

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СЛОИСТЫХ УГЛЕПЛАСТИКАХ

Соломонов Д.Г.¹

¹Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, г. Пермь,
solomonov1198@yandex.ru

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, модальный анализ, усталостное разрушение, неразрушающий контроль

Для применения армированных углепластиков (CRFP) в элементах конструкций, подверженных вибрации, необходимо обеспечивать высокую усталостную прочность [1, 2]. Постепенное накопление усталостных повреждений сопровождается изменением жёсткости материала и собственных частот. Целью данной работы является получение экспериментальных данных об изменении упругих характеристик слоистых CRFP по мере накопления усталостных повреждений.

Объектом исследования являются стандартные образцы из однонаправленного углеродно-эпоксидного волокна длиной 250 мм, шириной 25 мм и толщиной 1,2 мм, рекомендованные стандартом [3]. Исследованы два типа образцов с различными схемами укладки слоёв [0/-45/45/-45/0] (тип 1) и [90/45/-45/-45/90] (тип 2).

Образцы подвергались усталостным испытаниям на электрорезонансной испытательной машине Testronic– 50 при циклическом нагружении с постоянной амплитудой напряжений и коэффициентом асимметрии цикла 0,1. Уровень нагружения соответствовал долговечности образцов N_f около 10^6 циклов. Испытание каждого образца несколько раз останавливали на разных стадиях нагружения для проведения экспериментального модального анализа и неразрушающего контроля появившихся дефектов. Экспериментальный модальный анализ проводили методом сканирующей лазерной виброметрии с использованием лазерного виброметра PSV-400-3D [4,5]. Получены собственные частоты и формы колебаний образцов в диапазоне частот до 2000 Гц.

Найденные собственные частоты были использованы для решения обратной задачи идентификации упругих параметров монослоя: двух модулей Юнга E_1 и E_2 , модуля сдвига G_{12} и коэффициента Пуассона ν_{12} [5-7]. В результате были получены зависимости этих параметров от относительной усталостной долговечности N/N_f (рис.1).

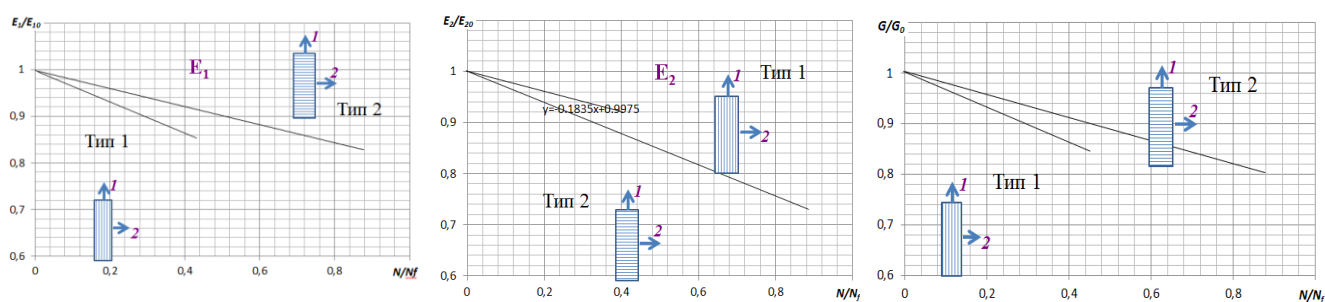


Рис. 1 – Зависимости изменения модулей упругости E_1 и E_2 и модуля сдвига G_{12} с относительной усталостной наработкой N/N_f (E_{10} , E_{20} и G_0 – значения соответствующих параметров при нулевой усталостной наработке)

Выявлены характерные особенности изменения характеристик упругости для разных вариантов укладки ламината. Для образцов первого типа модуль упругости E_1 уменьшался быстрее, чем для образцов типа 2, а модуль упругости E_2 снижался медленнее. Нагрузка, направленная вдоль волокон внешнего слоя, вызывает их разрушение (образцы типа 1). Нагрузка, направленная поперек волокон внешнего слоя (образцы типа 2), вызывает разрушение матрицы. В результате модуль E_2 уменьшается быстрее в образцах типа 2.

Полученные зависимости характеристик упругости монослоя от усталостной наработки могут быть использованы в моделях процесса накопления усталостных повреждений и для последующей разработки методов прогнозирования усталостной долговечности.

Список литературы

1. Каримбаев Т.Д. Оценка усталостной долговечности изделий из композиционных материалов. *Авиационные двигатели*. 2020. № 4 (9). С.75-93.
2. Нихамкин М.Ш., Семенова И.В. Концентрация напряжений в лопатках компрессора при повреждении их посторонними предметами. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2011. № 4. С. 15-18.
3. ASTM standard D 3479. Standard Test Method for Tension-Tension Fatigue of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM International, 2007. 6 p.
4. Гринев М.А., Аношкин А.Н., Писарев П.В., Шипунов Г.С., Нихамкин М.Ш., Балакирев А.А., Конев И.П., Головкин А.Ю. Расчётно-экспериментальные исследования собственных частот и форм колебаний лопатки спрямляющего аппарата из полимерных композиционных материалов. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2016. № 4. С. 106-119.
5. Sol H, Hua H, De Visscher J, Vantomme J, De Wilde WP. A mixed numerical/experimental technique for the nondestructive identification of the stiffness properties of fiber reinforced composite materials. *J. Independent Nondestructive Testing and Evaluation*. V.30(2) (1997). Pp. 85-91.
6. Нихамкин М.Ш., Соломонов Д.Г. Применение экспериментального модального анализа для идентификации параметров модели слоистого углепластика. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника*. 2017. № 51. С. 124-135.
7. Нихамкин М.Ш., Соломонов Д.Г., Зильбершмидт В.В. Идентификация характеристик упругости композита по экспериментальным данным о модальных характеристиках образцов. *Вестник ПНИПУ. Механика*. 2019. №1. С. 108-120.

Сведения об авторе

Соломонов Данил Глебович, студент. Область научных интересов: экспериментальный модальный анализ, идентификация КЭ моделей, усталостное разрушение композитов.

EXPERIMENTAL STUDY OF FATIGUE DAMAGE ACCUMULATION IN LAMINATED CFRPs.

Solomonov D.G.¹

¹Perm national research polytechnic university, Perm, Russia, solomonov1198@yandex.ru

Keywords: polymer composite materials, modal analysis, fatigue failure, non-destructive testing

The aim of this work is to obtain experimental data on changes in the elastic characteristics of layered CRFPS as fatigue damage accumulates. The samples were subjected to fatigue tests under cyclic loading with a constant amplitude. The test of each sample was stopped several times at different loading stages for experimental modal analysis and non-destructive testing of the resulting defects. The found eigen frequencies were used to solve the inverse problem of identifying the elastic parameters of a layered monolayer: two Young's modulus, the shear modulus, and the Poisson's ratio.