

что приводит к пересмотру основных положений, как концепции безопасного развития трещины, так и модели безопасной долговечности. В рамках модели безопасной долговечности в работе изучается изменение остаточной прочности композиционного материала при циклических испытаниях как при постоянной амплитуде напряжения с коэффициентом асимметрии R равным нулю, так и при его произвольном значении, и её связь с характеристиками статической прочности.

Предполагается, что изменение остаточной прочности является стохастическим процессом, математическое ожидание которого является линейной функцией статического предела прочности, амплитуды циклического напряжения и степенной функцией отношения текущего числа циклов к предельному числу циклов нагружения. В предположении, что статическая прочность композиционного материала подчиняется трёхпараметрическому распределению Вейбулла, получена зависимость

$$\sigma = \sigma_{b0} + \delta (N)^{-1/\gamma},$$

связывающая амплитуду циклического напряжения σ с числом N циклов до разрушения ($S \sim N$ – кривая). Здесь σ_{b0} , δ и γ – параметры трёхпараметрического распределения статической прочности композиционного материала.

Пригодность полученного соотношения для предсказания долговечности композиционных материалов устанавливалась сравнением с собственными экспериментальными результатами, а также с опубликованными в доступной литературе данными. Подчеркивая, что проведённое обоснование (сравнения с результатами испытаний) выполнено в условиях принятых неопределённостей, полученное соотношение рекомендовано использовать на данном этапе для анализа долговечности композиционных материалов на стадиях предварительного проектирования.

УДК 621.452.322.037-226.2.002.3:678:061.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СДВИГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

©2016 Д.С. Пальчиков

Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, г. Москва

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CFRP SHEAR PROPERTIES USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD

Palchikov D.S. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

This work is devoted to the experimental determination of CFRP shear mechanical properties by the asymmetric four-point bending test using digital image correlation method. This method is proposed as an alternative to ASTM standards. The paper presents results of asymmetric four-point bending test compared to results of tests on standard ASTM D5379. It is shown that in determining the strength and the interlaminar shear modulus, both methods show quantitatively comparable results. Also has been shown advantages of this technique in determining in-plane shear modulus.

Одним из важнейших этапов применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в изделии является определение их механических (расчётных) характеристик. Экспериментальные исследования расчётных характеристик материалов, предполагаемых для использования в изделии, должны предшествовать опытно-конструкторс-

ким работам, так как являются определяющими для создания геометрии, внутренней структуры и облика детали.

Как известно, ПКМ – сложный анизотропный материал, имеющий по сравнению с металлами, с точки зрения прочности, как ряд преимуществ, так и недостатков. Одним из таких недостатков является низкое сопро-

тивление сдвигу. Зачастую, на стадии проектирования изделия из КМ именно характеристики при сдвиге являются определяющими при выборе материала. Всё это свидетельствует о необходимости надёжного определения механических характеристик ПКМ.

Межслоевой сдвиг. В настоящее время наиболее распространёнными стандартизированными методами определения механических характеристик армированных пластиков при межслоевом сдвиге являются ASTM D5379 (метод Иосипеску) [3] и ASTM D2344 (метод «короткой балки») [4], в общем случае обеспечивающие стабильность и достоверность результатов испытаний. Однако эти методы имеют ряд недостатков. К примеру, ASTM D5379 для определения межслоевых характеристик предполагает испытания образцов толщиной $h = 20$ мм, что невыгодно с точки зрения технологии изготовления и расхода материала (для изготовления пластины из углепластика толщиной $h = 20$ мм необходимо использовать порядка 100 слоёв ткани). Вторым недостатком связан с относительно малой (узкой) областью «чистого» сдвига, что, в свою очередь, ужесточает требования к точности наклейки тензорезисторов. К недостаткам метода «короткой балки» относится отсутствие возможности определения модуля межслоевого сдвига при использовании традиционных методов измерения деформаций (тензорезисторов), ввиду сложного НДС, вызванного концентрацией напряжений в зоне контакта образца и опор.

Сдвиг в плоскости слоя. Для определения характеристик при сдвиге в плоскости слоя в основном также применяется метод Иосипеску (ASTM D5379). Метод хорошо себя зарекомендовал при испытаниях образцов со схемой армирования [0] и [0;90]. При испытаниях данным методом образцов с иными схемами армирования (к примеру, [0;+45;0;45]) достоверное определение модуля сдвига в плоскости слоя весьма затруднительно, так как распределения деформаций в рабочей зоне является неравномерным.

Недостатки существующих методов определения характеристик ПКМ при сдвиге

могут быть устранены путём применения новых систем и методов измерения.

Целью данной работы является экспериментальное определение сдвиговых характеристик ПКМ ($\tau_{13}, G_{13}, G_{12}$) при четырёхточечном несимметричном изгибе [2]. Отличительной особенностью данных испытаний является применение оптического метода измерения деформаций (метод корреляции цифровых изображений) [1], что позволяет использовать упрощённую схему нагружения и геометрию образцов. Применение данной методики позволит повысить эффективность определения характеристик материала, а также снизить затраты на изготовление образцов. Данная методика предлагается в качестве альтернативы зарубежным стандартам ASTM.

В работе приведены результаты испытаний образцов из углепластика на межслоевой сдвиг и сдвиг в плоскости слоя по предложенной методике (с использованием оптического метода измерения деформаций) в сравнении с результатами испытаний образцов по стандарту ASTM D5379. Показано, что при определении прочности и модуля межслоевого сдвига оба метода показывают количественно сопоставимые результаты. Также показаны преимущества данной методики при определении модуля сдвига в плоскости слоя.

Библиографический список

1. Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H.W. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Basic Concepts, Theory and Applications. – Springer, 2009. 348 с.
2. Hiroshi Yoshihara, Hiroki Kond «Effect of specimen Configuration and Lamination Construction on the Measurement of the In-plane Shear Modulus of Plywood Obtained by the Asymmetric Four-point Bending Test».
3. ASTM D5379/D 5379-05. Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method.
4. ASTM D2344/D 2344M-00. Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates.