

V. A. Syasko

The article is an attempt to give a brief review of surface scanning matters while eddy-current testing.

# СКАНИРОВАНИЕ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ

**В**ихретоковый вид НК применим для контроля изделий из электропроводящих ферро- и неферромагнитных материалов. Он основан на анализе взаимодействия собственного электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте и зависящих от электрофизических и геометрических параметров объекта контроля.

Выбор метода, характеристик преобразователей и методик контроля определяется параметрами выявляемых дефектов и объектов контроля (относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ , удельной электропроводностью  $\sigma$ , температурой  $t$ , шероховатостью  $R_z$  и их градиентами). Также следует учитывать, является ли изделие однослойным или многослойным (в предположении, что слои имеют отличающиеся  $\mu$  и  $\sigma$ ).

При разработке аппаратуры важным является учет геометрических параметров контролируемых изделий:

- геометрические размеры изделия или зоны контроля – длина и ширина для плоских изделий;
- радиус и длина в зоне контроля для цилиндрических изделий;
- радиус и диаметр зоны контроля для цилиндрических изделий;

- внутренняя (вогнутость) или наружная (выпуклость) поверхность ( $-r$  или  $+r$ );
- сложнопрофильность – наличие плоских, цилиндрических и сферических вогнутых и выпуклых участков (зон) на изделии или конструкции;
- габариты – абсолютные размеры объемного изделия или конструкции:

- а) миниатюрные, размер которых меньше зоны контроля преобразователя;
- б) малогабаритные, размер которых сопоставим с зоной контроля преобразователя;
- в) среднеразмерные, для контроля которых необходимо провести заданное число измерений на поверхно-

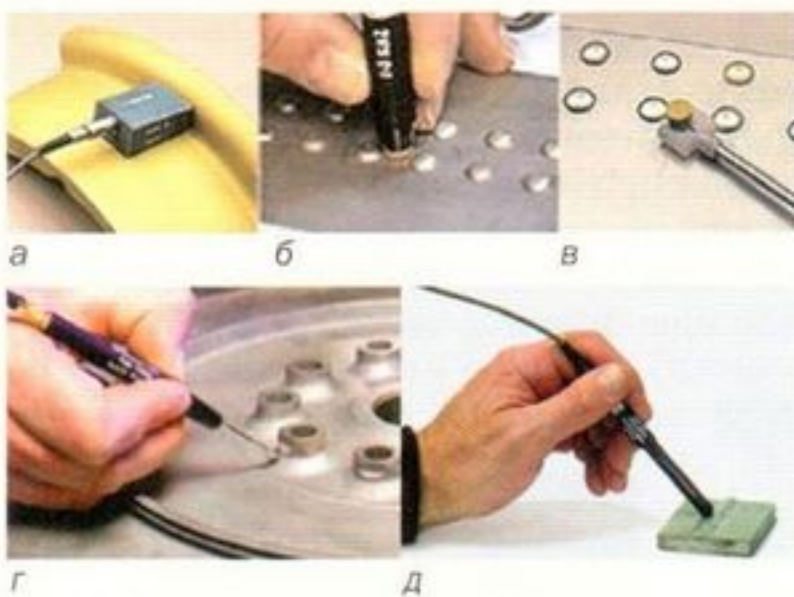


Рис. 1. Одноэлементные преобразователи к вихретоковым дефектоскопам



Рис. 2. Контроль обшивки планера самолета с целью выявления мест коррозии

сти, но не требуется создание карты контроля;

- г) крупногабаритные, характеризующиеся необходимостью проведения большого числа измерений, когда требуется создание карты контроля.

Соответственно должна предполагаться возможность проведения ручного, механизированного, автоматизированного и автоматического контроля изделий. Ручной контроль предполагает настройку прибора, выполнение процедур контроля и принятие решения оператором. Механизированный контроль предполагает обеспечение параметров установки преобразователя (преобразователей) в заданных точках изделия и их перемещение оператором различными механическими приспособлениями с использованием мускульной силы. Главное

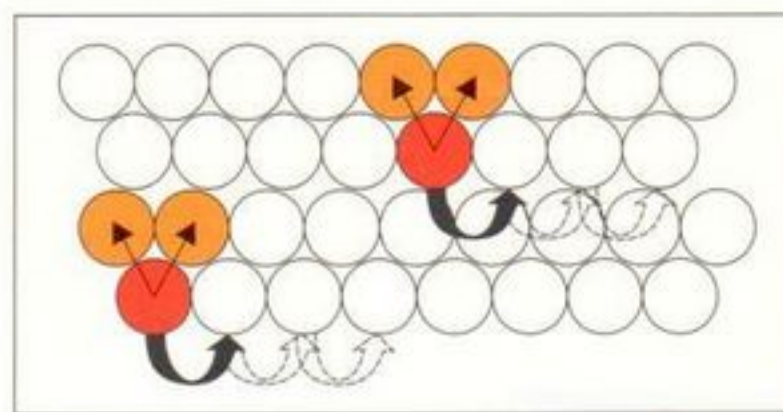


Рис. 3. Один из вариантов коммутации обмоток первичных преобразователей многоэлементных преобразователей в процессе контроля (а) и устройство многоэлементного преобразователя (б)



**Сясько Владимир Александрович**  
Генеральный директор  
ЗАО «Константа», Санкт-Петербург



отличие автоматизированного контроля в том, что он характеризуется обеспечением параметров проведения контроля (режимы работы оборудования, перемещение и установка преобразователей в заданных точках изделия) без участия оператора. Оператор осуществляет общее наблюдение за работой оборудования и принимает решение о дефектности изделия на основании получаемых дефектограмм. Автоматический контроль предполагает выполнение всего цикла контроля объекта без участия человека, вплоть до принятия решения о соответствии изделия заданным техническим характеристикам.

Большинство приборов вихретокового контроля предполагает проведение ручного контроля одноэлементными преобразователями или возможность их встраивания в системы контроля различного уровня автоматизации.

Выпускается большая гамма ручных дефектоскопов. В комплект приборов могут входить большое число одноэлементных преобразователей общего назначения и специализированных с диаметром зоны контроля от 1 до 15 ÷ 30 мм. Соответственно, при сканировании поверхности изделия шаг контроля коррелирует с диаметром зоны контроля и длиной выявляемых дефектов. Сканирование при кон-

троле производится вручную перемещением преобразователей по заданным траекториям (линейным, прямым возвратно-поступательным с требуемым шагом или круговым). В качестве примеров на рис. 1а изображен специализированный преобразователь, требующий линейного перемещения, на рис. 1б, в представлены преобразователи для контроля области около заклепок авиоконструкций. Контроль производится перемещением преобразователей вокруг зоны заклепки, последовательно одной за другой. Данный контроль весьма трудоемок, требует внимательности и аккуратности. На рис. 1г представлен миниатюрный вихретоковый преобразователь, а на рис. 1д – преобразователь для контроля сварных швов.

В общем случае траектории сканирования должны обеспечивать прохождение преобразователя над дефектом, что достигается в случае, если диаметр зоны контроля меньше протяженности дефекта. Например, при длине поверхностного дефекта 5 мм для его выявления и определения размеров в случае использования преобразователя с эквивалентным диаметром около 3 мм необходимо сканировать поверхность с шагом не более 2,5 мм. Однако в ряде случаев это представляет значительные трудности (рис. 2). При сканировании сле-

дует различать скорость сканирования и скорость контроля. Скорость сканирования обычно составляет от 2 ÷ 3 до 50 мм/с. Так, в случае использования простейшего вихретокового дефектоскопа (например, «Константа ВД1») с одноэлементным преобразователем при линейной скорости сканирования около 20 мм/с по строке при ручном контроле и шаге между строками 6 мм зона контроля 500 × 500 мм будет просканирована за 34 мин, что недопустимо долго. При этом скорость контроля может быть существенно ниже, т. к. при получении информации о дефекте оператор чаще всего внимательно обследует зону дефекта для принятия решения. Кроме того, весьма высоко влияние человеческого фактора. Достоверность ручного контроля во многом определяется квалификацией и ответственностью оператора.

Таким образом, при контроле обшивки планера самолета с целью выявления мест коррозии производительность контроля и его реальная достоверность с учетом сказанного будут недостаточными для столь ответственных изделий (рис. 2).

Для увеличения производительности при ручном контроле были разработаны многоэлементные преобразователи (ECA – Eddy current arrays). Первичные преобразователи многоэлементных преобразователей могут быть одномоточными параметрическими, трансформаторными, дифференциальными и абсолютными. В процессе контроля предполагается их коммутация к возбуждающим и измерительным цепям (рис. 3) для реализации заданных методов и методик контроля, в том числе с изменением частоты возбуждающего тока.

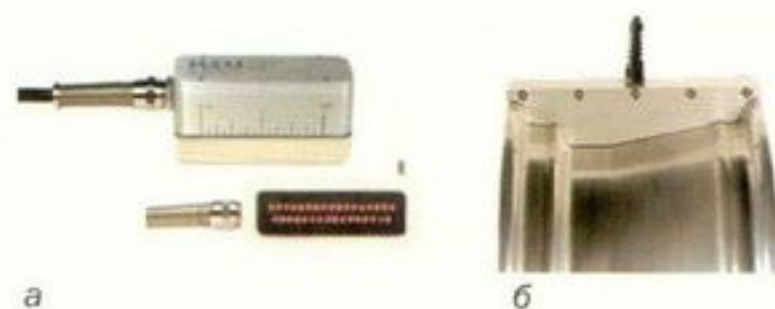


Рис. 4. Вихретоковый преобразователь из 32 элементов для плоских и квазиплоских поверхностей (а) и многоэлементный для сложнопрофильных (б)



Рис. 5. Многоэлементный преобразователь с датчиком пути

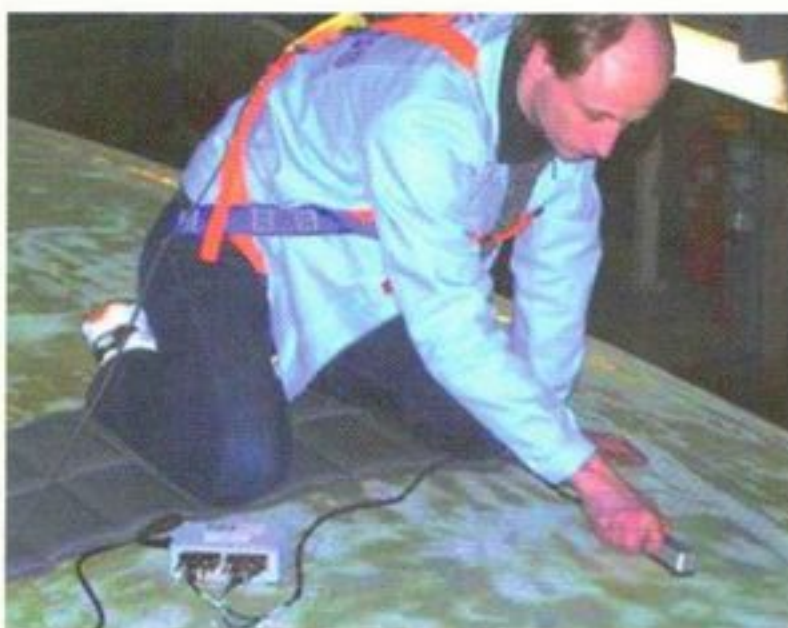


Рис. 6. Контроль обшивки планера самолета многоэлементным преобразователем

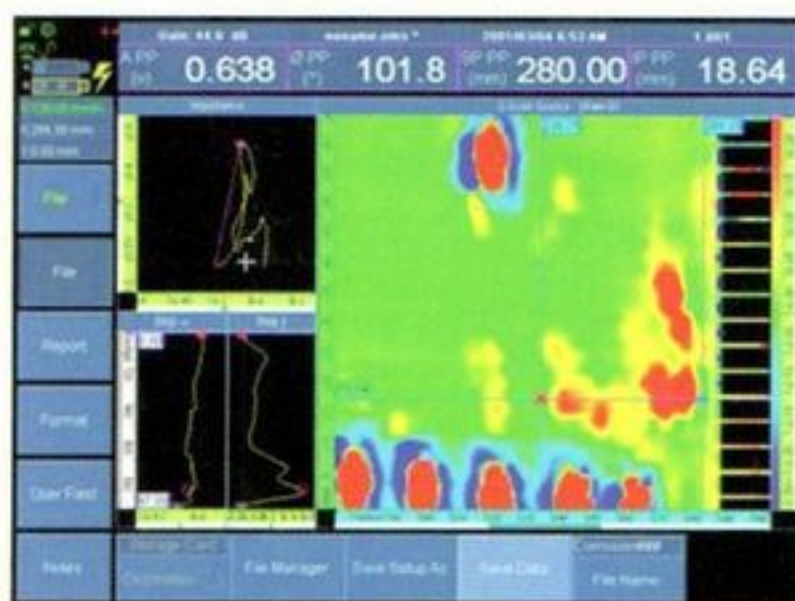


Рис. 7. Дефектограмма (С-скан) участка контроля с использованием многоэлементных преобразователей с указанием дефектов



Рис. 8. Один из вариантов исполнения внутритрубных преобразователей



Рис. 9. Комплект прибора MIZ-28 для контроля труб теплообменников



Рис. 10. Двухкоординатный ручной сканер

Дискретность контроля с использованием этих преобразователей определяется расстоянием между осями обмоток, ширина зоны контроля – количеством элементов в рядах. На рис. 4 представлены варианты многоэлементных преобразователей: общего назначения (а) и специализированного (б).

Многоэлементные преобразователи позволяют существенно поднять производительность контроля. Аналогично рассмотренному выше случаю время контроля зоны  $500 \times 500$  мм составит около 3 мин. для тридцатидвухэлементного преобразователя. Для представления результатов контроля (получения дефектограммы) они оснащаются датчиками пути (рис. 5).

Многоэлементные преобразователи нашли широкое применение при контроле плоских и квазиплоских изделий, в основном в авиации (рис. 6), при поиске мест коррозии планера и обшивки крыла. В процессе сканирования оператор осуществляет позонное перемещение преобразователя по поверхности, следя за тем, чтобы не было пропусков зон. Прибор координирует переключение возбуждающих и измерительных обмоток со скоростью перемещения преобразователя с учетом задачи контроля. Это обеспечивает получение дефектограммы с точной координатной привязкой дефектов к поверхности изделия (рис. 7).

Использование многоэлементных преобразователей позволяет существенно снизить требования при сканировании поверхности, упростить траектории сканирования и обеспечить высокие производительность и достоверность при ручном контроле.

В случае многослойных конструкций одной из задач является послойное сканирование, обеспечиваемое двумя способами:

- изменением (переключением) частоты возбуждающего напряжения (чаще всего дискретным);



Рис. 11. Вихретоковый дефектоскоп EDDYCHECK 5 (а) и встроенные в поточные линии преобразователи для контроля труб (б), раскаленных прутков (в) и проволоки (г)

– импульсным возбуждением и последующим анализом сигналов с измерительных обмоток на заданных частотах, соответствующих необходимым глубинам проникновения вихревых токов (данный вариант, являясь более сложным программно-аппаратно, обеспечивает большую скорость контроля).

Для контроля многослойных конструкций также используются многоэлементные преобразователи. При контроле трехслойных конструкций с заклепками при сканировании поверхности с использованием многоэлементного преобразователя осуществляется переключение частоты возбуждающего тока в процессе сканирования.

Механизированные установки вихретокового контроля нашли широкое применение при дефектоскопии труб проходными внутритрубными преобразователями (рис. 8). Оператор при этом осуществляет перемещение преобразователя с использованием жесткой или изгибаемой штанги. На рис. 9 представлен комплект прибора MIZ-28 для контроля труб теплообменников.

В процессе сканирования внутренней поверхности трубы система получает информацию о линейном расстоянии преобразователя от точки ввода и осуществляет автоматическую привязку результатов к координате точки контроля.

Механизированные установки в виде двухкоординатных ручных сканеров нашли широкое применение в авиации для контроля различных элементов конструкции, в частности, на этапах отработки технологии и при их мелкосерийном производстве (рис. 10). Следует отметить, что у данных установок сбор, обработка и представление результатов контроля осуществляются автоматически по соответствующей программе, хранящейся в памяти специализированного прибора.

Сканер позволяет использовать одноэлементные и многоэлементные преобразователи. Траектории сканирования мо-



Рис. 12. Система контроля цилиндрических поверхностей автоматизированным двухкоординатным сканером

гут быть самые разнообразные. При этом в память вихретокового прибора передается информация с выхода преобразователя и его координаты. Сканеры нашли применение при контроле углепластиковых конструкций, которые требуют разработки самой технологии контроля как на этапе изготовления, так и эксплуатации. Сканер обеспечивает точность фиксации координат на уровне 0,1 мм.

Для контроля прутков, труб и проволоки в поточном производстве применяют системы на основе внешних проходных преобразователей. Примеры таких встраиваемых автоматизированных систем вихретокового контроля на базе прибора EDDYCHECK 5 с различными специализированными преобразователями представлены на рис. 11. Системы позволяют производить поиск различных дефектов с автоматическим сохранением результатов в памяти и при необходимости маркировать дефектные места, а также сортировать продукцию на три группы. Прибор может оснащаться проходными и накладными многочастотными преобразователями. Сканирование поверхности цилиндрических изделий осуществляется их перемещением штатным оборудованием поточной линии производства относительно встроенных в нее преобразователей (проходных охватывающих преобразователей, в том числе с системой намагничивания, вращающихся систем и т. д.)

В авиации развитием механизированных систем стали автоматизированные системы контроля цилиндрических элементов конструкции фюзеляжа (рис. 12). Двухкоординатная система сканирования содержит изгибаемую направляющую с присосками и каретку с приводом. На каретке закреплена штанга с приводом и многоэлементным преобразователем. Время контроля зоны  $500 \times 500$  мм этим преобразователем при линейной скорости сканирования около 50 мм/с составит 1 – 1,5 мин при существенно более высокой достоверности. Данная система по-



Рис. 13. Система контроля дисков на базе трехкоординатной системы позиционирования

# КОНСТАНТА®

система менеджмента  
качества сертифицирована  
на соответствие стандарту  
ИСО 9001:2008



## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

ЗАО «КОНСТАНТА» РАЗРАБАТЫВАЕТ И ПРОИЗВОДИТ  
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ  
ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

Толщиномеры защитных покрытий  
всех типов серии «КОНСТАНТА»

Ультразвуковые толщиномеры  
металлических и неметаллических  
изделий серии «БУЛАТ»

Электронные динамические  
и ультразвуковые твердомеры  
металлов серии «КОНСТАНТА Т»  
и принадлежности к ним

Электроискровые дефектоскопы  
серии «КОРОНА»

Вихретоковые дефектоскопы серии «КОНСТАНТА ВД»

Приборы комплексного контроля качества защитных покрытий

Приборы для входного контроля лакокрасочных материалов

ЗАО «УЗ-КОНСТАНТА» – СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ  
ЗАО «КОНСТАНТА» РАЗРАБАТЫВАЕТ И ПРОИЗВОДИТ  
СЛЕДУЮЩУЮ ПРОДУКЦИЮ

Ультразвуковые преобразователи для толщинометрии  
и дефектоскопии металлических и неметаллических изделий  
в составе отечественных и импортных приборов (номенклатура  
преобразователей более 300 позиций)

Стандартные образцы для толщинометрии и дефектоскопии

Стандартные образцы предприятия

Принадлежности для ультразвуковой толщинометрии  
и дефектоскопии

Продажа и обслуживание дефектоскопов серии УД2-140  
в Северо-Западном регионе



на правах рекламы

198095, Санкт-Петербург, а/я 42, т./ф.: (812) 372-29-03-(04)

[www.constanta.ru](http://www.constanta.ru)

[office@constanta.ru](mailto:office@constanta.ru)