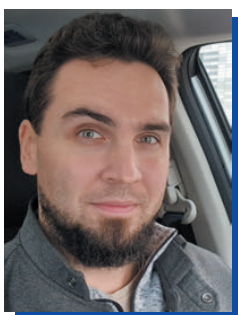


УЗК ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПЕРСПЕКТИВНЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДЕФЕКТОСКОПОМ С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ



ГУЛЯЕВ Алексей Михайлович
Ведущий технолог ОНМК ПАО
«ОАК» «ОКБ Сухого», Москва



ХИЖНЯК Степан Алексеевич
Зам. начальника НИО-21,
начальник ОНМК ПАО «ОАК»
«ОКБ Сухого», Москва



ПЕПЕЛЯЕВ Андрей Валентинович
Технический консультант
ООО «ТЕХКОН», Москва

Детали из полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются в авиационной промышленности, а также в других отраслях, где требуется их высокая надежность. Неразрушающий контроль качества данных объектов для выявления дефектов типа нарушений сплошности материалов выполняют чаще всего акустическими методами. Из этих методов наибольшую чувствительность, информативность, производительность, а также выявление дефектов на большой глубине способен обеспечить ультразвуковой контроль (УЗК) [1].

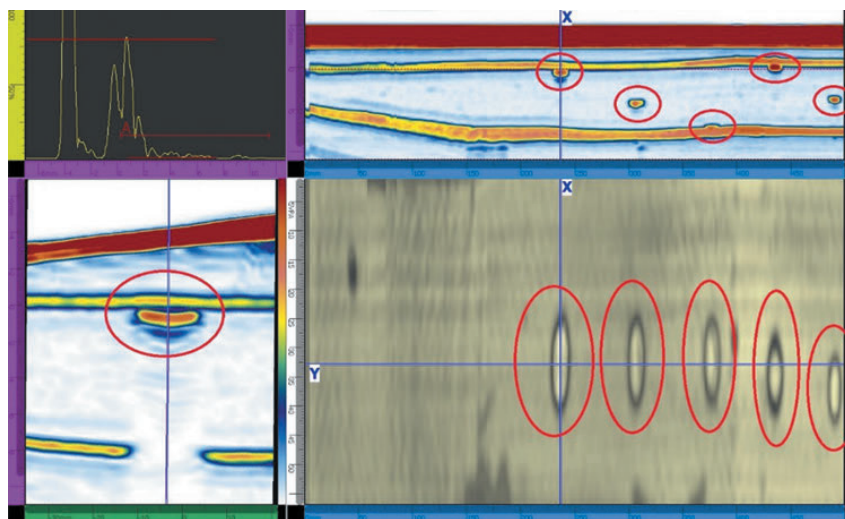
Но УЗК деталей из ПКМ требует решить ряд непростых задач. Это связано с неоднородной многослойной структурой данных материалов, сложной геометрической формой объектов контроля (ОК), наличием таких трудно выявляемых дефектов, как, например, микропористость и так далее. Данные факторы создают проблемы на всех этапах выполнения УЗК — от ввода ультразвука до интерпретации полученных результатов и достоверной оценки дефектного состояния ОК. При этом многие детали из ПКМ имеют достаточно большие размеры и выпускаются в значительном количестве, что требует еще и высокой производительности контроля.

Одновременно обеспечить высокую надежность и производительность контроля позволяют ультразвуковые дефектоскопы с преобразователями — фазированными решетками (ПФР). Это до-



Рис. 1. Внешний вид перспективного ультразвукового дефектоскопа с ПФР

Рис. 2. Результаты контроля образца из ПКМ с переменной толщиной покрытия



стигается за счет быстрого электронно-механического сканирования ОК с высоким разрешением, полного документирования и наглядного отображения результатов контроля [1].

В статье приведены практические примеры УЗК различных ОК из ПКМ с повышенной сложностью контроля. Результаты получены при отработке передовых технологий контроля в авиастроительной отрасли. В исследованиях использовали перспективный дефектоскоп с ПФР, представленный ООО «ТЕХКОН» (рис. 1). Данная модель разработана на основе опыта лучших производителей дефектоскопов с ПФР, серийно выпускается и применяется с 2024 г.

В качестве первой задачи был рассмотрен контроль деталей из ПКМ с функциональными покрытиями, которые имеют переменную толщину до 2,5 мм. В результате изменений толщины покрытия угол между поверхностью покрытия, через которую вводится ультразвук, и поверхностью контролируемой основы из ПКМ составляет от 1 до 9°. Это нарушает прямой ход ультразвуковых лучей и создает сложности при контроле, поскольку в случае ПКМ для лучей, которые вводятся не по нормали к плоскости слоев материала, характерно высокое ослабление ультразвуковых сигналов.

Отработку технологии контроля проводили на настроечных образцах (НО), которые по своей конструкции соответствуют указанным деталям. В НО были выполнены имитаторы дефектов — искусственные отражатели (ИО) в виде плоскодонных отверстий различной глубины. В работе применяли ПФР типа 5L64-NW (5 МГц, линейный, 64 элемента, уменьшенная краевая зона) с прямой призмой из реколита. Результаты контроля в виде А-, В-, С- и D-сканов приведены на рис. 2. Здесь и далее использованы типовые названия сканов (развер-

ток) [1]. Индикации ИО выделены на рис. 2 линиями красного цвета.

По результатам контроля указанных ОК были сделаны следующие выводы:

- электронное сканирование с подбором оптимальных углов ввода ультразвука устранило негативное влияние переменной толщины покрытия и обеспечило в основном материале из ПКМ требуемую чувствительность контроля;
- надежно выявлены все ИО, залегающие на разных глубинах, в том числе на глубине 0,5 – 0,7 мм от поверхности ввода и донной поверхности;
- функция калибровки акустической задержки выровняла по времени прихода сигналы из зоны основного материала независимо от толщины покрытия, что позволило более надежно выявлять дефекты и точнее определять их координаты;
- функция калибровки чувствительности устранила влияние повышенного и неравномерного затухания ультразвуковой волны при прохождении через участки с различной толщиной покрытия и обеспечила равномерную чувствительность в основном материале независимо от толщины покрытия;
- погрешность измерения размеров и координат ИО составила не более 3% от их действительных значений.

Следующая задача представляла собой контроль зоны люка в панели из монолитного ПКМ, которая посредством болтового соединения крепится к металлическому силовому каркасу. Контроль данного участка затрудняет большое количество болтов, немного выступающих над поверхностью ввода ультразвука, что не позволяет обеспечить надежный акустический контакт с помощью жесткой призмы.

Это один из случаев, когда контроль эффективно проводить роликовым преобразователем, в ко-



Рис. 3. Роликовый ПФР

тором ПФР установлен внутри колеса, заполненного контактной жидкостью. За счет качения он обеспечивает высокую скорость сканирования, а его эластичная шина из аквалена (специального материала, волновое сопротивление которого близко к волновому сопротивлению воды) способна стабилизировать акустический контакт на неровной поверхности ОК. По своей конструкции роликовый ПФР является еще и готовым сканирующим устройством, в том числе для растрового многопроходного сканирования. В данном случае применялся роликовый ПФР типа 5L64 (5 МГц, линейный, 64 элемента, рис. 3).

Размеры контрольного участка (длина×ширина) составили 700×400 мм. Для обеспечения ширины 400 мм сканирование выполнено по растровой схеме за 10 проходов с автоматическим объединением результатов. Полученные результаты приведены на рис. 4 в виде А- и В-сканов, а также двух С-сканов: с цветокодировкой глубины залегания отражателей (С-скан по толщине, справа сверху) и цветокодировкой амплитуды эхосигналов (С-скан по амплитуде, справа внизу). Одновременный анализ С-сканов разного типа требуется для более достоверной оценки результатов контроля.

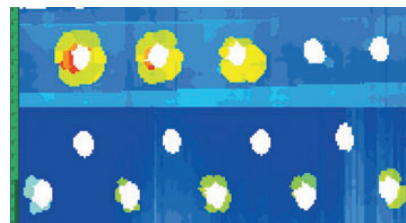
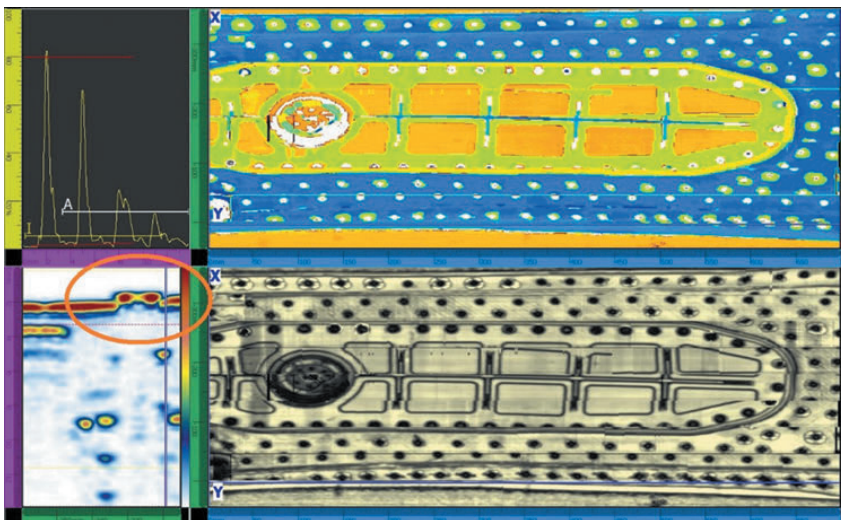


Рис. 5. С-скан по толщине с расслоениями ПКМ

Рис. 4. Результаты контроля панели из ПКМ с болтовыми соединениями

На В-скане (слева внизу) линией оранжевого цвета выделена индикация от выступающей головки болта.

Отметим важное преимущество представленного дефектоскопа: если во многих других моделях отображается только ограниченный набор сканов, то в данном приборе пользователь может настроить любую конфигурацию сканов, оптимальную для конкретной задачи контроля.

По результатам контроля установлено, что более половины болтовых соединений имеют дефекты типа расслоений ПКМ, которые расположены вокруг отверстий.

На рис. 5 приведен увеличенный фрагмент С-скана по толщине. Индикации белого цвета соответствуют крепежным отверстиям, фон с оттенками синего цвета — зонам монолитного ПКМ без дефектов, когда уровень фиксации по амплитуде превышают только донные сигналы. Индикации других цветов указывают на наличие расслоений в ПКМ, а разный цвет таких индикаций — на разную глубину залегания расслоений в различных слоях ПКМ. Также на приведенном С-скане можно измерить проекционные размеры дефектов. В верхнем ряду для трех первых слева отверстий протяженность расслоений достигает 10 мм в радиальном направлении от края отверстия.

По результатам контроля указанных ОК роликовым ПФР сделаны следующие выводы:

- роликовый ПФР обеспечивает достаточно надежный акустический контакт на неровной криволинейной поверхности ОК, в том числе с большим количеством крепежных деталей;
- с роликовым ПФР достигается высокая производительность контроля;
- эластичная акваленовая шина роликового ПФР позволяет использовать небольшое количество контактной жидкости, наносимой на поверхность ОК методом распыления, что дает возмож-

ность проводить контроль в различных положениях поверхности ОК, включая вертикальное и потолочное;

- режим растрового многопроходного сканирования с частичным перекрытием зон контроля автоматически создает объединенные сканы даже для крупногабаритных деталей и агрегатов, что повышает надежность выявления дефектов и точность определения их характеристик, а также наглядность результатов контроля и производительность их анализа;
- наглядное отображение результатов контроля в реальном времени и их полное документирование с возможностью расширенной постобработки в значительной степени повышают достоверность и информативность контроля, одно из средств для этого — возможность настройки конфигурации отображаемых сканов под конкретные задачи контроля.

В целом по результатам отработки технологий контроля можно сделать вывод, что представленный ультразвуковой дефектоскоп с ПФР по своим техническим характеристикам, функциональным возможностям, а также комплексу преобразователей является эффективным средством УЗК деталей и агрегатов из ПКМ в авиастроительной отрасли.

Его применение позволяет существенно повысить надежность, информативность и производительность контроля.

Преимущество представленного дефектоскопа заключается еще и в том, что его можно быстро модернизировать под конкретные цели заказчика. Это делает его перспективным инструментом для решения сложных задач контроля.

Авторы выражают благодарность С.Л. Ступаченко за участие в работах по демонстрации технологий контроля, результаты которых были использованы в данной статье.

Библиографический список

1. Пепеляев А.В. Неразрушающий контроль композитов дефектоскопом OmniScan X3, фазированными решетками и другими средствами ультразвуковых и акустических методов контроля // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: <https://techkontrol.ru/stati/nerazrushayushchiy-kontrol-kompozitov-defektoskopom-omniscan-x3-fazirovannymi-reshetkami-i-drugimi-s/> (Сайт ООО «ТЕХКОН». Раздел «Статьи». Дата размещения 09.09.2021. URL: <https://techkontrol.ru/stati/>)



Спектр
Издательский дом

В. М. Ушаков

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ISBN 978-5-4442-0203-6. Формат - 60х90 1/16, твердый переплет, 332 страницы, год издания - 2025.

Дано краткое описание механики разрушения металлов, технологии их получения, способов обработки. Представлены основные сведения о сварке металлов, образовании дефектов и их влиянии на эксплуатационные характеристики изделий. Приведены сведения о волновых процессах, рассмотрено акустическое поле преобразователей и формулы акустического тракта, АРД-диаграммы и их простое применение при контроле. В доступной форме описаны основные процедуры ультразвукового контроля. Отличительной особенностью книги является рассмотрение нормативных и методических документов, действующих в атомной энергетике. Даны рекомендации по практическому решению некоторых задач ультразвукового контроля объектов атомной энергетики.

Предназначена для специалистов ультразвукового контроля объектов атомной энергетики и может быть использована специалистами, проводящими контроль в следующих отраслях промышленности: химическом машиностроении, авиации, нефтегазовом и горном производстве.

Книга будет полезна для обучения и сертификации специалистов в атомной отрасли, а также и в других отраслях.

Книга издана при финансовой поддержке:



**АКУСТИЧЕСКИЕ
КОНТРОЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ**



119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. ООО «Издательский дом «Спектр»

Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.

E-mail: zakaz@idspektr.ru. [Http://www.idspektr.ru](http://www.idspektr.ru)