

УДК 620.11

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СЛОИСТОГО УГЛЕПЛАСТИКА С ОТВЕРСТИЕМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

© Асси А.Л., Болдырев А. В.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева? Г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: ttukasi@mail.ru

В конструкции летательного аппарата выполняются различные вырезы, которые предназначены для иллюминаторов, дверей и портов доступа для обслуживания, таких как доступ к электрическим линиям, гидравлической и топливной арматуре. Наличие выреза влияет на устойчивость элементов и прочность конструкции. Следовательно, важно определить степень влияния вырезов в конструкции летательного аппарата.

В работе рассматривается задача исследования влияния выреза в слоистом углепластике конструкции авиационного назначения при растяжении. Разработана методика испытаний на основе стандартов ASTM D5766/D5766M [1] и ГОСТ 33375-2015 [2].

Сущность методики заключается в кратковременном испытании образца с центральным открытым отверстием из полимерного композита (ПК) на растяжение с постоянной скоростью деформации, при которой определяется предел прочности образца с отверстием и без отверстия.

Объектами испытаний являются образцы из ПК в виде пластин с открытым отверстием шириной ( $36 \pm 1$ ) мм, длиной от 200 до 300 мм и толщиной от 2 до 4 мм. Отверстие диаметром ( $6.00 \pm 0.06$ ) мм должно находиться по центру образца.

В данной работе изготовление образцов из углеродных тканей 200T, АСМ С300Х и эпоксидного связующего Инжект SL(B) осуществлялось методом вакуумной инфузии. Образцы, показанные на рис. 1, нарезались из общих заготовок в направлении основы и утка ткани.

Методика испытаний предварительно выполнялась методом конечно-элементного моделирования по следующему плану: 1) разработка элемента репрезентативного объема (RVE) ламината и определение его механических свойств; 2) моделирование многослойного композита; 3) проведение статических расчетов пластин на прочность для оценки влияния выреза в конструкции при растяжении.

Для определения механических свойств слоя была создана в Ansys Material designer модель RVE ламината из углеродного волокна и эпоксидной смолы [3]. Полученные свойства из REV расчета представлены в таблице 1, где E – модуль упругости (Юнга); G – Модуль сдвига;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\rho$  – массовая плотность.

Таблица 1 – Механические свойства ламината

E <sub>1</sub> , МПа	E <sub>2</sub> , МПа	E <sub>3</sub> , МПа	G <sub>12</sub> , МПа	G <sub>23</sub> , МПа	G <sub>31</sub> , МПа	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	$\mu_{23}$	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
7683,1	7685,7	6,33	4,04	2,15	2,15	0,22	0,46	0,46	1479,7

Созданные конечно-элементные модели в ANSYS ACP Pre для расчетов представляют собой слоистые пластины с размерами 200x36x3 мм. Для оценки влияния выреза в пластине были созданы модели пластин с отверстием диаметром 6 мм. Пакет

композита создан из слоев толщиной 0,2 мм. Смоделированы четыре образца, из которых две модели – по схеме ортотропной укладки  $[0^\circ]$  относительно продольной оси X обозначены У1.1 (модель образца без отверстия) и У1.2 (модель образца с отверстием 6 мм) и две – по схеме укладки  $[90^\circ]$  относительно продольной оси Y аналогично обозначены У2.1 и У2.2.

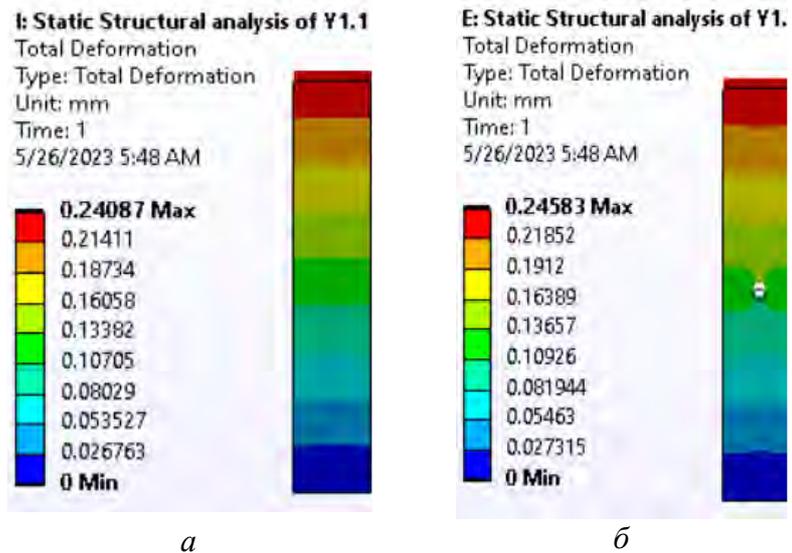
Расчеты пластин на прочность выполнялись в Ansys Static structural. Пластина нагружалась силой 10 кН в направлении оси ориентации слоев композита. В таблице 2 представлены результаты расчетов.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Образец	Схема укладки	Максимальное напряжение, МПа	Максимальное относительное удлинение, мм	Максимальная деформация
У1.1	[0°]	97,52	0,24	$1,28 \cdot 10^{-3}$
У1.2		380,55	0,25	$6,87 \cdot 10^{-3}$
У2.1	[90°]	97,51	0,24	$1,28 \cdot 10^{-3}$
У2.2		370,44	0,25	$6,31 \cdot 10^{-3}$



*Рисунок 1 – Образцы для натуральных испытаний*



*Рисунок 2 – Результаты расчета удлинения пластины при растяжении: а – модель образца без отверстия; б – модель образца с отверстием*

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что вырез значительно ослабляет конструкцию: напряжение выросло в 4 раза, а деформация – в 5 раз (рис. 1 и 2).

### Библиографический список

1. ASTM D5766/D5766M. Standard Test Method for Open Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates. / D30 Committee. ASTM International, 2002.
2. ГОСТ 33375-2015. Композиты полимерные. Методы испытаний на растяжение образцов с открытым отверстием / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). М.: Стандартинформ, 2016.
3. ANSYS Workbench Documentation (ANSYS Help Viewer).