

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВСТРОЕННЫМИ ВОЛОКОННЫМИ ДАТЧИКАМИ БРЭГГА

© 2021 г. Федотов Михаил Юрьевич, к.т.н., чл.-корр. РИА^{1*}

¹ – *Российская инженерная академия (РИА), 125009, г. Москва, Газетный пер., д. 9, стр. 4*

* - fedotovmyu@gmail.com

Создание перспективных образцов авиационной техники, обладающих уникальными характеристиками невозможно без широкого применения новых материалов и технологий. Говоря о высоконагруженных и ответственных крупногабаритных конструкциях, стоит отметить, что одной из наиболее важных тенденций развития является широкое применение полимерных композитных материалов (ПКМ), которые характеризуются высокими значениями удельной прочности и эксплуатационных свойств, обеспечивая при этом весовую эффективность в сравнении с традиционно применяемыми металлическими материалами и сплавами. Для дополнительного облегчения изделия, имея в виду, например, регулярные зоны крыла, зачастую применяют трехслойные панели, имеющие композитные обшивки, между которыми располагается сотовый наполнитель.

Применение таких конструкций требует обеспечения безопасности и надежности эксплуатации изделия, которые могут быть реализованы за счет применения современных методов и средств неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики [1, 2]. Одним из наиболее перспективных методов НК трехслойных и монолитных композитных конструкций является оптический метод [3] с использованием встроенных на стадии изготовления конструкции волоконных датчиков Брэгга (далее ВОД). Такой подход имеет очевидные преимущества перед классическими методами НК, т.к. позволяет осуществлять мониторинг фактического состояния конструкции как в процессе стендовых испытаний, так и, в перспективе, в эксплуатации.

Для ВОД, сформированных на основе волоконных решеток Брэгга, справедливо соотношение, известное в литературе [4] как условие фазового синхронизма

$$\lambda_B(\varepsilon, T) = 2n_{\text{eff}}\Lambda, \quad (1)$$

где λ_B – резонансная длина волны ВОД, нм; ε – относительная деформация; T – температура, К; n_{eff} – эффективный показатель преломления сердцевины волоконного световода (ВС); Λ – период волоконной решетки Брэгга, нм.

Преобразуя (1), разложив в ряд Тейлора, с учетом допущения, что зависимости $\lambda_B(\varepsilon)$ и $\lambda_B(T)$ носят линейный характер и справедливо применим закон Гука, получим

выражение, в общем виде описывающее линейную модель оптического контроля

$$\Delta_B = K_\varepsilon \Delta\varepsilon + K_T \Delta T, \quad (2)$$

где Δ_B – относительное изменение длина волны ВОД, ppm; K_ε – линейный коэффициент деформационной чувствительности ВОД, ppm/ $\mu\varepsilon$; K_T – линейный коэффициент температурной чувствительности ВОД, ppm/К.

Здесь стоит пояснить, что в зарубежной литературе ppm (part per million) – сдвиг длины волны в миллионных долях длины волны, $\mu\varepsilon$ (microstrain) – деформация в отношении один к миллиону ($1\mu\varepsilon = 1 \text{ мкм/м}$) – единицы измерения, которые довольно удобно использовать на практике в рассматриваемой области.

Приведены результаты экспериментальных исследований по выбору типа покрытия ВОД, предназначенных для интеграции в композитные обшивки, показано, что с точки зрения особенностей взаимодействия с компонентами ПКМ наиболее целесообразно использовать ВС в акрилатном покрытии. Исследованы способы формирования зоны ввода-вывода ВОД и сформулированы требования к организации топологии ВОД в трехслойных конструкциях. Изготовлены образцы и проведен оптический НК в соответствии с описанной моделью. По результатам НК экспериментально установлено, что с учетом разработанных требований к топологии, все ВОД сохранили работоспособность после формования изделия в едином технологическом цикле, при этом полученные зависимости показаний ВОД в процесс нагружения носят линейный характер, что подтверждает эффективность предложенной методики НК в процессе стендовых испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панков А.В., Токарь В.Л., Петронюк Ю.С., Левин В.М., Мороков Е.С., Рыжова Т.Б., Гулевский И.В. Определение характеристик трещиностойкости слоистых углепластиков на образцах без инициатора трещины с применением метода акустической микроскопии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т. 86. № 8. С. 58-65.
2. Бурков М.В., Еремин А.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Панин С.В. Диагностика ударных повреждений монолитных и сотовых углепластиков с помощью ультразвуковых волн Лэмба // Дефектоскопия. 2021. № 2. С. 33-43.
3. Kinet D., Mégret P., Goossen K.W., Qiu L., Heider D., Caucheteur C. Fiber bragg grating sensors toward structural health monitoring in composite materials: challenges and solutions // Sensors. 2014. V 14. P.7394-7419.
4. Kersey A.D., Davis M.A., Patrick H.J., Leblanc M. Fiber grating sensors // IEEE J. Lightwave Tech. 1997. V. 15(8). P. 1442-1463.