

УДК 620.165.79

DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-56-60

А.С. Генералов¹, А.С. Бойчук¹, М.А. Далин¹, И.А. Диков¹**КОНТРОЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ
В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ ТЕНЕВЫМ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫМ
ВЕЛОСИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Неразрушающий контроль (НК) внутренних протяженных элементов конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) типа ребер, стрингеров, внутренних стенок, лонжеронов с целью выявления расслоений, трещин и непроклеев (например, при приклейке или приформовке компенсаторов к полотну нервюры) затруднен из-за ограниченного доступа к ним. Обычно в таких случаях доступ возможен только с торца конструкции или через специальные люки в обшивке. Для контроля таких труднодоступных мест применяется акустический теневой амплитудно-фазовый велосиметрический метод, так как он обладает рядом преимуществ перед другими методами НК. При велосиметрическом методе используется сухой точечный контакт, который выгодно отличается отсутствием чувствительности к акустическим свойствам материала и возможностью создания малогабаритных пьезоэлектрических преобразователей. При контроле теневым велосиметрическим методом требуется применение специализированных оправок для соосного позиционирования преобразователей с разных сторон контролируемого элемента конструкции в процессе его сканирования. В ВИАМ разработана и опробована методика НК качества внутренних соединений, стенок и ребер интегральных конструкций из ПКМ низкочастотным акустическим велосиметрическим методом при помощи специализированной оправки. С помощью оправки возможно проводить 100%-ный контроль труднодоступных поверхностей, радиусных зон, многостеночных конструкций переменного по длине сечения, а также контроль при различных углах наклона контролируемого элемента к обшивке.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, теневой амплитудно-фазовый велосиметрический метод, полимерные композиционные материалы, углепластики, оправки.

Non-destructive testing (NDT) of internal strained parts of structures made of polymer composite materials (PCM) such as ribs, stringers, internal walls, spars, aimed at detecting delamination, cracks and disbonds (for example, when gluing or pasting compensators to the web ribs) is rather difficult because of a limited access to them. Usually in such cases, the access is possible only through structure ends or special hatchways in the external surfaces. An acoustic through-transition amplitude-phase velocimetric method is applied for the inspection of such access-limited areas as it favorably differs from other NDT methods. The velocimetric method uses a dry point contact, which is not affected by material acoustic properties and has possibility to develop small-size piezoelectric transducers. NDT by the through-transition velocimetric method requires special tooling for positioning coaxial transducers on the opposite test object surfaces during scanning. The NDT method for internal joints, walls and ribs of PCM integral structures by the low frequency velocimetric method with a special contraption has been developed and implemented to practice in VIAM. This special contraption allows 100% NDT of the structures in access-limited areas, radial zones and variable cross-sections through their length and also control under different angle of the testing object to the surface.

Keywords: ultrasonic testing, acoustic through transition velocimetric method, fiber reinforced plastic (FRP), carbon fiber reinforced plastic (CFRP), special devices.

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

В настоящее время актуальной задачей является контроль целостности и качества приклейки (приформовки) внутренних элементов конструкции современных самолетов, таких как стрингеры, нервюры, компенсаторы, фитинги, полки лонжеронов (рис. 1) для агрегатов из полимерных композиционных материалов (ПКМ): кессона крыла, стабилизаторов и киля, механизации крыла, рулей высоты и направления [1–4]. Доступ к этим элементам после сборки агрегата или при

проведении контроля в условиях технического обслуживания самолета возможен только через специально предусмотренные технологические отверстия и смотровые люки или, иногда, с торцевых сторон агрегата, что накладывает существенные ограничения на тот или иной метод контроля [5, 6]. Для того чтобы обеспечить полноту и достоверность неразрушающего контроля, требуется создание новых современных методик и средств контроля, учитывающих особенности проведения контроля в труднодоступных местах [7–10].

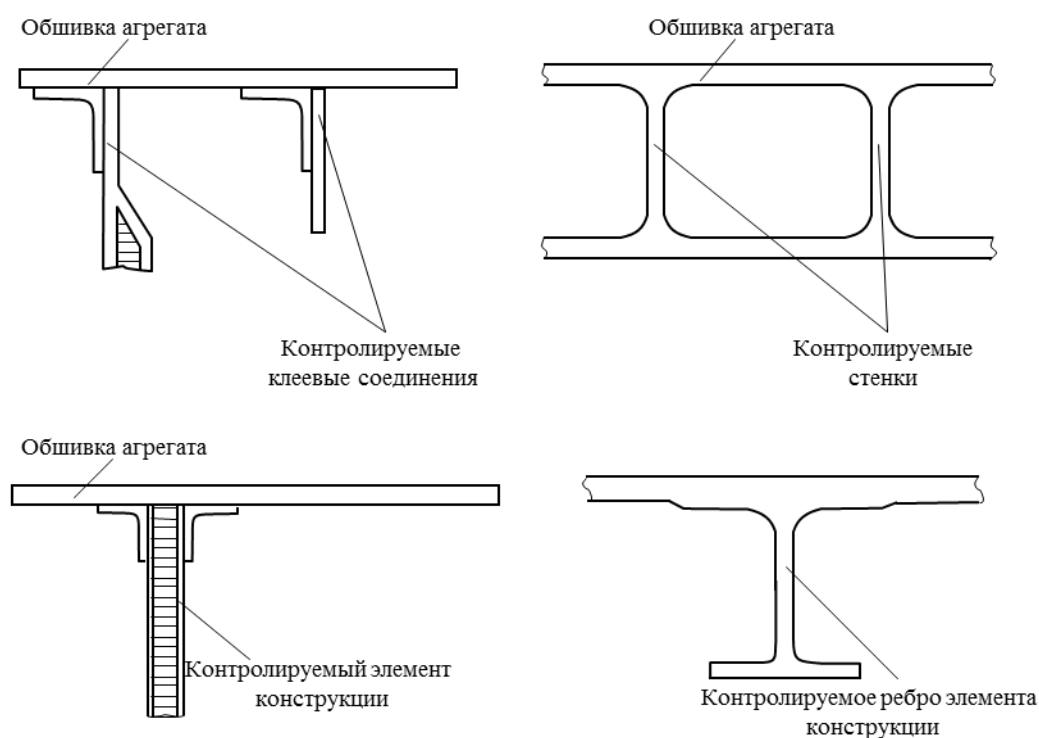


Рис. 1. Объекты контроля конструкций современных самолетов

**Материалы и методы
Особенности применения теневого
амплитудно-фазового
велосиметрического метода**

Использование акустического теневого амплитудно-фазового велосиметрического метода для контроля труднодоступных мест конструкций из ПКМ обусловлено рядом преимуществ перед другими методами неразрушающего контроля [11]. Контроль заключается в сканировании двумя преобразователями (приемным и передающим), соосно расположенными с двух сторон детали. При наличии расслоения или непрочности прибор на основе анализа фазы и амплитуды прошедших через деталь ультразвуковых колебаний сигнализирует о дефекте.

Невозможность использования контактной жидкости (ее нанесение и удаление затруднено или недопустимо) и ряд других факторов принуждают отказаться от использования эхо-метода, широко применяемого при контроле монолитных композиционных материалов, а также резонансного метода, хорошо выявляющего дефекты клеевых соединений. Импедансный метод, прекрасно зарекомендовавший себя при контроле сотовых панелей, малоприменим для монолитов. Теневой высокочастотный метод при использовании сухого контакта требует приложения значительных усилий, сжимающих преобразователи по обе стороны контролируемой детали, или использования крупногабаритных катящихся преобразователей. В то же время велосиметрический метод имеет

сухой точечный контакт и выгодно отличается отсутствием чувствительности к акустическим свойствам материала и возможностью создания малогабаритных преобразователей. Метод отличается повышенной стабильностью показаний. В России реализация надежного контроля с использованием этого метода стала возможна после создания дефектоскопа ДАМИ-С – недорогого современного цифрового импедансного дефектоскопа, которым оснащено большинство авиастроительных и авиаремонтных предприятий. Недостатком этого метода, как и теневого высокочастотного, является необходимость применения специальных оправок для соосного позиционирования преобразователей по разные стороны контролируемой конструкции. В ходе работ, проводимых в ВИАМ, показана возможность разработки и изготовления малогабаритных оправок, позволяющих проводить неразрушающий контроль элементов конструкций из ПКМ в труднодоступных местах.

Разработка преобразователей и оправки для контроля труднодоступных мест

Чувствительность используемых преобразователей должна обеспечивать выявление расслоения $\varnothing 20$ мм. Отметим, что для надежного выявления дефекта необходим запас чувствительности (двукратный по площади дефекта). С учетом диапазона толщин контролируемых элементов конструкций и характеристик имеющегося дефектоскопа используют резонансную частоту колеба-

ний преобразователя в диапазоне от 25 до 40 кГц (с ростом частоты растет чувствительность к мелким дефектам, но снижается стабильность акустического контакта и максимальная прозвучиваемая толщина).

Для проведения исследований в качестве преобразователя использовали плоскую пьезоэлектрическую пластину прямоугольного сечения размером 50×4×12 мм с электродами, расположенными на боковых гранях. В данном случае использован серийно выпускаемый пьезотрансформатор ТП-РМ 501204 (ТУ ВУ 300050407.077–2006). В качестве контактного наконечника к нему приклеена изолированная от электродов стальная полированная полусфера с радиусом 3 мм. Благодаря большой электрической емкости преобразователь показал хорошую амплитуду сигнала, а благодаря малой толщине (5 мм с учетом защиты пьезопластины) – есть возможность установить его прямо на скругление в зоне Т-образного соединения. Всего изготовлено два одинаковых пьезоэлектрических преобразователя такого типа – приемный и передающий – с резонансной частотой 25 кГц.

Разработана также оригинальная оправка для соосного позиционирования преобразователей на типовой зоне Т-образного соединения элементов конструкции из ПКМ. Оправка состоит из двух тележек размером 40×80 мм, на которых установлены кулисы с закрепленными на них преобразователями (рис. 2). Совмещение преобразователей с двух сторон контролируемого элемента конструкции (например, стрингера) осуществляется благодаря расположенным на тележке магнитам системы Nd–Fe–В. Поворотом кулис осуществляется выбор положения линии сканирования. Оправка может перемещаться внутри агрегата с помощью штанги длиной 2 м или магнита, передвигаемого вручную по наружной обшивке (рис. 3).

Разработанная оправка обеспечивает:

- проведение контроля протяженных элементов конструкции (типа ребер, стрингеров, внутренних стенок, лонжеронов) с целью выявления расслоений, трещин и непроклеев при наличии доступа к элементу только с торца конструкции или через смотровые люки в обшивке (при этом должен быть доступ к наружной обшивке);
- проведение контроля радиусных зон элементов конструкций;
- проведение контроля многостеночных конструкций переменного по длине сечения и при различных углах наклона контролируемого элемента к обшивке;
- большое усилие прижатия преобразователя к контролируемому ребру и меньшие их отклонения от соосности;
- возможность выбора высоты линии сканирования над (под) поверхностью обшивки (рис. 4).

Небольшой габарит оправки обеспечивает ее расположение на объекте контроля (ребре, стрин-

гере, внутренней стенке, лонжероне и т. д.) в труднодоступных зонах с учетом конструктивных особенностей элемента конструкции. Как правило, ограничения вносят высота и расстояние между стенками, ребрами и т. д.

Образцы для проведения исследований

Для проведения исследований изготовлено два конструктивно-подобных образца из углепластика с искусственными дефектами. Образец 1 (рис. 5) имитирует панель обшивки, подкрепленную набором Т-образных стрингеров, и выполнен в виде ребристой панели переменной толщины (от 2 до 5 мм) размером 225×400 мм. Образец 1 имеет 4 ребра толщиной 1,9; 3; 4,7 и 6 мм (панель и ребра изготовлены за одно формование). Образец 2 (рис. 6) имитирует места крепления нервюры к обшивке и выполнен в виде двух обшивок (верхней и нижней) размером 236×408 мм и толщиной 2,5 и 5 мм, соединенных тремя параллельными стенками размером 46×400 мм и толщиной 4 мм при помощи равносторонних уголков с размером граней 22 мм клеем холодного отверждения. Для имитации расслоений и непроклеев использованы клинья из стальной фольги толщиной 50 мкм размером рабочей части 27×60 мм и закругленным концом с радиусом 3 мм (как обладающие наилучшей повторяемостью, точностью и технологичностью). После формования и склейки образцов клинья удаляли. Для имитации посторонних включений использовали круглые фрагменты из полиэтиленовой и фторопластовой пленок диаметром 7; 10 и 14 мм.

Результаты

Две оправки с установленными на них ультразвуковыми преобразователями помещали с двух сторон труднодоступного контролируемого элемента конструкции. Поворотом кулис на оправках обеспечивали соосное положение преобразователей с разных сторон ребра и закрепляли это положение фиксирующими винтами на осях кулис. На доступной (наружной) поверхности конструкции располагали ведущий магнит, с помощью которого оператор вручную перемещал оправки вдоль контролируемого ребра внутри конструкции. При обнаружении дефекта срабатывала автоматическая сигнализация дефектоскопа (АСД).

Обсуждение и заключения

В результате проведенных исследований установлено, что:

- сканирование следует проводить со скоростью ≤50 мм/с и шагом ≤5 мм (более высокая скорость сканирования приводит к появлению ложных срабатываний АСД);
- чувствительность контроля позволяет выявлять протяженные дефекты шириной от 6 мм;
- уверенно выявляются непроклеи, расслоения, трещины, но не выявляются дефекты типа посторонних включений;

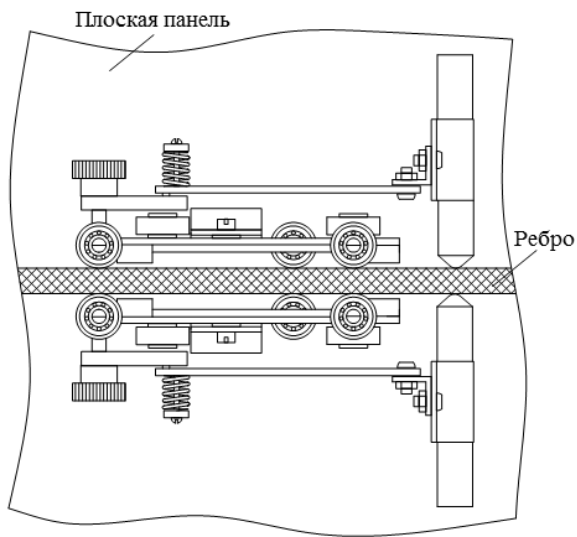


Рис. 2. Оправки для соосного позиционирования преобразователей, расположенные на конструкции с ребрами жесткости

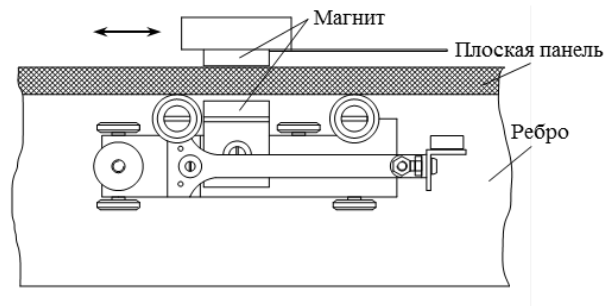


Рис. 3. Принцип перемещения оправки по объекту контроля

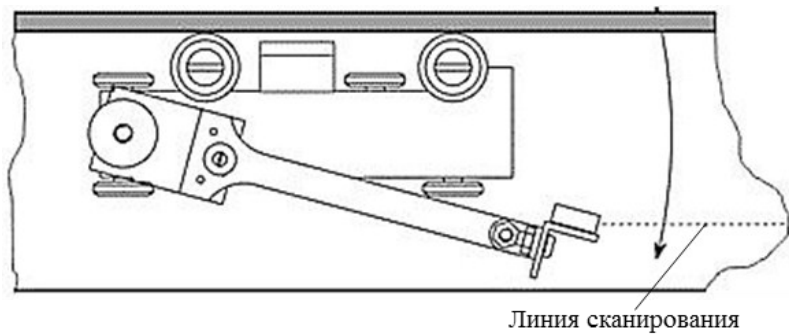


Рис. 4. Расположение преобразователя на объекте контроля

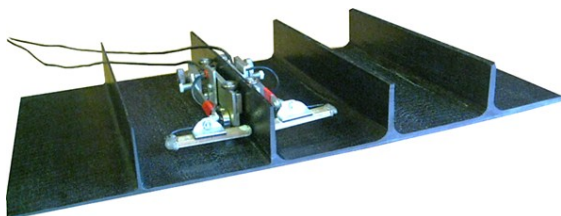


Рис. 5. Контроль конструкции с ребрами жесткости (образец 1)

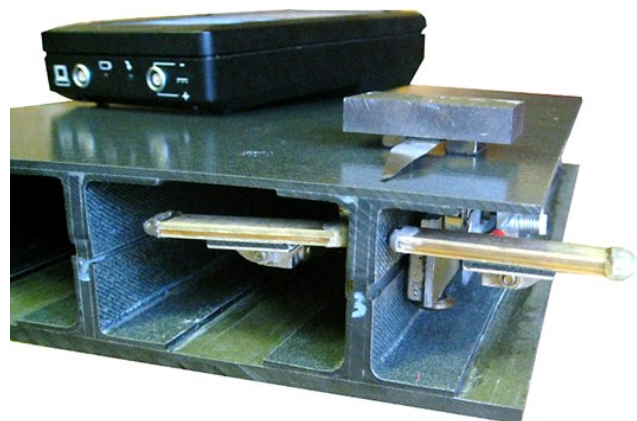


Рис. 6. Контроль клеевого соединения (образец 2)

– уверенно выявляются дефекты, расположенные в плоской части контролируемого элемента конструкции; дефекты, расположенные в зоне радиусного перехода (в месте Т-образного соединения элементов), выявляются недостаточно четко – срабатывание сигнализации происходит, но не по всей длине протяженного дефекта типа клина;

– факторы, ограничивающие контролепригодность агрегатов при их ультразвуковом контроле эхо-методом: пористость материала, склейка и приформовка предварительно отвержденных элементов – не мешают контролю фазовым велосиметрическим методом;

– переменная толщина внешней обшивки агрегатов не мешает контролю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
3. Мурашов В.В., Косарина Е.И., Генералов А.С. Контроль качества авиационных деталей из полимерных композиционных материалов и многослойных клееных конструкций //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 65–70.
4. Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Сорокин К.В., Федотов М.Ю., Гончаров В.А. Методы исследования конструкционных композиционных материалов с интегрированной электромеханической системой //Авиационные материалы и технологии. 2010. №4. С. 17–20.
5. Kablov E., Murashov V., Rumyantsev A. Diagnostics of polymer composites by acoustic methods //Ultrasonics. 2006. №2 (59). P. 7–10.
6. Мурашов В.В. Определение физико-механических характеристик и состава полимерных композиционных материалов акустическими методами //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 465–475.
7. Генералов А.С., Мурашов В.В., Далин М.А., Бойчук А.С. Диагностика полимерных композитов ультразвуковым реверберационно-сквозным методом //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 42–47.
8. Генералов А.С., Мурашов В.В., Косарина Е.И., Бойчук А.С. Построение и анализ корреляционных связей для оценки прочностных свойств углепластиков реверберационно-сквозным методом //Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 58–63.
9. 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.
10. 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.
11. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. /Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. Ультразвуковой контроль. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение. 2006. 864 с.