электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ

01, январь 2015

Алешин Н. П., Григорьев М. В., Щипаков Н. А.

УДК: 389.001

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
shchipak@yandex.ru

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят все более широкое применение в промышленности. Сегодня очевидным фактом является то, что обеспечение надежной и безопасной эксплуатации ответственных высоконагруженных конструкций из них (строительных конструкций, грузоподъёмных сооружений, трубопроводов, сосудов давления, и т.п.) требует разработки и применения на всех стадиях жизненного цикла конструкций специальных методов неразрушающего контроля. Последние должны в соответствии с действующей нормативно-технической документацией обеспечивать:

- надежное обнаружение как технологических дефектов – на стадии изготовления, так и эксплуатационных – на стадии эксплуатации изделия (конструкции), выполненной из ПКМ;
- идентификацию топологии выявленных дефектов (координат расположения, конфигурации и размеров), используя информационные признаки, связанные с параметрами, характеризующими потенциальную опасность выявленного дефекта;
- определение технического состояния ПКМ с учетом потенциальной опасности выявленных дефектов.

В настоящее время в практике неразрушающего контроля ПКМ для выявления дефектов нашли применение практически все методы и способы, традиционно применяемые в условиях производства, испытаний и эксплуатации деталей и агрегатов. Это оптические, электрические, акустические, радиационные, магнитные, тепловые, голографические, микрорадиоволновые и другие методы контроля.

Оптические методы (инфракрасная и ультрафиолетовая спектрометрия) широко используются в лабораторной практике полимеров, применению их в неразрушающем контроле ПКМ уделяется мало внимания. Это объясняется в первую очередь сложностью физической картины взаимодействия света с такой неоднородной средой, как современные ПКМ [1,2].

Тепловые методы основаны на взаимосвязи между составом и теплофизическими характеристиками ПКМ, преимущественно теплопроводностью, благодаря наличию большого количества аналитических формул, связывающих теплопроводность композитов с их структурой [3,4].

В основе радиационных методов контроля ПКМ лежат процессы взаимодействия проникающего низкоэнергетического излучения (как правило, рентгеновского) с веществом [5].

Наиболее широкое распространение получил ультразвуковой и радиационный методы контроля.

Эффективность применения той или иной системы неразрушающего контроля определяется рядом факторов (рис. 1), из которых основными являются факторы, определяющие достоверность результатов оценки качества (технического состояния) контролируемого объекта и производительность контроля.

Рис. 1. Факторы, определяющие эффективность системы неразрушающего контроля

Анализ вышеуказанных факторов показывает, что наиболее перспективными, применительно к системам неразрушающего контроля ПКМ являются системы, базирующиеся на использовании ультразвукового метода контроля, как метода обладающего наибольшей чувствительностью и информативностью по отношению к характерным технологическим и эксплуатационным дефектам в ПКМ. Получаемая с использованием данного метода контроля информация о размере, площади и ориентации дефекта в пространстве, даёт возможность построения качественного изображения для последующей оценки работоспособности и ресурса конструкции из ПКМ. Несомненным преимуществом применения систем ультразвукового метода неразрушающего контроля является возможность автоматизации процесса контроля, используя при этом достаточно известные на практике решения в построении соответствующих систем.

Поэтому, акустические методы и системы контроля на их базе, для неразрушающего контроля качества ПКМ являются наиболее перспективными [1]. Доля акустических методов в объеме неразрушающего контроля, составляют более 60% по отношению к другим методам контроля.

Однако, несмотря на достаточно широкое применение акустических методов контроля, они имеют ряд ограничений:

- низкая выявляемость одиночных объемных дефектов;

- низкая эффективность контроля материалов с большим затуханием акустических колебаний.

Применение полимерных композиционных материалов требует проведения неразрушающего контроля конструкций из них, существенно отличающегося от технологий и процедур контроля металлических материалов и полуфабрикатов. Для каждого типа конструкции и технологии её получения характерны свои типы производственных дефектов - трещины, расслоения, непроклеи, инородные включения, повышенная пористость, отклонения толщины и т.д. Внутренние дефекты, не выявленные при визуальном осмотре ПКМ, склонны к росту под действием эксплуатационных нагрузок и могут стать причиной разрушения детали в эксплуатации. Применение неразрушающего контроля деталей при их производстве позволяет исключить возможность пропуска опасных дефектов.

При производстве агрегатов из ПКМ ультразвуковой контроль проводится с целью выявления дефектов типа расслоений, включений (как правило технологических плёнок), недопропитанных зон (зон повышенной пористости), непроклеев в клеевых соединениях и сотовых конструкциях, а также для измерения толщины. Контроль осуществляется с использованием приборов (ультразвуковых дефектоскопов) отечественных (фирмы «Кропус», «АКС») и зарубежных производителей (фирмы «Олимпус», «Сонотест»), предусматривающих ручное сканирование поверхности контролируемого объекта (рис. 2). В основе технологий, реализуемых данными приборами, положен эхо-импульсный метод с контактным способом ввода упругих колебаний в контролируемый объект.

Рис. 2. Ручное сканирование поверхности контролируемого объекта

Контроль агрегатов из ПКМ после сборочных операций и в эксплуатации проводиться с целью выявления и определения размеров трещин, расслоений, ударных повреждений, оценки качества проведения ремонта повреждённых зон.

При контроле используются различные акустические методы.

Импедансный метод, с использованием изгибных и продольных волн, характерный для таких приборов как АД-42ИМ (МНПО «Спектр», Москва). Метод собственных колебаний, реализованный в приборе АД-21Р (ПО «Волна», Новгород). Теневой и велосиметрический методы применяются в приборе Harmonic bondtester Mark II («Shurtronics», США). А так же реверберационный и эхо-метод, использующиеся в приборах УД4-Т («Votum», Молдова), УД2-70 («Луч», Москва) и др.

В настоящий момент в российской авиационной промышленности основной объём неразрушающего контроля деталей из ПКМ осуществляется вручную. Ручной контроль, кроме чрезвычайно высокой трудоёмкости, характеризуется низкой достоверностью результатов, так как подвержен влиянию человеческого фактора, имеет ограничения в реализации высокоинформативных технологий контроля, а также в производительности, при проведении эксплуатационного контроля.

Надёжное выявление и регистрацию дефектов, высокую чувствительность, соблюдение скорости сканирования и полноты контроля возможно получить только в результате диагностики объекта с применением автоматизированного комплекса акустического контроля. Получаемая при помощи такого комплекса информация о размере, площади и ориентации дефекта даёт возможность построения качественного изображения для последующей оценки работоспособности и ресурса конструкции из ПКМ.

В настоящее время существует ряд импортных автоматизированных установок для проведения ультразвукового контроля конструкций из полимерных композиционных материалов, таких как оборудование фирмы «Tecnatom» (Испания), использующее теневой и эхо-метод с вводом ультразвуковой волны через слой контактной жидкости (рис. 3).

а б

Рис. 3. Оборудование фирмы «Tecnatom»: а- теневой метод; б - эхо-метод

Несмотря на высокие показатели достоверности и качества контроля импортных аналогов, они имеют ряд ограничений:

- установки стационарные, проблематично их применение при проведении эксплуатационного контроля;

- недостаточная информативность результатов контроля с точки зрения оценки потенциальной опасности выявленных дефектов (при проведении эксплуатационного контроля);

- применяется как правило способ ввода упругих колебаний с использованием контактных жидкостей.

ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана» ведет разработку высокопроизводительного роботизированного устройства (сканер-дефектоскопа) для автоматизированного контроля, как при производстве, так и при эксплуатации деталей и агрегатов из ПКМ (рис. 4).

Рис. 4. Внешний вид сканера-дефектоскопа для контроля ПКМ

Технологический базис методики контроля сканера-дефектоскопа изделий и агрегатов из полимерных композиционных материалов основан на линейном сканировании с использованием техники фазированных решеток. Сканер-дефектоскоп способен автономно перемещаться по плоской поверхности ПКМ вне зависимости от пространственного положения (по горизонтальной или вертикальной плоскости, в том числе и в потолочном положении).

Данный сканер-дефектоскоп способен проводить ультразвуковой контроль деталей и агрегатов из монолитных панелей ПКМ толщиной до 24 мм, с чувствительностью порядка 8 мм диаметра эквивалентного дискового отражателя; деталей и агрегатов из сотовых панелей толщиной до 80 мм с чувствительностью 14 мм, а также конструкций замкнутого

контура с толщиной стенки от 2 мм и возможностью идентификации дефектов диаметром порядка 8 мм.

Помимо высокой чувствительности и разрешающей способности сканер-дефектоскоп имеет ряд конкурентных преимуществ:

- полная автоматизация процесса контроля;
- полная автономность;
- мобильность (возможно применения при производстве и в эксплуатации деталей и агрегатов);
- высокая выявляемость дефектов и информативность результатов контроля;
- использование сухого контакта при контроле сотовых панелей из ПКМ;
- компактность и малый вес (не более 20 кг).

Таким образом, для контроля полимерных композиционных материалов при производстве и на всех стадиях жизненного цикла готовых изделий и агрегатов целесообразно применение автоматизированных систем, реализующих акустический метод контроля. Применение техники фазированных решеток позволяет обеспечить высокую выявляемость дефектов, информативность результатов контроля и возможность идентификации топологии выявленных дефектов.

Список литературы

1. Демченко В.В., Бурякин В.И., Любутин О.С., Моисеев Л.К., Масленников И.М. Определение содержания связующего в стеклопластике фотоэлектрическим методом //Пластические массы. 1971. №2. С. 61–62.
2. Сандалов А.В. Исследование взаимосвязей между различными свойствами материалов и использование результатов этих исследований для диагностики несущей способности изделий /В кн.: Методы и средства диагностики несущей способности изделий из композитов. Рига: Зинатне. 1986. С. 18–28.
3. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М. 1962. 456 с.
4. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. М.: Мир. 1968. 472 с.
5. Румянцев С.В., Кулиш Е.Е., Борисов О.И. Источники низкоэнергетического излучения в неразрушающем контроле. М.: Атомиздат. 1976. 128 с.
6. В.В. Мурашов, А.Ф. Румянцев. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. Часть 1. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов. «Контроль.Диагностика». 2007. №4.
7. Мурашов В.В. Контроль клеевых конструкций // Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №7. С. 21-27.
8. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 2013. -576 с.: ил.