

## КОНТРОЛЬ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ

© 2022 г. Федотов Михаил Юрьевич, к.т.н., чл.-корр. РИА<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> – Российская инженерная академия (РИА), 125009, г. Москва, Газетный пер., д. 9, стр. 4  
\* - [fedotovmyu@gmail.com](mailto:fedotovmyu@gmail.com), +7-909-691-12-88

Широкое применение полимерных композитных материалов (ПКМ) в различных отраслях промышленности приводит к необходимости совершенствования существующих и развития новых методов неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики. Так, ПКМ, в частности углекомпози́ты, наиболее целесообразно применять для изготовления высоконагруженных и ответственных авиационных конструкций, таких как панели крыла, фюзеляж, элементы хвостового оперения, мотогондолы и т.п. Вместе с тем, каждая конкретная конструкция в реальных условиях эксплуатации подвержена одновременному воздействию как силовых нагрузок, так и температуры. В связи с этим, актуальным вопросом является применение методов НК, позволяющих осуществлять одновременный контроль этих параметров с необходимой точностью. Это позволит в перспективе реализовать систему НК, обеспечивающую контроль напряженно-температурного состояния конструкции в процессе эксплуатации, что позволит перейти от эксплуатации по заданному ресурсу к эксплуатации по фактическому техническому состоянию. Одним из наиболее эффективных методов НК, позволяющих обеспечить возможность одновременного контроля деформации и температуры является оптический метод с использованием встроенных в композитную конструкцию волоконно-оптических датчиков (ВОД) на основе волоконных брэгговских решёток (ВБР). Как известно, ВБР представляет собой сложную пространственную структуру, сформированную на участке волоконного световода (ВС) с геометрической длиной, как правило от 2 до 10 мм (рис.1).

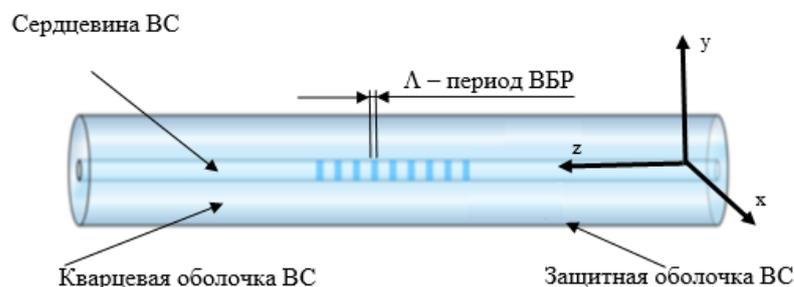


Рис.1 – Структура ВБР [1]

ВБР с постоянным периодом  $\Lambda$  в соответствии с условием фазового синхронизма (условие, при котором реализуется конструктивная интерференция электромагнитных волн дифрагированных на штрихах решетки) отражает распространяющееся по сердцевине излучение на длине волны [2]:

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

где  $n_{\text{eff}} \approx 1,45$  – эффективный показатель преломления основной моды ВС;  $\lambda_B$  – резонансная длина волны ВБР, которая для современных систем измерения, как правило, на основе ВБР находится в диапазоне 1,5-1,6 мкм.

В общем случае  $\lambda_B$  зависит от двух параметров – деформации и температуры, что позволяет использовать такие системы на практике [3]. Основные методы, потенциально применимые к рассматриваемой задаче, подробно описаны в [4].

Для проведения экспериментальных исследований по одновременному контролю деформации и температуры ПКМ был выбран метод двух волокон, заключающийся в формировании ВОД на основе двух близкорасположенных разнолегированных ВС с ВБР, обладающих различной чувствительностью к деформации и температуре, либо к одному из этих параметров, при этом значения деформации и температуры однозначно определяются соотношением

$$\begin{bmatrix} \varepsilon \\ T \end{bmatrix} = \overline{K}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta\lambda_{B1}/\lambda_{B1} \\ \Delta\lambda_{B2}/\lambda_{B2} \end{bmatrix}, \quad \overline{K}^{-1} = \frac{1}{\det(\overline{K})} \begin{bmatrix} K_{T2} & -K_{T1} \\ -K_{\varepsilon 2} & K_{\varepsilon 1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – относительная деформация, отн. ед.;  $T$  – температура, °С; индексы 1 и 2 обозначают характеристики 1 и 2 ВС соответственно;  $K_T$ , пм/°С;  $K_\varepsilon$ , (мкм/м)<sup>-1</sup> – коэффициенты чувствительности ВОД к температуре и деформации.

Испытания на растяжение при одновременном изменении температуры от 30 до 120 °С конструктивно-подобных образцов из углекомполита на основе среднемодульного углеродного жгута IMS65 24К и эпоксидного связующего с интегрированной парой волокон с ВОД на основе ВБР, сформированных на ВС SM1500P (легирование германием) и PS1250-1500 (легирование бором), показали, что предложенный метод контроля обеспечивает точность измерения температуры ~ 2 °С, деформации ~ 60 мкм/м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Budadin O., Kozelskaya S., Vavilov V., Kuimova M., Fedotov M., Vasiliev S., Gnusin P. Theoretical and experimental studies of structural health monitoring of carbon composites with integrated optical fiber sensors based on fiber bragg gratings // Journal of Nondestructive Evaluation. 2021. Т. 40. № 4. p. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10921-021-00822-5>.
2. Botsis J. Fiber Bragg grating applied to in situ characterization of composites // In book: Wiley Encyclopedia of Composites. 2011. P. 1-15. <https://doi.org/10.1002/9781118097298.weoc083>.
3. Ramakrishnan M., Rajan G., Semenova Y., Farrell G. Overview of fiber optic sensor technologies for strain/temperature sensing applications in composite materials // Sensors. 2016. V16(1). <https://doi.org/10.3390/s16010099>.
4. Федотов М.Ю., Будадин О.Н., Козельская С.О., Терентьев В.С. Методы одновременного контроля деформации и температуры композитных конструкций волоконно-оптическими датчиками // Конструкции из композиционных материалов. 2020. № 2 (158). С. 44-51.