

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

*Н.И. МОЗГОВОЙ, канд. техн. наук, доцент
Я.Г. МОЗГОВАЯ, канд. техн. наук, доцент
(АлтГТУ, г. Барнаул)*

Поступила 13 октября 2016
Рецензирование 3 ноября 2016
Принята к печати 15 ноября 2016

Мозговой Н. И. – 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: nick_3@mail.ru

Рассматривается выявление дефектов в изделиях из современных композиционных материалов методом ультразвукового сигнала и представлен анализ остаточного ресурса инженерных конструкций. К основным дефектам, возникающим в структуре композиционных материалов, можно отнести следующие: смещение, поворот и коробление отдельных слоев армирующего материала; поверхностное вздутие, расслоение, коробление; повышенная пористость, трещины, раковины, неравномерность усадки материалов; снижение адгезии связующего и наполнителя и др.

Своевременное выявление дефектов и прогнозирование остаточного ресурса инженерных конструкций позволит снизить вероятность разгерметизации деталей в инженерных конструкциях и даст возможность избежать экологических проблем при разрушении трубопроводов. Невыявленные внутренние дефекты могут привести не только к значительным экономическим потерям, загрязнению окружающей среды, но и к человеческим жертвам.

В условиях производства пластичные материалы, в частности композиты, широко используются для замены деталей и узлов из редких материалов, цветных и черных металлов и на их основе сплавов, работающих в агрессивных средах. Это позволяет повысить надежность и долговечность конструкции в целом.

Однако в современных производственных условиях для оценки качества производимой продукции по-прежнему на многих предприятиях при осуществлении контроля свойств материала приходится выборочно из партии деталей разрушать целостность исследуемого образца. С экономической точки зрения это приводит к увеличению производственного цикла и себестоимости продукции.

В настоящей работе предлагается способ ультразвуковой диагностики с использованием программно-аппаратного комплекса, позволяющего выявить внутренние дефекты, наличие посторонних включений и неоднородности по структуре композиционного материала без разрушения изделия, сократить экономические, экологические и человеческие потери.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, ультразвук, композиционные материалы, качество поверхности, управление процессом, обработка материалов, ресурс инженерных конструкций.

DOI: 10.17212/1994-6309-2016-4-6-15

Введение

Большая часть изделий из металла, имеющих термодинамическую неустойчивость, в той или иной степени разрушаются под воздействием

коррозионной среды. Один из путей решения этой проблемы – применение пластических материалов, таких как стеклопластики.

Стеклопластики со временем стали применяться все интенсивнее. Во многих отраслях

промышленности (табл. 1) за последние три года можно увидеть рост объема производства стеклопластика в России, несмотря на экономические проблемы.

Таблица 1

**Объем производства стеклопластика
в России (по данным Росстата и исследованиям
ID-Marketing)**

Год	2013	2014	2015
Объем рынка РФ, млрд руб.	275,8	322,6	408,7
Рост, %	—	14,51	21,07

Для современных инженерных конструкций и ответственных деталей использование стеклопластика дает возможность повысить стойкость к коррозии и агрессивным химическим средам в 3–5 раз, уменьшить массу изделия, а также увеличить прочность и долговечность [1–3].

В настоящее время на многих производственных предприятиях существуют детали, которые успешно изготавливаются из пластичных материалов. Такие детали условно можно разделить на следующие группы: тела вращения 67 % (валы 26 %, втулки 20 %, диски с отверстиями 17 % и без отверстий – 4 %), корпусные 30 % и прочие 3 %. Композиты используются для качественной замены металлов в машиностроении и приборостроении (38...45 %), газо- и нефтехимии для изготовления установок, труб (25...30 %), корпусов в судостроении и авиастроении (15...24 %) [4–6].

В нефтегазовой промышленности широко используются трубы из композиционных материалов, таких как стеклопластик. Однако, по данным министерства природных ресурсов и экологии России и регионального отделения «Гринпис», потери нефти и нефтепродуктов за счет аварийных ситуаций, в частности спровоцированных наличием дефектов, колеблются от 17 до 20 млн т ежегодно, что составляет около 7 % объема добываемой в России нефти. При стоимости 1 т нефти 150...200 долл. ущерб в экономике России, не считая экологического, составляет 3...4 млрд долл. Только на территории Ханты-Мансийского АО ежегодно на землю попадает до 2 млн т нефти вследствие значительного износа внутрипромысловых трубопроводов с частотой 1,5...2,0 разрыва на 1 км.

Таким образом, исследования, направленные на выявление дефектов, оценку остаточного ре-

сурса и контроль качества изделий из композитов в настоящее время актуальны и востребованы.

Целью экспериментальных исследований является разработка программно-аппаратного комплекса для выявления внутренних дефектов в деталях из композиционных материалов и определение остаточного ресурса инженерных конструкций с помощью ультразвукового сигнала.

**Методика экспериментального
исследования**

Структура композиционных материалов характеризуется степенью неоднородности, которая зависит от наличия дефектов, образующихся в процессе переработки материала в изделия, дефектов исходного сырья и дефектов, возникающих во время эксплуатации. Преобладающее влияние на качество материала оказывают наследственные и технологические дефекты, развивающиеся и (или) образующиеся из-за несоблюдения режимов подготовки исходного сырья, состояния технологического оборудования, нарушения технологических регламентов (режим нагревания, охлаждения, давление, скорость протяжки). К основным дефектам, возникающим в структуре композиционных материалов, можно отнести следующие: смещение, поворот и коробление отдельных слоев армирующего материала; поверхностное вздутие, расслоение, коробление; повышенная пористость, трещины, раковины, неравномерность усадки материалов; снижение адгезии связующего и наполнителя и другие (рис. 1, а–в) [7–9]. Эти дефекты приводят к тому, что в исходном материале изделия появляются участки со значительным расхождением физико-механических свойств, а это ведет к возникновению внутренних остаточных напряжений и нарушению ориентации армирующих волокон, которые провоцируют появление концентраторов напряжений и т. п.

Своевременное выявление данных дефектов и прогнозирование остаточного ресурса инженерных конструкций позволит избежать разгерметизации деталей и инженерных конструкций, экологических проблем при разрушении трубопроводов. Невыявленные внутренние дефекты могут привести не только к значительным экономическим потерям, загрязнению окру-

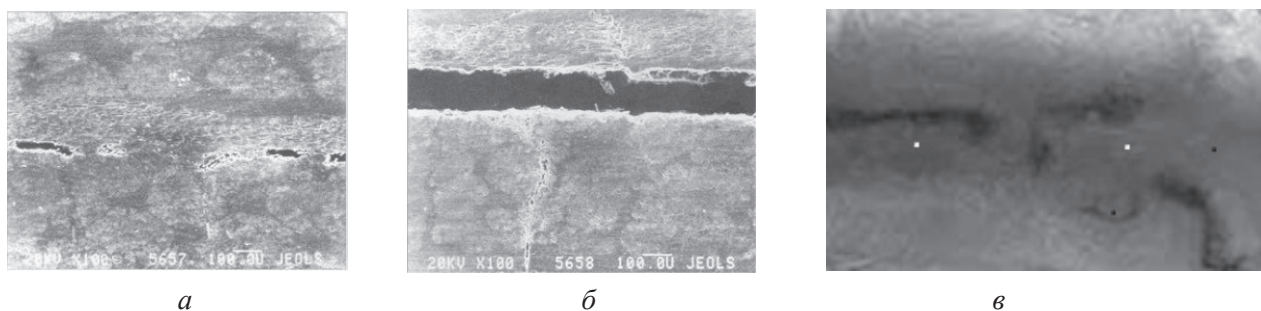


Рис. 1. Виды дефектов, возникающих в стеклопластиках и выявляемых акустическим методом:
а – прерывистость расслоения; б – трещина поперек слоев; в – расслоение в зоне заклепанного соединения

жающей среды, но и к человеческим жертвам. В настоящей работе предлагается способ, позволяющий сократить экономические, экологические и человеческие потери, а именно проводить дефектоскопию изделий из стеклопластика [10–12]. В основу способа положена разработка и внедрение программно-аппаратного комплекса, что только в нефтегазовой отрасли позволит получить экономический эффект в размере 0,6...0,8 млрд долл.

В рамках данного исследования проведен патентный поиск по темам: «Приборы для неразрушающего контроля деталей из композиционных материалов, реализующие метод ультразвукового контроля», «Приборы для оценки остаточного ресурса инженерных конструкций методами неразрушающего контроля».

Наиболее близким российским аналогом оборудования является ультразвуковой дефектоскоп УД2-102 Пеленг. Методы ультразвукового контроля, реализуемые дефектоскопом: эхо-метод; частота следования зондирующих импульсов УЗК 25...5000 Гц; диапазон измерения глубины выявленного дефекта в изделиях из стали 1...8850 мм, производитель – РФ, стоимость 196 020 руб. Недостатки: ограничение в использовании из-за соединения датчиков и приемников проводами; не предназначен для выявления дефектов в стеклопластиках.

Зарубежные аналоги:

1) STARMANS DIO 1000PA. Методы ультразвукового контроля, реализуемые дефектоскопом: метод фазированных решеток, частота следования зондирующих импульсов УЗК – 0,5...15 МГц, диапазон измерения глубины выявленного дефекта в изделиях из стали 1...29 000 мм, производитель – Чешская республика. Недостатки: ограничение в использовании из-за соединения датчиков и приемников проводами; не предназначен

для выявления дефектов в стеклопластиках, высокая стоимость 887 500 руб. [13–15];

2) Epoch 1000i. Методы ультразвукового контроля, реализуемые дефектоскопом: методы фазированных решеток, частота следования зондирующих импульсов УЗК – 0,5...15,5 МГц, диапазон измерения глубины выявленного дефекта в изделиях из стали 1...29 000 мм, производитель – США. Недостатки: ограничение в использовании из-за соединения датчиков и приемников проводами; не предназначен для выявления дефектов в стеклопластиках [16, 17].

Выявлены достоинства и недостатки имеющихся технических решений, предложена принципиальная схема для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций.

Требования, предъявляемые к разрабатываемому программно-аппаратному комплексу

1. Основные технические параметры разрабатываемого продукта «Программно-аппаратный комплекс для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций»: используемый метод контроля – метод ультразвукового контроля; частота следования зондирующих импульсов УЗК 25...5000 Гц; диапазон измерения глубины выявленного дефекта в изделиях из стеклопластика 1...9000 мм; передача данных при работе программно-аппаратного комплекса осуществляется с помощью GPS-связи.

2. Конструктивные требования:

– программно-аппаратный комплекс должен иметь классическое исполнение ультразвукового дефектоскопа, простоту настройки и энергонезависимую память. Масса прибора не превышает 5 кг;

– работоспособность прибора сохраняется при температурах от –20 до +50 °С;

– предусмотрена возможность предустановки основных параметров контроля с возможностью их быстрого выбора;

– прибор работает от встроенного щелочного или литий-ионного аккумулятора, который обеспечивает бесперебойную работу в течение длительного интервала времени;

– оперативное подключение по USB для передачи данных на портативный компьютер.

3. Техническое обслуживание заявляемого программно-аппаратного комплекса составляет определенный набор организационно-технических мероприятий, направленных:

1) на повышение работоспособности и увеличение ресурса работы программно-аппаратного комплекса;

2) своевременное его техническое обслуживание и ремонт;

3) снижение стоимости и сокращение сроков проведения ремонтных работ.

В качестве исследуемого материала выбран композит: стеклопластик ВМ-1 длиной 30 мм, диаметром 100 мм.

Для осуществления контроля свойств материала на производстве в большинстве случаев используют методику разрушения исследуемого образца, что неизбежно приводит к повышению себестоимости продукции. В лабораторных условиях применялся **ультразвуковой метод** неразрушающего контроля качества композиционных материалов, в основе которого лежит способность ультразвуковых колебаний проникать с большой скоростью (до 12 000 м/с) в материал и отражаться от поверхности раздела сред с различными акустическими свойствами (табл. 2).

Таблица 2

Условия проведения эксперимента

Объект контроля	Исследуемый образец
Материал	Композит ВМ-1
Метод контроля	Ультразвуковой
Цель испытания	Проверка детали из стеклопластика на наличие внутренних несплошностей Заключение о дальнейшей пригодности заготовки в зависимости от критериев браковки
Оборудование	Дефектоскоп ультразвуковой ПАККВД-1 версия 1,00 Эталон (из композита) Прямой ПЭП, частота 5 МГц
Критерий выбраковки	Эквивалентная площадь несплошности менее 2 мм ²
Вспомогательные материалы	Контактная жидкость

При подготовке к проведению экспериментальных исследований поверхность заготовки была очищена от загрязнений спиртовым раствором Terostat-450, препятствующим обеспечению акустического контакта. Затем для улучшения процесса сканирования на поверхность исследуемого образца была нанесена контактная жидкость «Гель ультразвуковой». Настроен дефектоскоп ультразвуковой «ПАККВД-1» версия 1,00 (табл. 3) на уровень чувствительности 57 дБ, что дает возможность выявлять дефекты с эквивалентной площадью 2 мм². Минимальное расстояние от поверхности ввода до дефекта при контроле составляет 5 мм.

Таблица 3

Параметры исследования, измеряемые величины

Скорость распространения ультразвука	2670 м/с
Частота	5 МГц
Угол ввода	0°
Время ПЭП	1,65 мкс
Длина развертки	48
Начало строба	5
Конец строба	38
Мертвая зона (минимальное расстояние от поверхности ввода до дефекта, выявляемого при контроле)	5 мм

Обработка протокола (рис. 2) контроля экспериментальных данных, полученных с помощью дефектоскопа, проводилась на компьютере с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Для подтверждения достоверности полученных результатов наблюдений и исключения экспериментальных ошибок исследуемый образец был проверен методом с разрушением целостности. Для оценки полученных данных двумя методами были получены дефектограммы. При обнаружении участков с эквивалентной площадью несплошности более 2 мм² фиксировался внутренний дефект в виде несплошности и записывались данные о детали, выявленном дефекте и параметрах контроля в виде протокола исследования.

Обнаруженный участок в виде несплошности относится к области недопустимых дефектов, так как амплитуда от ультразвукового сигнала превышает уровень выбраковки. Для проверки

адекватности полученных данных были проведены однофакторные эксперименты. Сравнение результатов экспериментов, проведенных методом с разрушением целостности исследуемого образца и ультразвуковым методом подтверждает их адекватность, наибольшее расхождение составляет 5 %.

Результаты и обсуждение

Данная разработка направлена на решение задачи снижения себестоимости готовых изделий из композиционных материалов в отрасли промышленности, предотвращения или уменьшения экологических и человеческих потерь, возникающих при техногенных катастрофах.

Ожидаемым результатом применения данного прибора является повышение качества и долговечности изделий из композиционных материалов за счет своевременного выявления бракованных и замены изношенных деталей.

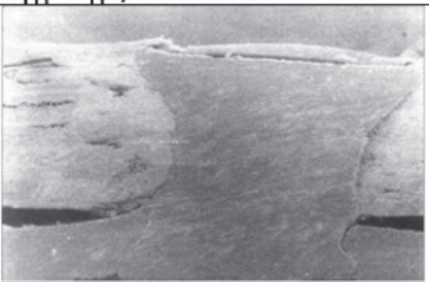
ПРОТОКОЛ №	11/2016	От 15.09.2016	14:06:30
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОСКОПОМ			
ПАККВД -1 версия 1,00			
ПРЕДПРИЯТИЕ	АлтГТУ		
Подразделение		Дата контроля	15.09.2016 15:16
ОПЕРАТОР	Шифр 0	Фамилия и.о.	Иванов С.И.
ОБЪЕКТ	тип	основн.металл	Толщина 0,00 мм
материал	композит	№ 003	порядк. № 3
НТД на контроль			
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ:		ОТРАЖАТЕЛЬ №	000000
Коорд. По дл./ сеч. объекта		0 м 11 мм 00 час	Расстояние X 0,00 мм
			Глубина Y 25,90 мм
		Время распротр. УЗК T	19,40 мкс
		Амплитуда N	5 дБ
		Усл.протяженность	0 мм
		Усл.высота	0 мм
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОПЕРАТОРА:			
Присутствует признак дефекта			
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ ДЕФЕКТОСКОПА:			
НАСТРОЙКА № 115	РАЗВЕРТКА: 120%	Длит.	48,1мм Y 36,0 мкс
Частота УЗК 5,00 МГц	Зона ВС-1	Начало	5,0 мм Y 3,8 мкс
Скорость УЗК 2670м/с	Порог 50%	Конец	38,0 мм Y 28,5 мкс
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ:			
Усиление	57 дБ		
Треб.чувств.	00 дБ		
Фактич. чувств.	-17 дБ		
ПЭП: № 038			
Включение совмещ	ВРЧ: ручная	Начало	5,0 мм Y 3,8 мкс
Угол ввода 0 град	Ампл. 30 дБ	Конец	38,0 мм Y 28,5 мкс
Время ПЭП 1,6 мкс	До ВРЧ 00 дБ	Форма	-11
Стрела 0 мм	После ВРЧ 00 дБ		

Рис. 2. Протокол ультразвукового контроля дефектоскопом

На этапе научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы разработана схема программно-аппаратного комплекса для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций, предложена методика выявления внутренних дефектов в деталях из композиционных материалов и определение остаточного ресурса инженерных конструкций методами ультразвукового сигнала на стадии заготовительной операции и в процессе механической обработки (рис. 3).

В результате проведенных лабораторных исследований с использованием «ПАККВД-1» на глубине 25,9 мм у исследуемого образца были обнаружены недопустимые дефекты, что подтверждается превышением амплитуды колебаний уровня выбраковки на 5 дБ. Дальнейшее использование такой заготовки для изготовления продукции не допускается.

Основные принципы работы программно-аппаратного комплекса

1. Объектом контроля являются изделия из стеклопластика, в данном случае представлен сосуд для нефтехимической промышленности.

2. На объект контроля устанавливаются датчики сканирования УЗК, предварительно настроенные по эталону.

3. Определение наличия внутренних дефектов в структуре материала.

4. Передача результатов по спутниковой системе ГЛОНАСС или GPS на портативный компьютер с установленным специальным программным обеспечением, с помощью которого обрабатывается полученная информация и выносится вердикт об отсутствии дефектов или их наличии, а также осуществляется прогнозирование остаточного ресурса.

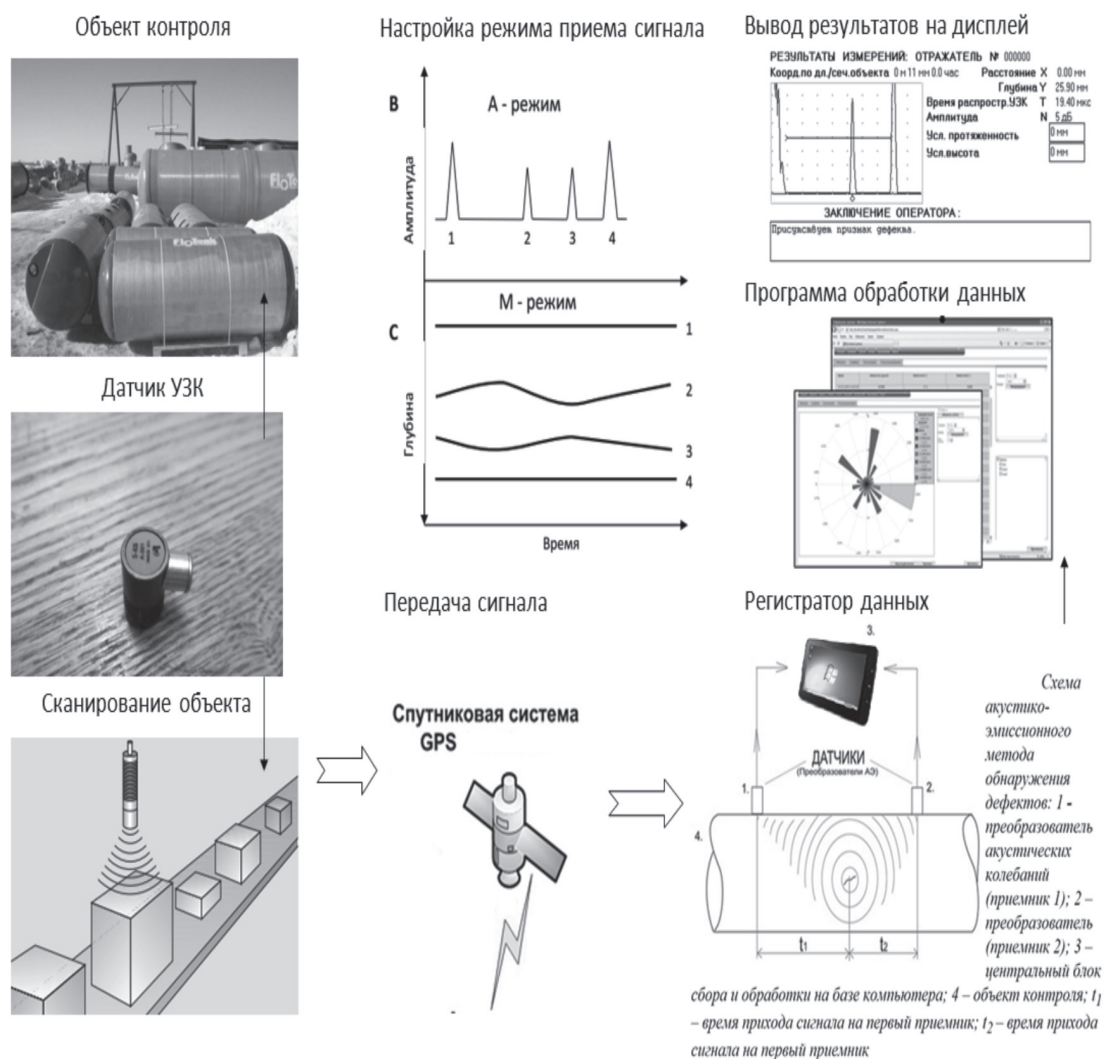


Рис. 3. Схема программно-аппаратного комплекса для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций

Отличительные признаки создаваемого продукта «Программно-аппаратный комплекс для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций» – это использование нелинейного синтеза для ультразвукового контроля, реализуемого дефектоскопом; возможность применения для инженерных конструкций и деталей из стеклопластика; передача данных при работе программно-аппаратного комплекса, осуществляемая с помощью GPS-связи. В результате проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы и разработки программно-аппаратного комплекса планируется подать заявку на официальную регистрацию полезной модели дефектоскопа.

Апробация результатов исследования: первичную апробацию предполагается провести в Метрологическом центре, действующем при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова, который оборудован видеосканерами для визуального контроля, программным обеспечением для выявления дефектов типа усталостных трещин на поверхности деталей протяженностью от 3 мм, с раскрытием в пределах от 0,05 до 1 мм из немагнитных и ферромагнитных сплавов плоских и криволинейных поверхностей с радиусом положительной и отрицательной кривизны до 20 мм.

После регистрации полезной модели дефектоскопа и апробации планируется предложить к внедрению программно-аппаратный комплекс для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций на следующих предприятиях.

1. Производственные предприятия, работающие с композиционными материалами: ООО «Проектный центр Бийского котельного завода», г. Бийск, ООО «ТрансМаш», г. Барнаул; ООО «Бийский завод стеклопластиков», г. Бийск; ООО «Стеклопластик», г. Бийск; ООО «Завод ПК «Стеклокомпозит», г. Рязань и др.

2. Центры профессиональной экспертизы: ООО «Центр независимой профессиональной экспертизы «Алтай-Эксперт», г. Барнаул; ЗАО «Профессиональный центр оценки и экспертизы», г. Москва; ООО «Центр независимых экспертиз», г. Нижний Новгород и др.

3. Лаборатории неразрушающего контроля: ООО «Вятский аттестационный центр», г. Ки-

ров, Лаборатория неразрушающего контроля и диагностики ООО «Международная Горно-промышленная компания», г. Екатеринбург и др.

4. Метрологические центры: ООО «Метрологический центр», г. Ангарск; Метрологический центр ООО «СТП», г. Казань и др.

Выводы

В результате проведенного исследования показана его своевременность, актуальность и необходимость проведения исследования в данной области, сформулированы цели и задачи, произведен патентный поиск аналогов разрабатываемого программно-аппаратного комплекса, разработана схема программно-аппаратного комплекса для контроля внутренних дефектов и остаточного ресурса инженерных конструкций, методика выявления внутренних дефектов в деталях из композиционных материалов и определение остаточного ресурса инженерных конструкций методами ультразвукового сигнала на стадии заготовительной операции и в процессе механической обработки.

Список литературы

1. *Рогов В.А., Позняк Г.Г.* Современные машиностроительные материалы и заготовки: учебное пособие. – М.: Академия, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-4254-1.
2. *Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм, В.Ф. Безъязычный, В.С. Волков, Л.Б. Гай, В.А. Грецишников, А.И. Зайцев, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев, Г.А. Лавров, Б.В. Медведь, В.Б. Савин, А.П. Соловьев, А.З. Старосельский, А.Г. Схиртладзе, А.С. Тарапанов, З.А. Фарберов, Г.А. Харламов, Л.Н. Чеканова, Л.Б. Чернявский, Н.П. Шестаков; под общ. ред. А.А. Панова.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с. – ISBN 5-94275-049-1.
3. *Марков А.М.* Технологические особенности механической обработки деталей из композиционных материалов // *Наукоемкие технологии в машиностроении.* – 2014. – № 7 (37). – С. 3–8.
4. *Мозговой Н.И., Мозговая Я.Г.* Исследования влияния физико-механических свойств стеклопластиков на процесс резания // *Вестник алтайской науки.* – 2013. – № 2-1. – С. 15–20.
5. *Мозговой Н.И., Марков А.М., Доц М.В.* Стеклопластик и особенности его механической обработки. – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publ., 2012. – 100 с.



6. Мозговой Н.И., Марков А.М., Мозговая Я.Г. Проблемы и перспективы применения пластических материалов для деталей машиностроения // Ползуновский альманах. – 2013. – № 2. – С. 92–95.

7. Мозговой Н.И., Мозговая Я.Г., Пашикова Е.А. Экспериментальные исследования внутренних дефектов пластичных материалов методом неразрушающего контроля // Инновации в машиностроении: материалы VII международной научно-практической конференции, 23–25 сентября 2015 г. – Кемерово, 2015. – С. 512–515.

8. Мозговой Н.И., Мозговая Я.Г., Пашикова Е.А. Применение акустического метода контроля для деталей из композиционных материалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 3 (68). – С. 42–48. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-42-48.

9. Бондарь Е.Б., Марков А.М. Проблемы обработки пластмасс резанием // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2004. – № 2. – С. 20–21.

10. Материаловедение. Технология композиционных материалов: учебник / А.Г. Кобелев, М.А. Шаронов, О.А. Кобелев, В.П. Шаронова. – М.: Кнорус, 2014. – 270 с.

11. Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н. Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 300 с.

12. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному измерительному контролю [Электронный ресурс]:

утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.2003 № 92: зарег. 20.06.2003: введ. в действие 17.07.2003. – М.: НТИЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 101 с. – URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294816/4294816743.pdf> (дата обращения: 11.11.2016).

13. Ультразвуковой эхо-импульсный метод неразрушающего контроля [Электронный ресурс]: электронные методические указания к лабораторным работам / Самарский государственный аэрокосмический университет; сост. Д.Ю. Киселев, И.М. Макаровский. – Самара: СГАУ, 2010. – 15 с. – URL: [http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf](http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/Киселев%20Д.Ю.%20Ультразвуковой%20эхо-импульсный.pdf) (дата обращения: 11.11.2016).

14. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.

15. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. В 7 т. Т. 3. Ультразвуковой контроль: справочник / под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с. – ISBN 5-217-03224-3.

16. Measurement technologies. Remote visual inspection. – USA: General Electric Company, 2007.

17. Hubben E.B., Jervis D. Advances in three dimensional measurement in remote visual inspection [Electronic resource] // Proceedings 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa. – URL: http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320_wcndtfinal00320.pdf (accessed: 11.11.2016).

OBRABOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 4 (73), October – December 2016, Pages 6–15

Development of hardware and software for the control of internal defects and residual resource of engineered structures and parts made of fiberglass

Mozgovoy N.I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: nick_3@mail.ru

Mozgovaya Y.G., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: yanagm@mail.ru

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

Abstract

The identification of defects in advanced composite materials by the means of ultrasonic signal is considered and analysis of the residual resource of engineered structures is made. The main defects in the structure of composite materials are the following: displacement, rotation and warping of the individual layers of the reinforcing material; superficial swelling, separation, distortion; increased porosity, cracks, sinks, uneven shrinkage materials; reduction in adhesion of the binder and filler, and others.

The early recognition of defects and forecasting of the residual resource of engineered structures gives the opportunity to avoid the loss of sealing of engineered parts and structures, environmental problems concerned with the

destruction of pipelines. Undetected internal defects can not only lead to significant economic losses, environmental pollution, but also to the loss of human life.

The working conditions of the plastic materials, especially composites, are widely used for replacement of parts and components made of rare materials, ferrous and nonferrous metals and alloys based on them, working in hostile environments. This makes it possible to improve the reliability and durability of the structure as a whole.

However, in modern working conditions to evaluate the quality of products a lot of enterprises have to selectively destroy the integrity of the samples under investigation in the control of material properties. From an economic point of view, this leads to an increase of the production cycle and the cost of production.

A method of ultrasonic diagnostics using hardware-software complex, allowing to reveal internal defects, the presence of inclusions or inhomogeneities on the structure of the composite material without destroying the product, to reduce the economic, environmental and human costs is offered.

Keywords

non-destructive testing, ultrasound, composite materials, surface quality, process control, material handling, engineered structures resource.

DOI: 10.17212/1994-6309-2016-4-6-15

References

1. Rogov V.A., Poznyak G.G. *Sovremennye mashinostroitel'nye materialy i zagotovki* [Modern engineering materials and blanks]. Moscow, Academia Publ., 2008. 336 p. ISBN 978-5-7695-4254-1.
2. Panov A.A., Anikin V.V., Boim N.G., Bez'yazychnyi V.F., Volkov V.S., Gai L.B., Grechishnikov V.A., Zaitsev A.I., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Lavrov G.A., Medved' B.V., Savin V.B., Solov'ev A.P., Starosel'skii A.Z., Skhirtladze A.G., Tarapanov A.S., Farberov Z.A., Kharlamov G.A., Chekanova L.N., Chernyavskii L.B., Shestakov N.P. *Obrabotka metallov rezaniem: spravochnik tekhnologa* [Metallcutting: directory of industrial engineer]. 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 784 p. ISBN 5-94275-049-1.
3. Markov A.M. Tekhnologicheskie osobennosti mekhanicheskoi obrabotki detalei iz kompozitsionnykh materialov [Technological features of machining of parts from composite materials]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii – Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2014, no. 7 (37), pp. 3–8.
4. Mozgovoy N.I., Mozgovaya Ya.G. Issledovaniya vliyaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv stekloplastikov na protsess rezaniya [Research of influence of physical and mechanical properties of the cutting process fiberglass]. *Vestnik altaiskoy nauki – Bulletin of the Altai Science*, 2013, no. 2-1, pp. 15–19.
5. Mozgovoy N.I., Markov A.M., Dots M.V. *Stekloplastik i osobennosti ego mekhanicheskoi obrabotki* [Glass-fiber material and features of its machining]. Saarbrücken, Germany, LAP Lambert Academic Publ., 2012. 100 p.
6. Mozgovoy N.I., Markov A.M., Mozgovaya Ya.G. Problemy i perspektivy primeneniya plasticheskikh materialov dlya detalei mashinostroeniya [Problems and perspectives of the use of plastic materials for machine parts]. *Polzunovskii al'manakh – Polzunov Almanac*, 2013, no. 2, pp. 92–95.
7. Mozgovoy N.I., Mozgovaya Ya.G., Pashkova E.A., [Experimental studies of internal defects of plastic materials by non-destructive testing]. *Innovatsii v mashinostroenii (InMash–2015): VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: sbornik trudov* [Innovations in mechanical engineering: VII International scientific and practical conference: materials]. Kemerovo, 2015, pp. 512–515. (In Russian)
8. Mozgovoy N.I., Mozgovaya Ya.G., Pashkova E.A. Primenenie akusticheskogo metoda kontrolya dlya detalei iz kompozitsionnykh materialov [The use of acoustic control method for parts made of composite materials]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2015, no. 3 (68), pp. 42–48. doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-42-48
9. Bondar' E.B., Markov A.M. Problemy obrabotki plastmass rezaniem [Problems processing plastic cutting]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2004, no. 2, pp. 20–21.
10. Kobelev A.G., Sharonov M.A., Kobelev O.A., Sharonova V.P. *Materialovedenie. Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov* [Materials science. The technology of composite materials]. Moscow, Knorus Publ., 2014. 270 p.
11. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyi i izmeritel'nyi kontrol'* [Visual and measurement control]. Tomsk, TPU Publ., 2009. 300 p.
12. RD 03–606–03. Instruction for the visual and measurement control. Moscow, STC “Industrial Safety” Publ., 2004. 101 p. (In Russian) Available at: <http://gostrf.com/normadata/1/4294816/4294816743.pdf> (accessed 11.11.2016)

13. Kiselev D.Yu., Makarovskii I.M., comps. *Ul'trazvukovoi ekho-impul'snyi metod nerazrushayushchego kontrolya* [The ultrasonic pulse-echo metod of nondestructive test]. Available at: http://www.ssau.ru/files/education/metod_1/Киселев Д.Ю. Ультразвуковой эхо-импульсный.pdf (accessed 11.11.2016)
14. Kanevskii I.N., Sal'nikova E.N. *Nerazrushayushchie metody kontrolya* [Nondestructive inspection methods]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2007. 243 p.
15. Ermolov I.N., Lange Yu.V. *Nerazrushayushchii kontrol'*. V 7 t. T. 3. *Ul'trazvukovoi kontrol': spravochnik* [Nondestructive inspection. In 7 vol. Vol. 3. Ultrasonic inspection. Reference]. Ed. by V.V. Klyuev. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p. ISBN 5-217-03224-3.
16. *Measurement technologies. Remote visual inspection*. USA, General Electric Company, 2007.
17. Hubben E.B., Jervis D. Advances in three dimensional measurement in remote visual inspection. *Proceedings 18th World Conference on Nondestructive Testing*, Durban, South Africa, 16–20 April 2012. Available at: http://www.ndt.net/article/wcndt2012/papers/320_wcndtfinal00320.pdf (accessed 11.11.2016)

Article history

Received 13 October 2016

Revised 3 November 2016

Accepted 15 November 2016