

# МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 620.179.14

## РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

© Сучков Г. М., Хомяк Ю. В., 2006

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

*Розглянуто питання дефектоскопії і дефектометрії виробів зі «складною» для проведення контролю поверхню. Розроблено і досліджено вихрострумівий перетворювач з просторово розподіленими катушками. Встановлена можливість вихрострумівого контролю зварних швів з визначенням форми та глибини дефектів*

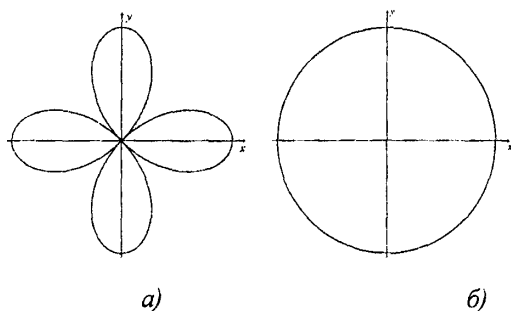
Для осуществления современной вихретоковой (ВТ) дефектоскопии применяют широкую номенклатуру серийно выпускаемых приборов [1]. Однако в каждом отдельном случае имеет место специфика (особенности структуры и свойств контролируемого объекта, его формы и конструкции, требований заказчика и т.п.), которая обуславливает необходимость дополнительных исследований и разработку специализированных средств контроля [2-5]. Особенно ярко это проявляется при дефектоскопии изделий, которые имеют «сложную» поверхность (с загрязнениями и защитными покрытиями, коррозионными повреждениями, с шероховатостью, превышающей допустимые нормы и т.д.). При этом важной проблемой является индикация формы и размеров обнаруженных дефектов в изделиях как находящихся в эксплуатации, так и при их изготовлении. Необходим переход от дефектоскопии к дефектометрии. Контроль необходимо выполнять без специальной подготовки поверхности, так как зачистка поверхности перед проведением оценки качества приводит к потере энергии, слоя металла и защитного покрытия и, следовательно, к потере потребительских свойств изделия. Поэтому разработка средств контроля изделий со сложной для проведения дефектоскопии поверхностью является актуальной.

Анализ литературных источников позволил сформулировать требования к современному специализированному мобильному ВТ дефектоскопу, для которого имеется соответствующая ниша в гамме выпускаемых в настоящее время приборов, которая для такого прибора может быть определена следующим образом. Дефектоскоп должен позволять выполнять

контроль разнообразных по форме изделий и материалов без зачистки поверхности от покрытий, коррозии, в том числе по поверхности, характерной для сварных швов. Результаты контроля не должны заметно зависеть от температуры металла и вихретокового преобразователя (ВТП), а также физико-механических характеристик поверхностных слоев изделия. Дефектоскоп не должен иметь движущихся деталей, должен выполнять оценку эквивалентных геометрических размеров обнаруженных дефектов с индикацией результатов визуально и с помощью звука. Управление дефектоскопом должно быть простым и удобным, питание экономичным, его стоимость не должна быть значительной.

Установлено, что для реализации сформулированных выше требований необходимо совершенствование известных ВТП и применение простых и надежных технологий и средств обработки информации. Анализ известных разработок [1-6], а также результатов работы авторов позволил установить, что в качестве базового ВТП оптимальным является накладной трансформаторный дифференциальный вариант с пространственным распределением витков катушек с одним или несколькими рабочими участками без применения температурозависимых сердечников (ферритов и т.п.). Возбуждающие и приемные катушки могут быть включены в резонансные контуры. Для обеспечения экономии электроэнергии и высокой чувствительности питание преобразователя целесообразно осуществлять пакетными радиоимпульсами с частотой заполнения до 200...450 кГц. Длительность импульса необходимо устанавливать исходя из условия полной раскачки резонансных контуров преобразователя.

Для обеспечения приемлемой скорости сканирования частоту следования зондирующих импульсов целесообразно выбирать не менее 100 Гц. При изготовлении ВТП следует осуществлять компенсацию наводки с катушек возбуждения до уровня не выше 0,5...5 мВ. Конструкция ВТП должна быть изготовлена с неоднородной чувствительностью вдоль различных направлений относительно оси ВТП (рис. 1). Это позволяет оценивать форму обнаруженного дефекта – округлый он или трещиноподобный, т.е. вытянутый в одном направлении.



а) – при обнаружении линейной трещины, ориентированной вдоль оси  $x$  или  $y$ ; б) – при обнаружении трещины в виде округлой лунки, отверстия

Рис. 1. Диаграммы чувствительности ВТ преобразователя, позволяющего определять форму обнаруженного дефекта

Возможности разработанной нами разновидности ВТП были исследованы с применением образцов изделий, изготовленных из различных материалов. Наиболее часто встречающимся и ответственным объектом контроля являются трубы. Поэтому исследование возможностей нового ВТП выполнены на образцах с различной кривизной поверхности, отобранных от труб диаметром от 17 мм и более производства ЗАО «НИКО ТЬЮБ», завода им. Ленина, а также листов, производства ОАО «МК Азовсталь», чугунных валков производства ОАО «Лутугинское объединение по производству прокатных валков» и др. Исследованы также трубы, изготовленные из обычных и легированных сталей, сплавов алюминия и меди. Толщины стенок труб находились в пределах от 1 до 20 мм. Исследованы внешняя и внутренняя поверхности труб. Кроме того, проконтролированы образцы прутков диаметром 20 мм и более из бронзы и латуни, а также сталей. Состояние поверхности образцов отвечало поставочным требованиям и они содержали как естественные дефекты разного типа,

так и искусственные дефекты в виде пазов и сверлений разных размеров и разной ориентации. Кроме того, исследована возможность выявления трещиноподобных дефектов в сварных швах стыкового, нахлесточного и уголкового типа и определения их формы.

Наиболее значительное влияние на эксплуатационные характеристики изделий имеют дефекты типа трещин, которые находятся или возникают в зоне действия циклических нагрузок. Поэтому на начальной стадии работы была исследована выявляемость искусственных дефектов в виде продольных пропилов с заданными раскрытием, глубиной и длиной. Характерный вид исходного информационного сигнала, сформированного на выходе разработанного ВТП при наличии в плоском образце из стали У7 с грубо фрезерованной поверхностью дефекта глубиной 0,75 мм и раскрытием не более 100 мкм, показан на рис. 2 (частота заполнения импульса – 250 кГц; длительность импульса – 10 периодов; напряжение на возбуждающей катушке – 5 В). Очевидно, что в этом случае выявляемость трещины составляет 100%.

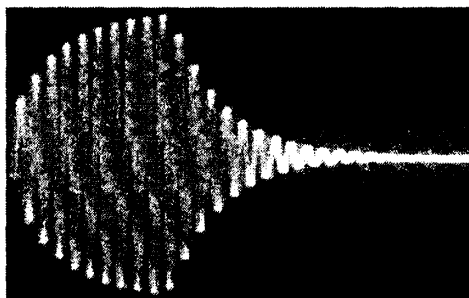


Рис. 2. Сигнал на выходе втп при наличии в раб90 очей зоне модели дефекта в виде трещины, изготовленной прокаткой, глубиной 0,75 мм

Разработанный ВТП был снабжен электронным блоком, изготовленным на базе вихретокового микропроцессорного дефектоскопа «Малыш» [5]. Электронный блок прибора (рис. 3) дополнительно снабжен головным телефоном, аккумуляторным блоком, сетевым адаптером.

Результаты исследований работы разработанного дефектоскопа по выявлению дефектов в виде прямоугольной канавки разной глубины в образцах из стали Ст.45 приведены на рис.4, а (обработанная поверхность) и на рис.4, б (поверхность в состоянии после прокатки). При исследованиях чувствительная рабочая зона ВТП составляла  $1 \times 2 \text{ мм}^2$ . Частота тока питания катушки возбуждения преобразователя составляла 250 кГц.



Рис. 3. ВТП в составе дефектоскопа «Малыш М», позволяющий осуществлять дефектометрию поверхностных несплошностей

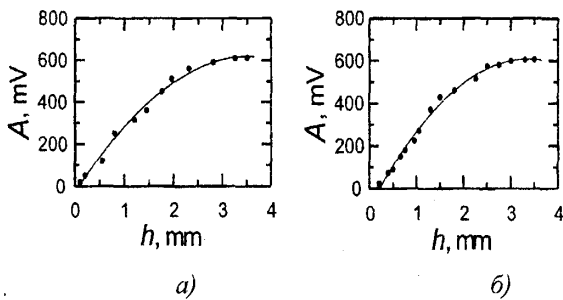


Рис. 4. Зависимости амплитуд выходного напряжения ВТП от глубины модели дефектов в виде пропила на образцах с разным состоянием поверхности

На поверхности образцов изготавливался пропил прямоугольной формы минимальной глубины (0,1 мм) с раскрытием 0,2 мм и длиной около 30 мм. Перемещая ВТП вдоль и поперек дефекта, находили максимальное значение амплитуды информационного сигнала. Затем пропил углублялся и измерения повторялись. Из приведенных результатов следует, что выявляемость поверхностных дефектов начиная от глубины 0,1 мм (по обработанной поверхности) и 0,2 мм (по катаной поверхности) является достаточной для оценки качества значительного сортамента изделий.

Аналогичные исследования выполнены для алюминия и его сплавов, меди, латуни, бронзы, чугуна, нескольких марок нержавеющей стали и др. На всех перечисленных материалах минимально возможная выявляемость дефектов в виде пропилов составляла глубину около 0,1-0,2 мм. Во всех исследованных случаях в зависимости от глубины пропилов дефекты различались по амплитуде полезных сигналов до глубины около 3,0 мм. Для данной группы ВТП дефекты с большей глубиной давали практически одинаковый по амплитуде сигнал. Аналогичные результаты получены для моделей дефектов в виде пропилов, произвольно

ориентированных относительно образующей труб и прутков.

Другой часто встречающейся моделью искусственного дефекта для настройки вихрекового дефектоскопа является сквозное отверстие заданного диаметра в теле трубы, выполненное перпендикулярно к поверхности трубы. Результаты выявления дефектов такого типа приведены на рис. 5. Измерения выполнены ВТП с рабочей частотой 220 кГц на плоском образце из алюминия. Из приведенных данных следует, что, начиная с отверстия диаметром 1 мм, модели дефектов такого типа обнаруживаются надежно. Амплитуда полезного сигнала от моделей дефектов возрастает до диаметра 4 мм. Из приведенных данных следует, что насыщение сигнала ВТП не происходит и имеется достаточный запас для определения размера обнаруженного дефекта. Одновременно установлено, что на алюминии чувствительность к моделям дефектов в виде сквозного отверстия выше, чем на стальных изделиях.

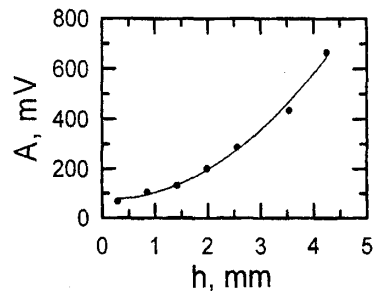


Рис. 5. Зависимость амплитуды выходного напряжения ВТП от диаметра модели дефектов в виде сквозного отверстия в плоском алюминиевом образце

Большое значение для практики имеет факт выявления дефектов в виде каверн коррозионного или эрозийного происхождения. Уменьшая толщину стенки трубы, они могут привести к ее последующему разрыву, например, разрушению обсадной трубы в скважине и значительным материальным потерям. Моделировать такие дефекты возможно сверлением нормально поверхности трубы с заданным диаметром и на заданную глубину. Результаты исследования таких моделей дефектов дают неоднозначный результат. Наибольшее значение амплитуды полезного сигнала дает дефект небольшой глубины (0,1...0,2 мм), но с большим диаметром. В то же время даже сквозное отверстие диаметром 1,2...1,5 мм дает меньшее значение амплитуды информационного сигнала. Еще большую неоднозначность имеет результат выявления дефектов типа «плена». Модель дефекта в виде электропроводной неферромагнитной пленки

толщиной 0,15 мм размером 2x2 мм<sup>2</sup>, закрепленной на поверхности металла, дает такой же сигнал, как и пропилен глубиной около 2 мм. Полученные результаты подтверждаются аналогичными выводами зарубежных специалистов [6].

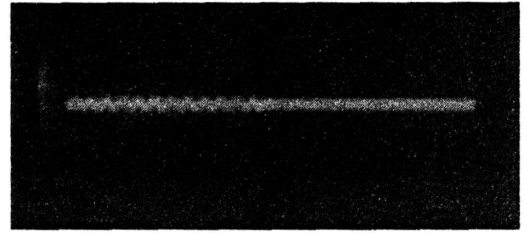
Анализ результатов исследований образцов с естественными дефектами позволили установить следующее. Разработанные ВТП надежно выявляют дефекты в виде трещин разного характера. Причем амплитуда информационного сигнала зависит в значительном диапазоне от глубины (развитие трещины под любым углом к поверхности металла) естественного дефекта. Большую амплитуду сигнала при той же глубине дает древовидная трещина. Практически абсолютная выявляемость дефектов обеспечивается в отношении линейно-протяженных, паукоподобных, древовидных (по поверхности) трещин и волосовин.

В практическом применении разработанный прибор пригоден для оценки глубинного параметра трещин в диапазоне, характерном для используемого ВТП и свойств контролируемого металла также изделий, узлов, деталей, конструкций и т.п., которые находятся в эксплуатации под влиянием различных нагрузок. ВТ контроль с применением разработанных преобразователей незаменим при обнаружении дефектов поверхности под слоем краски, загрязнений, покрытий. Дефекты вида каверны, углублений на поверхности металла обнаруживаются уверенно с частичной оценкой глубины их развития. В этом случае вихретоковый контроль эффективен для изделий, которые находятся в эксплуатации и подвергаются коррозионному, эрозионному или другому влиянию, приводящему к появлению локальных объемных дефектов.

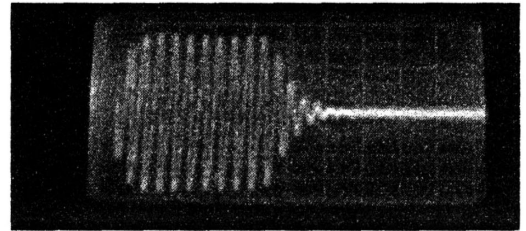
Абсолютную выявляемость дефектов обеспечивают ВТ дефектоскопы при обнаружении поверхностных дефектов семейства плён, закатов и им аналогичных. Однако такие дефекты не всегда представляют опасность для эксплуатации изделий. Часто при незначительном развитии в глубину металла их удаляют путем зачистки. Глубину развития таких дефектов через высокую амплитуду информационного сигнала оценить невозможно. Поэтому в таких случаях следует соединять ВТ контроль с процедурой зачистки дефектных мест.

Практическое применение разработки высокоэффективно и для обнаружения дефектов в сварных швах и околошовной зоне, в том числе под слоем краски толщиной до 2 мм (рис. 6).

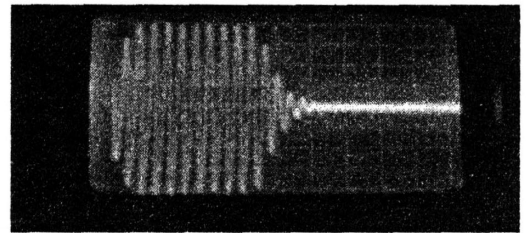
Трещины глубиной более 1 мм и раскрытием 5...10 мкм обнаруживаются с вероятностью около 100 %.



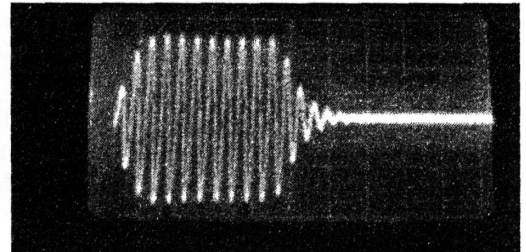
а)



б)



в)



г)

а) - сигнал на выходе ВТП на участке металла без дефекта; б) - сигнал на выходе ВТП от трещины под слоем краски; в) - сигнал на выходе ВТП от трещины на сварном шве; г) - сигнал на выходе ВТП от трещины на катаной поверхности

Рис. 6. Влияние трещины на сигнал вихретокового преобразователя (частота 300 кГц) образца из нержавеющей стали толщиной 16 мм со сварным швом

Таким образом, применение ВТП с пространственно распределенными катушками позволяет расширить возможности ВТ дефектоскопов, выполнять неразрушающий контроль с высокой вероятностью тех поверхностей, которые в обычных условиях требуют специальной подготовки и зачистки.

Промышленные испытания разработанных модификаций ВТП в составе вихретокового дефектоскопа «Малыш М» выполнено в условиях Иршанского горно-обогатительного комбината ЗАО «Крымский титан» и энергоблоках № 1 и № 2 Ровенской АЭС при контроле окрашенных сварных швов металлоконструкций и основного металла в околосшовных зонах. Испытания подтвердили эффективность ВТП при обнаружении трещин, пор и других повреждений металлоконструкций без удаления краски с индикацией их размеров.

1. Учанин В.Н. Методы количественного вихретокового контроля с определением параметров дефектов // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2002. № 1. – С. 33-38. 2. Мирошников В.В., Гречишкина Н.В., Комаров Н.В. Дефектоскоп с высоким уровнем чувствительности для контроля протяженных изделий. – 36. науков. праць 5-ї національної н/т конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». – К.: УТ НК і

ТД, 2006. – С. 203-205. 3. Шкатов Н.П., Ивченко А.В. Адаптивный вихретоковый дефектоскоп для оценки параметров коррозионных поражений планера вихретоковым методом. – Сб. тезисов докладов 5-й международной выставки и конференции «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». – М.: РО НК и ТД, 2006. – С. 39. 4. Себко В.П., Сучков Г.М. Исследование применимости вихретокового контроля металлообъектов с помощью моделирования дефектов // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2001, № 3. – С. 35-37. 5. Сучков Г.М. Миниатюрный микропроцессорный вихретоковый дефектоскоп с индикатором глубины трещин. – Сб. тезисов докладов ежегодного семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». – Харьков, 2003. – С. 67. 6. О'коннор М. Что еще не так просто при вихретоковом контроле теплообменных труб // *В мире неразрушающего контроля*. – 2001. № 4. – С. 46.

УДК 620.179.17

## ПОРТАТИВНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТО- І ГАЗОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

© Скальський В. Р., Оліярник Б. О., Плахтій Р. М., Сулим Р. І., 2006  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів

*На підставі бази даних експериментальних досліджень низки конструкційних матеріалів створено портативний восьмиканальний прилад для акустико-емісійного діагностування обладнання нафто- і газотранспортного комплексу. Розглядаються аспекти побудови основних вузлів і блоків, описано оригінальні схемотехнічні та конструкційні підходи до розв'язання науково-технічних задач, що дозволили досягнути оптимальних технічних характеристик приладу*

В Україні проблема технічного діагностування (ТД) та неруйнівного контролю (НК) великогабаритних об'єктів довготривалої експлуатації, зокрема, обладнання нафто- і газотранспортного комплексу з кожним днем стає все гострішою. Деякі з цих об'єктів вичерпали свій регламентований ресурс. На забезпечення їх безаварійної роботи направлені розробки нових перспективних методів і засобів НК. Важливе місце тут відводиться методологічній базі, яка базується на застосуванні явища акустичної емісії (АЕ).

Особливістю апаратури для проведення АЕ-досліджень є її універсальність, що дає змогу діагностувати стан будь-яких виробів чи елементів конструкцій незалежно від їх форми та розмірів, віддалі до об'єкта контролю (ОК) тощо.

Якщо систематизувати відомі літературні дані, то всі АЕ-засоби можна класифікувати так [7,9]: 1 – для комплексних досліджень; 2 – спеціалізованого призначення; 3 – для контролю стану великогабаритних об'єктів; 4 – портативні одно- і багатоканальні.