

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ПКМ СПОСОБОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ АКТИУИРОВАНИИ МАТЕРИАЛА*

Предлагается метод локального определения жесткости конструкции с интегрированными актюаторными элементами расчетным путем исходя из измеренных значений деформации конструкции в ее исходном положении и изменения значений ее деформации при актюировании и приложении нагрузки. В качестве регистратора деформации участка конструкции используются показания волоконно-оптического датчика на основе брегговской решетки и регистрирующего мини-спектрометра. Об изменении жесткости конструкции при актюировании можно судить по результатам расчета значений модуля Юнга при изгибе в точке определения деформации волоконно-оптическим сенсорным элементом и по отклонению полученного значения жесткости от жесткости конструкции в начальном состоянии. В свою очередь, изменение жесткости конструкции из ПКМ может служить индикатором наличия структурных изменений и, как следствие, образования микродефектов, их последующего развития при воздействии нагрузок и зарождения опасных дефектов.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, волоконная брегговская решетка, пьезоактюатор.

Конструкционные полимерные композиционные материалы (ПКМ) отличаются малой плотностью, высокими прочностными характеристиками, коррозионной стойкостью и долговечностью при эксплуатации конструкций, выполненных из них [1].

Одно из перспективных направлений создания ПКМ – это наделение их специальными свойствами, позволяющими осуществлять перераспределение действующих нагрузок на конструкцию, компенсировать их воздействие, изменять геометрические параметры конструкции и определять собственные физико-механические характеристики [2].

Такие материалы могут найти применение в авиации и космической отрасли, в энергетике и судостроении, а также при строительстве зданий в сейсмически опасных регионах. Материалы, обладающие данными свойствами, позволят снизить массогабаритные характеристики конструкций и повысить безопасность эксплуатации конструкций из конструкционных композиционных материалов.

Одной из важных задач повышения надежности конструкций из ПКМ является своевременное выявление дефектов и прогнозирование их развития. Для выявления дефектов в ПКМ чаще всего применяются методы ультразвукового контроля, которые не всегда позволяют обнаружить микродефекты материала конструкции и, тем более, не дают информации о возможности образования опасного дефекта.

Для прогнозирования развития дефектов чаще всего применяются различные статистические методы и методы экспертных оценок, однако эти методы не являются достаточно точными и носят субъективный характер.

Одним из параметров, который может характеризовать состояние материала, в том числе и преддефектное состояние, является его жесткость. Для имитации изменения

* По материалам доклада на научно-технической конференции «Создание и исследование конструкционных материалов для новой техники», посвященной 100-летию С.З. Бокштейна (Москва, ВИАМ, 18 января 2011 г.)

жесткости конструкции были изготовлены образцы из ПКМ на основе углеродного наполнителя с интегрированными пьезоактюаторными элементами и датчиками на основе волоконных брегговских решеток [3].

Для определения геометрического профиля образцов из конструкционных ПКМ была применена лазерно-триангуляционная измерительная система, обеспечивающая требуемую точность.

При исследовании изменения геометрического профиля образцов из конструкционного ПКМ с интегрированной электромеханической актюаторной системой, расположенной в приповерхностной области исследуемых образцов, определялась величина отклонения множества его точек (массив координат) на поверхности. Расстояние множества точек на его поверхности от плоскости сканирующего датчика определялось при различных значениях поданного актюирующего напряжения на электромеханическую актюаторную систему [4].

Изменение жесткости определялось расчетным путем исходя из измеренных значений отклонения координат поверхности образца от исходного положения и изменения значения его деформации, зарегистрированной волоконно-оптическим датчиком на основе брегговской решетки.

После получения координат профиля поверхности Z_0 с помощью лазерно-триангуляционной измерительной системы и измерения исходных значений деформаций ε_0 мини-спектрометром производится нагружение образца путем приложения сосредоточенной нагрузки к свободному концу образца, закрепленного в зажиме устройства позиционирования. Нагрузка, прикладываемая к образцу при исследовании, не должна превышать 50% от предела прочности при изгибе. Для проведения исследования использовались грузы с массой m_1 и массой $m_2=0,5m_1$.

Масса m_1 рассчитывается из условия деформирования образца в упругой зоне по закону Гука с учетом геометрических параметров образца, значения модуля Юнга и предельной деформации данного ПКМ – ε [5].

Тогда закон Гука примет следующий вид:

$$E = \frac{4m_1gl}{bh^2\varepsilon}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга, Па; ε – относительная деформация образца; g – ускорение свободного падения; b, h, l – ширина, толщина и длина образца, мм.

В процессе последовательного воздействия грузов m_1 и m_2 на свободный конец закрепленного образца проводится измерение значений профилей поверхности (Z_1, Z_2) и деформаций ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) соответственно.

Расчет значения жесткости в точке определения деформации волоконно-оптическим сенсорным элементом производится по формуле:

$$k = ES, \quad (2)$$

где k – жесткость, Н; $S=bh$ – площадь поперечного сечения образца, м^2 .

С учетом закона Гука (1) формула (2) примет следующий вид:

$$k = \frac{4mgl}{h\varepsilon}. \quad (3)$$

После подачи электрического напряжения на электрические контакты сенсорных элементов и последовательного воздействия грузов m_1 и m_2 на свободный конец закрепленного образца и проведения измерений по описанному выше способу получим значения Z_{1a}, Z_{2a} и $\varepsilon_{1a}, \varepsilon_{2a}$ соответственно.

Значение жесткости при актюировании k_a в точке определения деформации волоконно-оптическим сенсорным элементом рассчитывается по формуле (3). После сравнения разности значений прогиба профилей $Z_{1a}-Z_1$ и $Z_{2a}-Z_2$ и отклонения значения жесткости k_a от k можно судить об изменении жесткости образца.

Таким образом, описанный способ позволяет оценить изменение жесткости образцов. В свою очередь, изменение жесткости конструкций из ПКМ может служить индикатором наличия структурных изменений и, как следствие, образования микродефектов, их развития при воздействии нагрузок и зарождения опасных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бунаков В.А., Головкина Г.С. Армированные пластики. М.: МАИ. 1997. 404 с.
2. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. М.: Техносфера. 2006. 628 с.
3. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера. 2006. 223 с.
4. 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. 31–34.
5. Физика. Большой энциклопедический словарь /Гл. ред. А.М. Прохоров. 4-е изд. М.: Большая российская энциклопедия. 1998. 944 с.

УДК 620.179:678.84

Е.Н. Каблов, Д.В. Гращенков, Н.Е. Уварова

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ

Приведены преимущества золь-гель технологии для получения высокотемпературных стеклокерамических материалов. Рассмотрены результаты исследования методом инфракрасной спектроскопии процессов структурообразования – переходов «раствор (золь)→гель→кристаллическая фаза» на примере системы $SrO-Al_2O_3-SiO_2$.

Ключевые слова: золь-гель технология, гелеобразование, стеклокерамика, структурообразование, стронциевый анортит.

Получение высокотемпературных керамических и стеклокерамических материалов – важная задача современного материаловедения. Областью применения этих материалов являются перспективные изделия авиационной и космической техники, а также машиностроение, энергетика, нефтяная и газовая промышленность [1–3].

Получение высокотемпературных стеклокристаллических материалов традиционным способом варки стекла с последующей его направленной кристаллизацией сопряжено с рядом трудностей: необходимостью применения высокой температуры варки исходных стекол и сложностью при получении материала заданного фазового состава. При осуществле-