ст 45 толщиной 1,5мм) с первичной маркировкой рельефными знаками "865", выполненной методом механообработки давлением (холодной штамповки). Размер клейм "шрифт №6" (высота знаков 6 мм), глубина рельефа знаков порядка 0,3 - 0,4мм. Условия изменения первичного номера (удаления первичной маркировки): шлифовка на плоскошлифовальном станке со снятием слоя металла на глубину 0,5мм. Поверхность без покрытия – имитация зачищенной номерной площадки кузова автомобиля. Внешний вид поверхности тест-объекта приведен на рис. 1а, рельефная метка в правом верхнем углу служит для маркировки наклёпной поверхности (стороны) образца.

Магнитопорошковая визуализация (рис. 1б) выполнена в условиях полюсного намагничивания материала тест-объекта до состояния технического насыщения (индукция, порядка $B_s \approx 1,5-1,8$ Тл). В виде индикаторной жидкости использована магнитопорошковая суспензия на основе концентрата «РОСАВА-1200» ТУ 13700348.23-97.

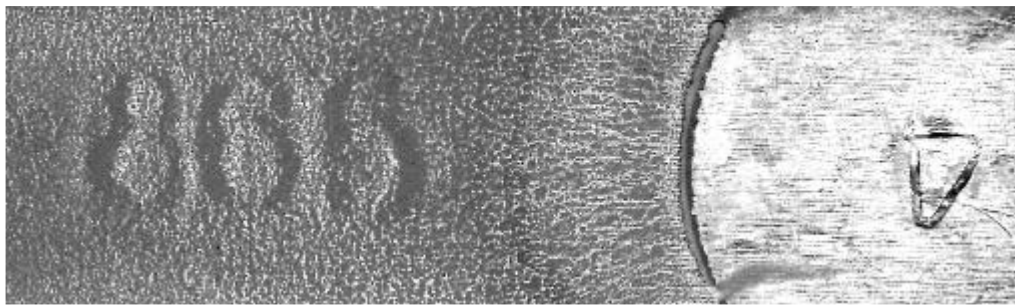
Магнитооптическая визуализация (рис. 1в) выполнена, в соответствии с принципами способа [5]: в результате копирования (запись с подмагничиванием) полей рассеяния объекта на промежуточный магнитный носитель и последующей визуализации полученной копии в поляризованном свете с использованием магнитооптического эффекта Фарадея. В виде датчика - визуализатора магнитного поля, использован тонкоплёночный кристалл висмутсодержащего ферритграната состава $(\text{TmBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$.

Изображения результатов визуализации, полученных сравниваемыми мето-

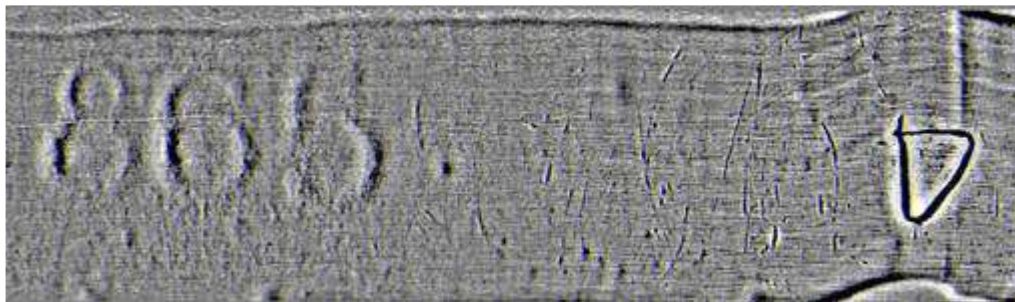
дами, с целью сопоставимости, приблизительно уравнены по оптическим характеристикам (пространственное разрешение, диапазон яркостей).



а)



б)



в)

а) – внешний вид исследуемой поверхности; б) – результат визуализации полей рассеяния объекта магнитопорошковым методом; в) – результат визуализации полей рассеяния объекта магнитооптическим методом

Рисунок 1 – Тест-объект, содержащий остаточные напряжения материала в области удаленных рельефных знаков

Для оценки отношения сигнал/шум при анализе изображений, как правило, используют отношение мощности сигнала к мощности шума [8]:

$$SNR = 10 \log \frac{P_{signal}}{P_{noise}}, \quad (1)$$

где P_{signal} – мощность сигнала, P_{noise} – мощность шума.

Характер распределения амплитуд сигнала и шума может быть предварительно оценен по иллюстрациям рис. 2, где на поз. а) и в) приведены укрупнённые фрагменты результатов визуализации, полученных исследуемыми методами, а на поз. б) и г) – яркости изображений в указанных (пунктиром) сечениях.

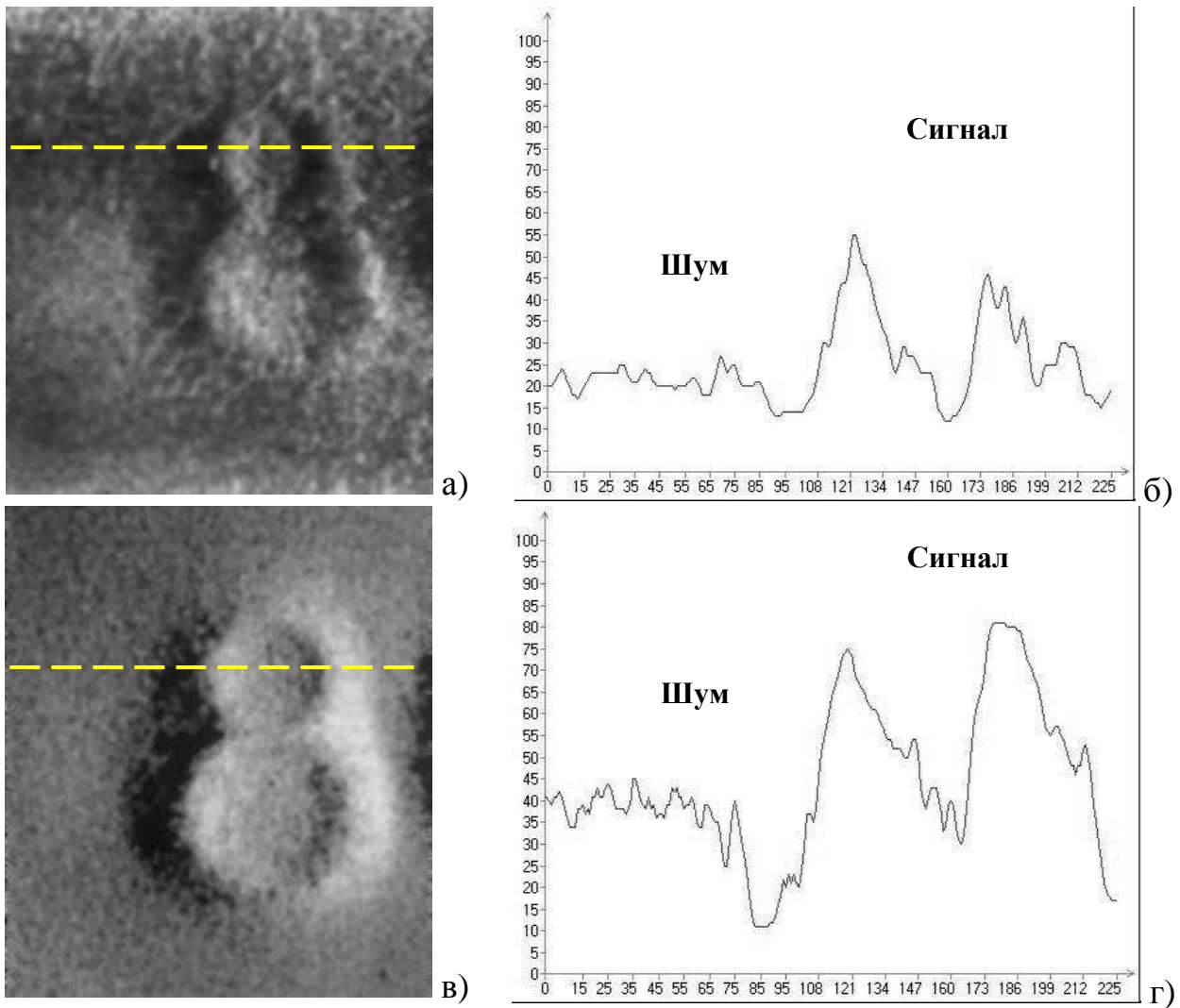


Рисунок 2 – Функции распределения амплитуд сигнала и шума: укрупнённые изображения результатов визуализации магнитопорошковым (а) и магнитооптическим (в) методами; б) и г) – яркости изображений в указанных (пунктиром) сечениях для соответствующих изображений.

И в области шума (где сигнал отсутствует), и в области сигнала наблюдаются отклонения амплитуды (яркости) изображения от некоторого среднего уровня (уровня «серого»), как в сторону малых амплитуд (уровень «черного») так и в сторону больших амплитуд (уровень «белого»). Однако, величина отклонения от среднего уровня в области сигнала больше, чем в области шума, что позволяет выделить сигнал на фоне шума. Кроме того, в области сигнала пространственная частота изменения амплитуды также отличается от области помехи, что является дополнительным фактором, повышающим достоверность выделения сигнала на фоне шума.

Таким образом, для практической оценки отношения сигнал/шум по полученному изображению – визуализации распределения магнитного поля надо выполнить сегментирование изображения на две непересекающиеся области – область сигнала S_{signal} и область помехи S_{noise} , оценить по каждой из областей мощность и выполнить вычисления по формуле (1). Мощность будем оцени-

вать как дисперсию амплитуд (яркостей) изображения:

$$P = \frac{1}{I_S J_S} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} (A_{ij} - \bar{A})^2, \quad (2)$$

S – соответствующая область изображения (сигнала или шума),

I_S, J_S – размеры области,

$\bar{A} = \frac{1}{I_S J_S} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} A_{ij}$ – среднее значение амплитуд (яркостей) изображения в

соответствующей области.

Результаты экспериментальных исследований

Для экспериментальной оценки были использованы два изображения – рисунок 1б – изображение, полученное магнитооптическим методом, рисунок 1в – изображение, полученное магнитопорошковым методом.

Результаты анализа изображений, приведены в таблице 1. Таким образом, по результатам анализа экспериментальных данных, магнитооптический метод обеспечивает улучшение отношения сигнал/шум на 3÷6 дБ, по отношению к магнитопорошковому методу.

Таблица 1 - Результаты анализа изображений

№ измер.	Знак	Магнитооптический метод			Магнитопорошковый метод			Приращение отношения сигнал/шум, дБ
		P_{signal}	P_{noise}	SNR , дБ	P_{signal}	P_{noise}	SNR , дБ	
1	«8»	372,87	59,59	7,96	348,94	116,85	4,75	+3,21
2	«6»	426,83		8,55	290,36		3,95	+4,60
3	«5»	515,29		9,36	243,67		3,19	+6,17

Преимущественное соотношение сигнал/шум для магнитооптического метода, полученное в результате оценки экспериментальных данных, на наш взгляд, имеет объяснение в рамках физических основ процессов визуализации, и является прямым следствием бесконтактности данного метода визуализации. Так, магнитооптическая визуализация основана на движении доменных стенок исходно регулярной структуры (полосовой доменной структуры кристалла датчика) под воздействием поля рассеяния объекта (или магнитной копии объекта). При этом такие характеристики поверхности объекта, как шероховатость, адгезионная способность, смачиваемость, силы молекулярного притяжения не оказывают непосредственного влияния на перестройку доменной структуры магнитооптического кристалла. В то же время перечисленные характеристики объекта являются определяющими для шумов магнитопорошкового метода, поскольку они влияют на свободу перемещения и флуктуации концентрации магнитных частиц суспензии. Применение поверхностно активных веществ в составе индикаторных жидкостей решает эти проблемы лишь частично, – оче-

видно, что даже микрорельеф поверхности ограничивает свободу перемещения магнитных частиц под действием пондеромоторных сил. Кроме того, частицы магнитного порошка, вследствие их совместного с образцом намагничивания, принципиально склонны к образованию конгломератов, что также не может не влиять на уровень шумов визуализации.

В заключение следует отметить, что при экспертных исследованиях, когда решение об обнаружении сигнала выполняет оператор-эксперт, минимальное значение обнаруживаемого сигнала будет определяться не только отношением сигнал/шум полученного изображения, но и рядом других плохо формализуемых факторов, поскольку при обнаружении будут использованы свойства зрения и особенности психофизиологической обработки визуальной информации, опыт экспертной практики, интуиция.

Выводы

1. По данным анализа экспериментальных результатов, магнитооптический метод более эффективен для криминалистических исследований остаточных напряжений, чем магнитопорошковый метод, поскольку он обеспечивает большее отношение сигнал/шум на 3÷6 дБ.

2. Приведенный анализ физических основ рассматриваемых процессов визуализации магнитных полей позволяет объяснить преимущественное соотношение сигнал/шум для магнитооптического метода, как следствие бесконтактности данного метода.

3. Полученные результаты позволяют считать магнитооптический метод перспективным для дальнейших исследований с целью определения его пригодности для измерения и контроля остаточных напряжений.

Литература

1. Р. Роуландс. Остаточные напряжения // Экспериментальная механика. Под. ред. А. Кобыяси. Кн.2. – М.: Мир, 1990. – С. 285-335.
2. Методика криминалистического исследования легковых автомобилей в целях установления подлинности их идентификационных номеров, моделей и времени выпуска. Прохоров-Лукин Г.В. – руководитель авторского коллектива. К.: Киевский НИИ судебных экспертиз, 1998. - 344с.
3. Нагайцев А.А. Исследование маркировочных обозначений легковых автомобилей зарубежного производства: Учебное пособие – М.: ЭКЦ МВД России, ЗАО «Издательство БИНОМ», 1999. - 264 с.
4. ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод; Введ. 01.01.1988 взамен ГОСТ 21105-75; Переизд. (апрель 1992 г.) с Изменением № 1, утвержденным в сентябре 1989 г. (ИУС 1-90) – М.: Изд-во стандартов. 1992 – 17с.
5. Патент на винахід (Україна) №42880 від 15. 11. 2001р., Бюл. №10, 7G 01N 27/82, 27/83: Спосіб магнітооптичного контролю виробу. Заявники патенту: Левий С.В., Агаліді Ю.С. По заявці № 99074257, від 22.07.1999. Приоритет від 05.10.2001. Автори винаходу: Левий С.В., Агаліді Ю.С.
6. Прохоров-Лукин Г.В. Установление фактических данных об автомобилях методами криминалистических экспертиз. – К.: типография журнала «Охрана труда», 2000. – 414с.
7. Про затвердження Інструкції про проведення огляду транспортних засобів та їх реєстраційних документів під час реєстрації, перереєстрації і зняття з обліку. Наказ Міністерства внутрішніх справ України № 987 від 10.11.2005. Зареєстровано в Міністерстві юстиції

України за № 1424/11704 від 24.11.2005.

8. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. 2-х т. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 600 с.

<p>Агаліді Ю.С., Левий С.В., Мачнев О.М. Порівняльний аналіз магнітопорошкового та магнітооптичного методів візуалізації просторового розподілу магнітного поля при дослідженні залишкових напружень Для чисельної оцінки порівняльної ефективності двох методів спостереження залишкових напружень у поверхневих шарах феромагнітних виробів було виконано експериментальні дослідження співвідношення сигнал/шум за результатами візуалізації магнітних полів розсіяння.</p>	<p>Agalidy U., Lyevyu S., Machnyev A. Comparative analysis of magnetic-powder and magnetic-optical methods for spatial distribution of magnetic field visualizing on investigation of residual stress Experimental investigations were made for numerical comparison of two methods effectiveness. Signal to noise ratios (SNR) were evaluated for images that were got as result of magnetic-optical and magnetic-powder visualizations of ferro-magnetic surface. Comparative analysis shows advantage of magnetic-optical method application with respect to magnetic-powder method</p>
---	---

*Надійшло до редакції
27 листопада 2005 року*

УДК 621.384.3

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕВАНТНИХ ОЗНАК ЗОБРАЖЕНЬ В ОЕП ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ТИПУ

Микитенко В.І., Національний технічний університет України “Київський політехнічний університет”, м. Київ, Україна

Досліджено вплив характеристик зображень і зорової системи оператора на ефективність візуального пошуку і розпізнавання

Вступ

До складу сучасних оглядових оптико-електронних систем (ООЕС) входять зазвичай кілька оптико-електронних приладів (ОЕП), які формують телевізійний, низькорівневий, тепловізійний канали [1]. Для забезпечення ефективного функціонування таких систем з огляду на те, що оператором є одна людина, необхідно комплексувати зображення з різних каналів і відобразити його на одному екрані. Комплексуванню зображень в ООЕС присвячено багато досліджень. В більшості їх автори розробляють загальні математичні алгоритми комплексування [2 - 4] або вирішують задачі автоматичного пошуку та розпізнавання [1, 5, 6]. Для підвищення інформативності комплексованого зображення на екрані монітору пропонується використовувати стандартні для цифрової обробки зображень процедури підвищення контрасту та підсилення контурів [7, 8], виділення текстур в зображенні та його сегментація [9], псевдоколюрове кодування [10] та ін. Не заперечуючи доцільність таких рішень в конкретних випадках необхідно відзначити недостатню їх обґрунтованість виходячи з оцінки ефективності роботи системи "ООЕС – оператор" в цілому. Очевидно, що результат комплексування зображень має оцінюватись ефективністю