

УДК 620.179:678.8

А.С. Бойчук¹, А.С. Генералов¹, И.А. Диков¹**СОЗДАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА МЕЖДУ ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКОЙ И ВЫПУКЛОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ПКМ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-4-68-73

Интегральные монолитные конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ), такие как панели из углепластика с выпуклыми поверхностями малого радиуса с приформованными элементами жесткости типа стрингер, довольно сложно контролируются при использовании традиционных методов неразрушающего контроля. С целью контроля деталей и конструкций из ПКМ с криволинейной поверхностью разработаны специальные средства для создания акустического контакта между фазированной решеткой (ФР) и объектом контроля (ОК). Проведены исследования и экспериментально показано, что при ультразвуковом контроле (УЗК) с использованием технологии ФР и специально разработанных средств удается решить задачу создания стабильного акустического контакта между ФР и ОК из ПКМ с выпуклой поверхностью с радиусом кривизны поверхности от 250 мм.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 2.3. «Методы неразрушающих исследований и контроля» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Ключевые слова: УЗК, фазированные антенные решетки, ПКМ, углепластик, акустический контакт.

Integral monolith structures of polymer composite materials such as CFRP panels with small radius convex surfaces with molded stiffeners (stringers) are merely hard to test using traditional NDT techniques. Special tools to create the acoustic contact between the phased array and the test object have been designed in order to test the parts and structures of FRP with curvilinear surfaces. The research was carried out and the possibility of forming a stable acoustic contact between the phased array and the convex surface of the object under testing with the curvilinear surfaces radius of not less than 250 mm using the designed tools was experimentally demonstrated.

The work is executed within the implementation of the complex scientific direction 2.3. «Methods of nondestructive research and control» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].

Keywords: ultrasonic testing, phased array, fiber reinforced plastic (FRP), carbon fiber reinforced plastic (CFRP), acoustic contact.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Освоение полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1–4] и технологий их производства [5–9] и испытаний [10], а также широкое их внедрение становится одним из важнейших направлений развития материаловедения. Полимерные композиционные материалы с каждым годом все больше используются в конструкциях самолетов, вертолетов, космической техники и многих других изделиях, замещая при этом металлические аналоги. На практике при изготовлении различных деталей и изделий из ПКМ часто встречаются конструкции, имеющие неровные поверхности, в частности цилиндрической формы переменного радиуса с приформованными элементами жесткости. Типичный пример – элемент механизации крыла воздушного судна (рис. 1).

Эхо-импульсный метод ультразвукового контроля, на котором основана технология ультразвуковых фазированных антенных решеток (ФР), применяется в основном в контактном варианте с использованием контактной жидкости [11–14]. Одной из задач при контроле эхо-импульсным методом является обеспечение и поддержание стабильного акустического контакта между поверхностью объекта контроля и преобразователем. Преобразователь на фазированной антенной решетке имеет достаточно большую физическую ширину, что представляет определенную трудность при обеспечении стабильного акустического контакта по всей ее рабочей поверхности на конструкциях с малым радиусом кривизны поверхности.

Для решения задачи контроля деталей и конструкций из ПКМ с криволинейной поверхностью специалистами лаборатории неразру-

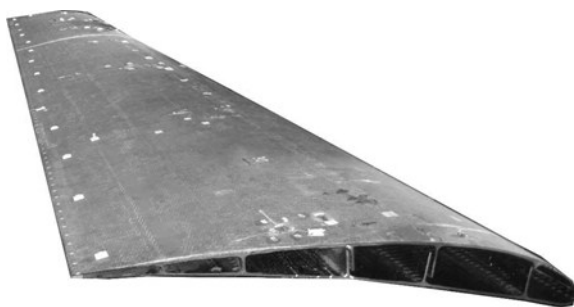


Рис. 1. Элемент механизации крыла из углепластика



Рис. 2. Фрагмент закрылка из углепластика

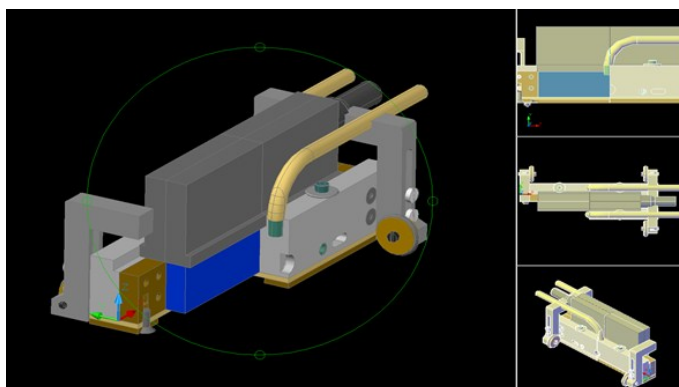


Рис. 3. Модель оправки с водной акустической линией задержки

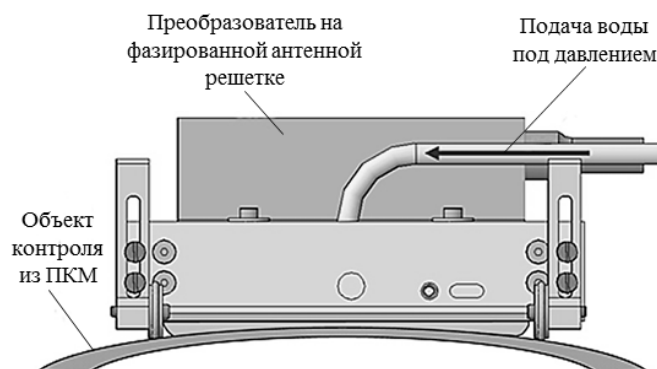


Рис. 4. Размещение фазированной решетки в процессе контроля панели из ПКМ с криволинейной поверхностью с помощью оправки второго типа

шающего контроля ВИАМ был предложен и реализован способ создания акустического контакта между фазированной антенной решеткой и криволинейной поверхностью объекта контроля из углепластика [15–17].

Материалы и методы

Для проведения исследований использовался фрагмент закрылка из углепластика, имеющий выпуклую поверхность с переменным радиусом кривизны (рис. 2).

Предложенный способ создания акустического контакта между фазированной антенной решеткой и криволинейной поверхностью объекта контроля из ПКМ заключается в использовании специаль-

ной оправки с водной акустической линией задержки (рис. 3).

Предлагаемая оправка предназначена для ультразвукового контроля (УЗК) конструкций из ПКМ с криволинейной, в основном выпуклой цилиндрической поверхностью ввода ультразвука в материал ОК. На рис. 4 показано размещение фазированной решетки в процессе контроля панели из ПКМ с криволинейной поверхностью с помощью изобретенной оправки.

Проведение контроля с помощью изобретенной оправки заключается в следующем. Фазированная решетка герметично присоединяется с верхней стороны к оправке. В оправке имеется два штуцера: через один из них в корпус оправки подается вода под давлением, через другой – из

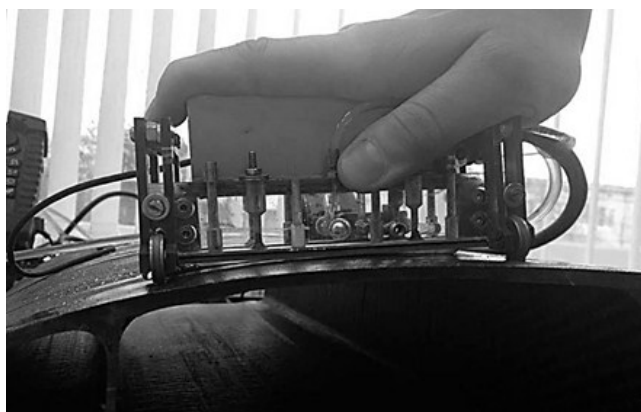


Рис. 5. Положение оправки относительно закрылка

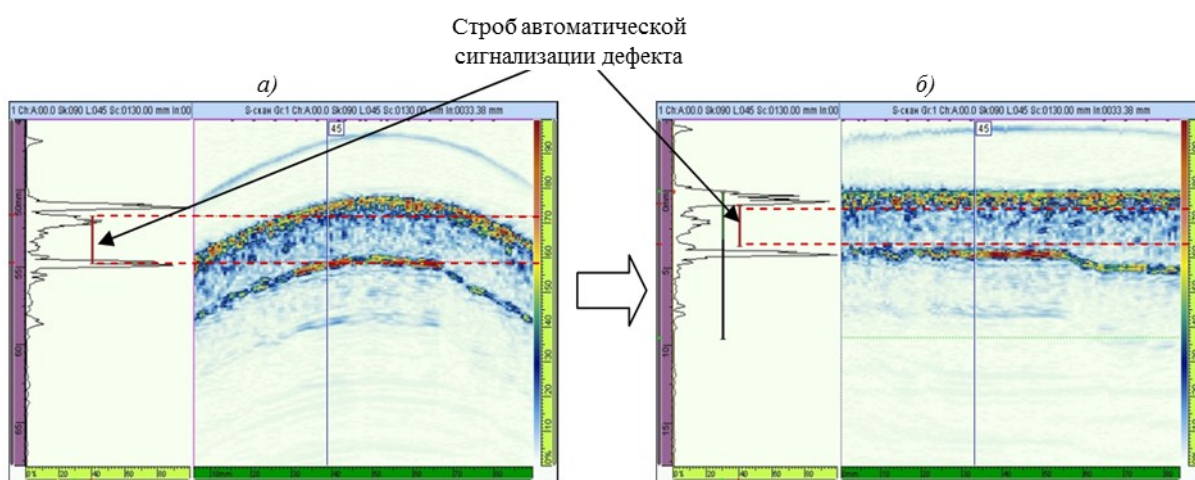


Рис. 6. Контроль с использованием иммерсионного строба (а) и без него (б) для построения С-скана

корпуса выходит воздух. После того как корпус приспособления полностью заполнится водой и из него выйдет весь воздух, штуцер, через который выходит воздух перекрывается, и таким образом создается водное давление в корпусе оправки. С противоположной от поверхности фазированной антенной решетки стороны герметично закрепляется эластомерный материал – аквален. Под давлением воды аквален начинает выпирать наружу из корпуса («надуваться»). Далее оправку с фазированной решеткой плотно прижимают к объекту контроля из ПКМ с неровной поверхностью ввода ультразвука в материал, и аквален принимает форму неровной поверхности ОК (рис. 4), создавая тем самым акустический контакт между всей физической шириной фазированной решетки и ОК.

Для проведения исследований использовался дефектоскоп компании Olympus NDT и 128-элементная фазированная решетка с рабочей частотой 5 МГц, имеющая физическую ширину 96 мм. Корпус оправки был специально изготовлен из оргстекла, чтобы была возможность осуществлять визуальный контроль при возникновении пузырь-

ков воздуха в оправке. В оправке также предусмотрены система позиционирования на колесах и использование быстросменяющейся фторопластовой пленки для уменьшения трения между оправкой и объектом контроля. Это обеспечивает скольжение оправки по грубой поверхности деталей (до нанесения покрытия) при сканировании. Использование колесиков в конструкции оправки обеспечивает не только позиционирование приспособления на объекте контроля, но и значительно увеличивает удобство перемещения при сканировании благодаря сцеплению колесиков с поверхностью ОК. Для подачи воды и создания давления используют ручной насос, систему трубок и перекрытия воды.

Результаты

Испытания оправки проводили на фрагменте закрылка самолета, имеющего переменный радиус кривизны поверхности обшивки (рис. 5).

Испытания заключались в следующем:

- проводилось сканирование зон с разными радиусами кривизны поверхности закрылка с сохранением данных контроля в виде С-скана в цифровом виде;

С-сканы после обработки в TomoView версии Lite Aero

Условный номер зоны	Радиус кривизны поверхности объекта контроля, мм	С-скан результатов неразрушающего контроля на частоте 5 МГц
1	200	
2	250	
3	400	
4	630	

– с использованием специальной программы TomoView версии Lite Aero, поставляемым компанией Olympus NDT, данные С-скана обрабатывались на ПК;

– проводился анализ ультразвуковых сигналов, прошедших сквозь материал, отразившихся от донной поверхности и вернувшихся обратно в фазированную решетку (донных эхо-сигналов). Параллельно анализировался сигнал от границы раздела «аквален–поверхность закрылка».

Наличие широких зон, где не наблюдался донный эхо-сигнал и было большое отражение от границы раздела призмы с фазированной решеткой и неровной поверхностью закрылка, свидетельствовало о том, что отсутствовал контакт между оправкой и неровной поверхностью объекта контроля. При построении С-сканов в настройках дефектоскопа использовался иммерсионный строб (рис. 6). Результаты исследований представлены в таблице.

Анализируя данные таблицы можно сделать вывод, что при использовании данного типа

оправки с фазированной решеткой шириной 96 мм (128 элементов) можно контролировать криволинейные конструкции из ПКМ с радиусом кривизны от 250 мм. В этом случае будет поддерживаться акустический контакт между объектом контроля и фазированной решеткой по всей ее ширине.

Обсуждение и заключения

В результате проведенных научно-технических исследований предложен способ создания акустического контакта между фазированной антенной решеткой и объектом контроля из углепластика с криволинейной поверхностью. Натурные исследования показали эффективность разработанной оправки для создания стабильного акустического контакта между 128 элементами фазированной антенной решетки и объектом контроля из углепластика с криволинейной поверхностью и радиусом кривизны от 250 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 19–21.
3. Полиимидное связующее для армированных пластиков, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2394857 Рос. Федерация; опубл. 07.05.09.
4. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2424259 Рос. Федерация; опубл. 22.10.09.
5. Чурсова Л.В., Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р., Коган Д.И., Попов Ю.О. Особенности технологии изготовления деталей из композиционных материалов методом пропитки под давлением // *Композиционные материалы в авиакосмическом материаловедении: сб. тез. докл. Межотраслевой науч.-технич. конф., посвященной 100-летию со дня рождения чл.-корр. А.Т. Туманова*. М.: ВИАМ, 2009. С. 17.
6. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формирования деталей из полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №3. С. 20–26.
7. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формирования ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 292–301.
8. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Технология изготовления ПКМ способом пропитки пленочным связующим // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2011. №5. С. 25–29.
9. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов // *Российские нанотехнологии*. 2013. Т. 8. №3–4. С. 24–42.
10. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ // *Авиационная промышленность*. 2009. №4. С. 36–46.
11. *Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева*. М.: Машиностроение, 2006. Т. 3: Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр. / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. 864 с.
12. Далин М.А., Генералов А.С., Бойчук А.С., Ложкова Д.С. Основные тенденции развития акустических методов неразрушающего контроля // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №1. С. 64–69.
13. Бойчук А.С., Генералов А.С., Степанов А.В., Юхацкова О.В. Неразрушающий контроль ПКМ с использованием ультразвуковых фазированных решеток // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2013. №2. С. 39–43.
14. Бойчук А.С., Степанов А.В., Косарина Е.И., Генералов А.С. Применение технологии ультразвуковых фазированных решеток в неразрушающем контроле деталей и конструкций авиационной техники, изготавливаемых из ПКМ // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 41–46.

-
15. Бойчук А.С., Степанов А.В., Генералов А.С. Ультразвуковой контроль криволинейных поверхностей конструкций современных самолетов из полимерных композиционных материалов с помощью преобразователя на фазированной решетке и специальных приспособлений // Сб. тез. докл. XIX Международной конф. «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Гурзуф, 2011. С. 129–130.
 16. Бойчук А.С., Степанов А.В., Генералов А.С. Ультразвуковой контроль интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов с помощью преобразователя на фазированной решетке и специальных приспособлений // Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России: сб. тез. докл. Междунар. науч.-технич. конф. М.: ВИАМ, 2012.
 17. Ложкова Д.С., Бойчук А.С., Трифонова С.И., Генералов А.С., Степанов А.В. Исследование влияния кривизны поверхности интегральной конструкции из углепластика на ее контролепригодность с использованием преобразователя на фазированных решетках // Радиозлектроника, электротехника и энергетика: сб. тез. докл. XVIII Междунар. науч.-технич. конф. студентов и аспирантов. М., 2012. Т. 2. С. 143.
-