

УДК620.1

Черепов С. В., Хессе Олаф**МЕТОД ЗОНДОВОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ КАК ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Методы неразрушающего контроля состояния оборудования в машиностроении применяются давно и на разных этапах, начиная от этапа создания оборудования и кончая этапом вывода оборудования из эксплуатации. В последнее время, с ростом требований к качеству выпускаемой продукции, на многих предприятиях, занимающих лидирующее положение в машиностроении и автомобилестроении, вводится контроль качества деталей после проведения каждой технологической операции. С другой стороны, массовость производства требует нового подхода к применению методов неразрушающего контроля, выводя на первое место бесконтактные методы, в первую очередь магнитные. Магнитные методы позволяют, механически не взаимодействуя с поверхностью исследуемой детали, оценить широкий спектр характеристик детали, таких как твердость, глубина закалки, механическая сплошность поверхности (трещин), наличие полостей в приповерхностном слое или накопленную «усталость» материала в процессе знакопеременных нагрузок или пластической деформации. Наиболее полную информацию о возможностях различных вариантов магнитных методов неразрушающего контроля можно почерпнуть в [1].

О возможностях и перспективах анализа изображений при неразрушающем контроле промышленного оборудования говорилось достаточно давно [2]. Однако в силу целого ряда причин до недавнего времени построение фотореалистического образа поля дефектов, необходимого для анализа изображения, не имело широкого распространения, а следовательно, и не имели широкого распространения передовые методы анализа изображения.

В последнее время в мире наблюдается повышенный интерес к информативности методов неразрушающего контроля, их большей чувствительности и помехозащищенности, более высокой надежности методов, улучшения способности к интерпретации полученных результатов и улучшение возможности документирования результатов испытаний. Комплексного улучшения результатов испытаний можно ожидать только при применении новых методов [3].

Целью исследований и одним из возможных направлений усовершенствования бесконтактных методов магнитного неразрушающего контроля может быть создание систем, способных не только анализировать наличие дефектов, их глубину и форму, но и построить двух или трехмерное изображение дефектного поля с фотореалистической точностью.

Очевидно, что построение таких систем невозможно без элементов робототехники, призванных обеспечить точное сканирование зонда над исследуемой поверхностью, миниатюрных высокочувствительных датчиков-зондов магнитного поля, а также соответствующего программного обеспечения.

В качестве примера комплексного решения вышеперечисленных проблем можно привести работу, выполненную под руководством Вертези [3]. Авторам удалось создать малогабаритный феррозондовый датчик, что в комплексе с системой сканирования и соответствующей программой позволило построить изображение неоднородности в образце из ферромагнитной стали INCONEL-600. В последующем [4] им удалось несколько увеличить разрешающую способность и построить изображение модельных дефектов (отверстий разного диаметра) в наборе алюминиевых пластин и сварного шва в алюминиевом листе.

Нами также было предпринято несколько попыток реализовать данный подход, в частности для дефектоскопии деталей из ферромагнитных металлов [5]. Несмотря на некоторый прогресс, добиться существенного увеличения разрешающей способности в предыдущих

работах так и не удалось. В результате возникали сложности в представлении на изображении небольших деталей дефектов, и как следствие, недостаточная информативность такого изображения.

Существенных сдвигов в направлении увеличения разрешающей способности удалось достичь лишь после разработки технологии изготовления высокочувствительных малогабаритных индуктивных зондов, что позволило существенно улучшить разрешение и получить фотореалистическое изображение поля дефектов. На рис. 1 можно видеть заготовку малогабаритного высокочувствительного индуктивного зонда с диаметром активной зоны порядка 300 мкм. Следует отметить, что в качестве зонда для некоторых материалов с успехом можно применять и другие датчики, например датчики Холла и т. д.

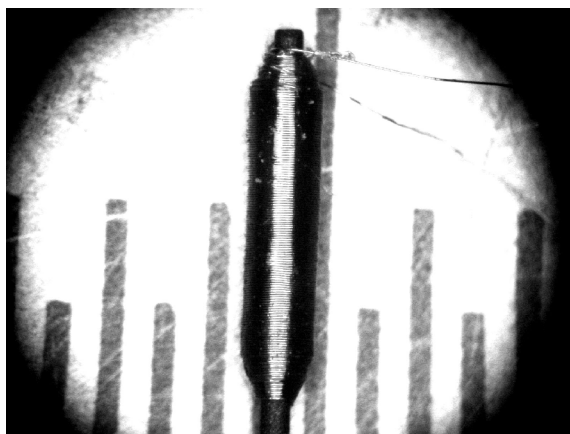


Рис. 1. Заготовка сенсора с 300-микронным сердечником (лежит на шкале линейки)

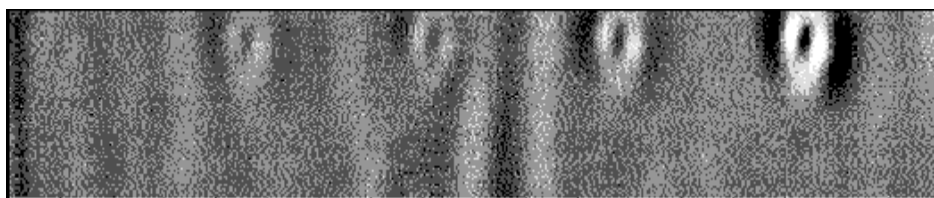
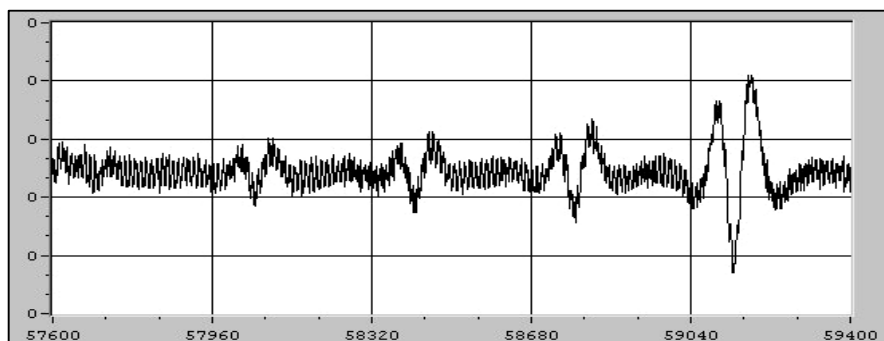


Рис. 2. Принцип построения изображения в методе зондовой сканирующей дефектоскопии (ЗСД):

сверху – одна строка сигнала с зонда; снизу – синтезированное из строк двумерное изображение

На рис. 2 показан принцип формирования изображения от системы отверстий разного диаметра, при котором после прохождения каждой X -строки, информация с последующей строки снимается после заданного смещения по Y координате. В результате можно получить картинку (скан) зависимости сигнала с зонда от координаты над дефектным полем, т. е. своеобразный сканированный магнитный образ исследуемого объекта.

Используя зонды с малой активной областью (несколько сотен микрон), можно получить картинки с достаточным пространственным разрешением. Например, на рис. 3 показаны трещины и микрокаверны в упрочняющем слое, нанесенном при отработке технологии упрочнения зеркала цилиндров двигателей внутреннего сгорания VW. В результате возникших при нанесении упрочняющего слоя напряжений произошло образование микротрещины, а выделение сорбированных литейным сплавом газов в процессе нанесения покрытия привело к возникновению микрокаверн (пустот) с разбросом размеров от 20 до 300 микрон.

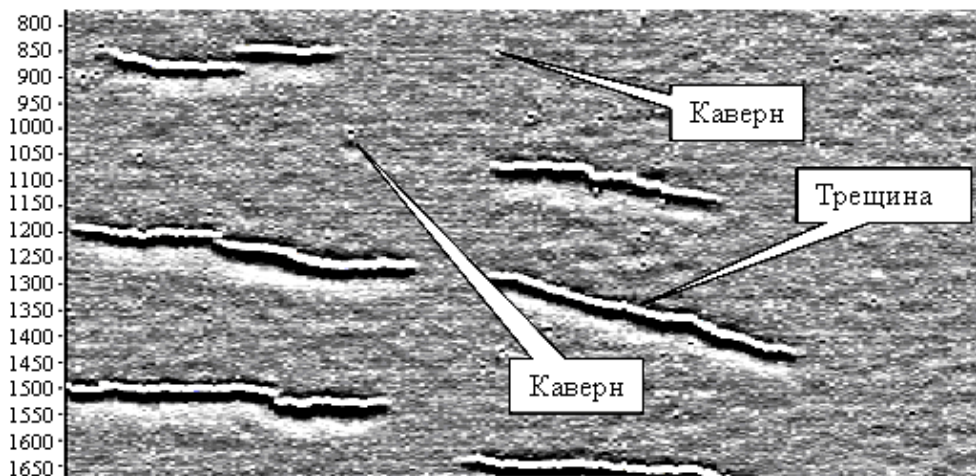


Рис. 3. Дефекты (трещины и микрокаверны) на упрочняющем слое, нанесенном на поверхность алюминиевого литейного сплава (блок цилиндров двигателя VW)

Данный метод также может с успехом применяться при дефектоскопии сварных соединений. Его использование позволяет строить фотореалистическое изображение сварного шва с возникающими в нем дефектами и напряжениями. Пример подробного изображения показан на рис. 4, на котором изображено магнитный образ распределения поверхностных токов на полированной алюминиевой поверхности с областью плазменного проплава алюминиевого листа. Отчетливо видны поля термических напряжений, возникшие в зоне проплава, неоднородности самого шва, а также дефекты в зоне проплава.

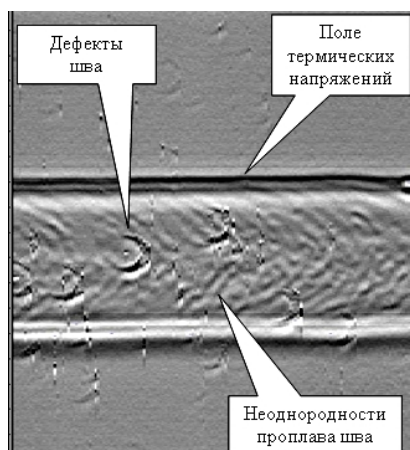


Рис. 4. Магнитный образ распределения токов Фуко в методе магнитной дефектоскопии на переменном токе в полированной алюминиевой поверхности с областью плазменного проплава алюминиевого листа

Несколько слов хочется сказать о дальнейших перспективах метода ЗСД. Прежде всего, это высокое пространственное разрешение. Уже в настоящее время мы можем разделить два точечных дефекта, отстоящих один от другого на расстоянии 50 микрон. Оценки проводились по методу контрольных точек, выполненных на определенном расстоянии с помощью

микротвердомера. Нет сомнения в том, что это далеко не предел. При применении зондов с меньшим диаметром активной зоны, этот параметр будет еще улучшен. Следует также ожидать дальнейшего улучшения помехозащищенности аппаратуры ЗСД. Это связано в первую очередь с возможностью применения современных методов обработки изображения. Небольшой объем статьи не позволяет детально проанализировать все возможности современных методов обработки изображения, однако в качестве наиболее наглядного примера хочется привести пример обработки изображения для выделения сигнала на фоне сильных помех с помощью метода быстрого Фурье-преобразования, взятый из [1]. На рис. 5, а представлено зашумленное изображение, на рис. 5, б представлено его Фурье-образ, на рис. 5, в представлен отредактированный Фурье-образ, на рис. 5, г – восстановленное по Фурье-образу изображение. Видно, что обработка изображения по такому алгоритму позволяет выявить детали, практически не видные на фоне шума.

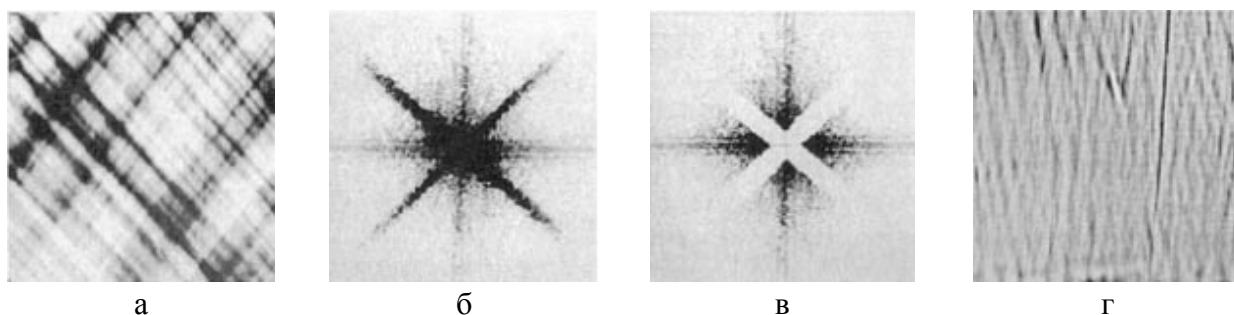


Рис. 5. Обработка изображения с помощью быстрого преобразования Фурье (материалы иллюстрации взяты из [1])

ВЫВОДЫ

Несомненно, метод зондовой сканирующей дефектоскопии позволит существенно упростить и поднять на более высокий уровень документирование результатов дефектоскопии исследуемого оборудования. Значимость его можно сравнить со значимостью фотодокументирования при проведении визуального обследования данного оборудования. В связи с возможностью фотореалистического документирования расположения дефектов также открывается возможность изучения динамики развития дефектов, причем на количественном уровне. Это в свою очередь позволит предсказывать развитие дефектов, и, как следствие, достоверно прогнозировать возможные аварийные ситуации на работающем оборудовании.

Авторы выражают глубокую благодарность институту IMG, Нордхаузен, Тюрингия, ФРГ, за предоставленную возможность работать на их оборудовании, а также фонду AIF, ФРГ, за финансирование проекта «Zerstörungsfreie Prüfung von Laser-modifizierten Oberflächen an Bauteilen aus Aluminium-Guß» («Бесконтактное испытание модифицированных с помощью лазерной обработки деталей из сплавов алюминия»), № Fkz P0019601PLB1B, в рамках которого были проведены вышеизложенные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nondestructive Evaluation and Quality Control : ASM International, 9 edition (October 1989) // ASM Metals Handbook. – 1989. – Volume 17.*
2. *Janne D. H. Digital Image Analysis Applied to Industrial Nondestructive Evaluation and Automated Parts Assembly / D. H. Janney, R. P. Krug // Int. Adv. Nondestr. Test. – 1979. – Vol 6. – P. 39–93.*
3. *Vertesy G. High sensitivity magnetic sensor / G. Vertesy, A. Gasparics, J. Szöllösy // Sensors and Actuators . – 2000. – № 85. – P. 202–208.*
4. *Vertesy G. Inspection of the Welded Parts of Aluminium Plates by Fluxset Type ECT Probe : Presented at EUROSENSORS-XVI Conference 2002 September 15-18 : Prague, Czech Republic / G. Vertesy, A. Gasparics, A. Süveges. – Paper TP-06.*
5. *Cherepov S. Magnetic and Magnetoinductive Imaging Methods for NDT - Measurement Complex and application / S. V. Cherepov, O. Hess // Journal of electrical engineering. – 2002. – Vol. 53, № 10/s. – P. 10–11.*