

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СДВИГОВОЙ МЕЖСЛОЕВОЙ ПРОЧНОСТИ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Появление новых материалов, как правило, связано с необходимостью улучшить эффективность и исполнение конструкций. Кроме того, сами по себе новые материалы предоставляют новые возможности для развития модифицированных конструкций и разработки новых технологий их изготовления.

Слоистые композиционные материалы на основе смол и технических тканей обладают высокими прочностными характеристиками, но при этом обладают низкой плотностью. Поэтому они являются одними из самых перспективных конструкционных материалов (ПКМ), используемых в аэрокосмической области. Однако композиты обладают существенным недостатком, препятствующим эффективному повышению степени их внедрения на производстве – низкой межслоевой прочностью. В связи с этим, существует потребность в исследовании характера разрушения композиционных материалов при недостаточной межслоевой прочности.

Механические свойства композита определяются тремя основными параметрами: прочностью армирующих волокон, жёсткостью матрицы и прочностью на границе раздела слоев. Соотношения этих параметров характеризуют весь комплекс механических свойств материала и механизм его разрушения. Работоспособность композита обеспечивается одновременно правильным выбором исходных компонентов и рациональной технологией производства, обеспечивающей прочную связь между компонентами при сохранении первоначальных свойств. Для определения механических характеристик композиционных материалов проводят прочностные испытания. В процессе испытаний определяют прочностные и жесткостные свойства.

Определение межслоевой прочности слоистых полимерных композиционных материалов является трудоемкой задачей. Зачастую при испытаниях они разрушаются по форме, не позволяющей достоверно интерпретировать результаты эксперимента. В данной работе рассматриваются образцы для определения межслоевых прочностных свойств ПКМ при испытании на сдвиг.

Базовым документом, на основе которого разрабатывается программа испытаний, выбор основных параметров образцов и оснастки, обработка результатов эксперимента

является стандарт ASTM D3846-79 [1]. Конструкция и основные размеры образца в соответствии с указанным стандартом показаны на рисунке 1.

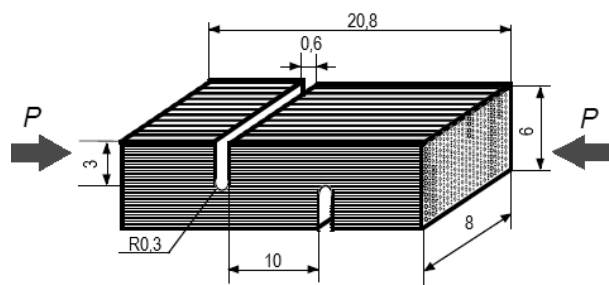
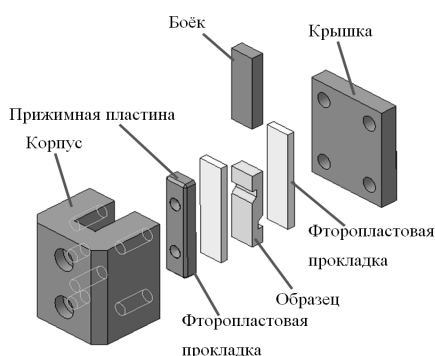


Рисунок 1 – Конструкция образца на межслоевой сдвиг



а) испытательная оснастка



б) схема нагружения и закрепления

Рисунок 2 – Схема нагружения образцов на межслоевой сдвиг

Предполагается, что образцы изготавливаются из углеткани СС201 и эпоксидного связующего SR8100/SD8824 методом вакуумной инфузии. В процессе испытания образцы устанавливаются в оснастку, предотвращающую потерю его устойчивости (рисунок 2а). В соответствии с этим схема нагружения и закрепления образца, используемая в дальнейшем при математическом моделировании, показана на рисунке 2б.

На первом этапе было проведено математическое моделирование образца на межслоевой сдвиг с надрезами под углом 90° . После проведения статического анализа конечно-элементной модели в среде ANSYS Mechanical была получена следующая картина распределения сдвиговых напряжений (рисунок 3).

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что в области надреза возникает концентрация напряжений. Этот фактор оказывает значительное влияние на достоверность полученных данных, которые в дальнейшем используются при проектировании композитных конструкций.

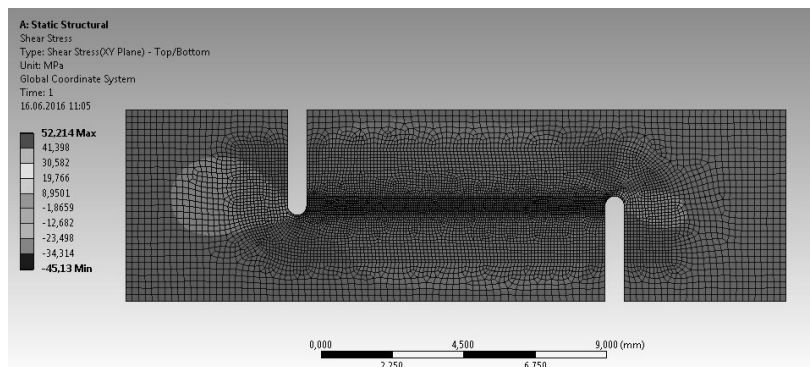


Рисунок 3 – Картина распределения сдвиговых напряжений (угол надреза 90°)

В ходе исследования было высказано предположение, что снижение жесткости образца за счет изменения угла надреза позволит снизить коэффициент концентрации по краям области сдвига.

Для проверки данного предположения проводилось моделирование образцов на межслоевой сдвиг. При этом угол выполнения надреза варьировался от 30° до 120°. В рассматриваемых конечно-элементных моделях образцов значения сдвиговых напряжений замерялись в 11 точках, расположенных на равном удалении друг от друга в рабочей зоне образца (рисунок 4).

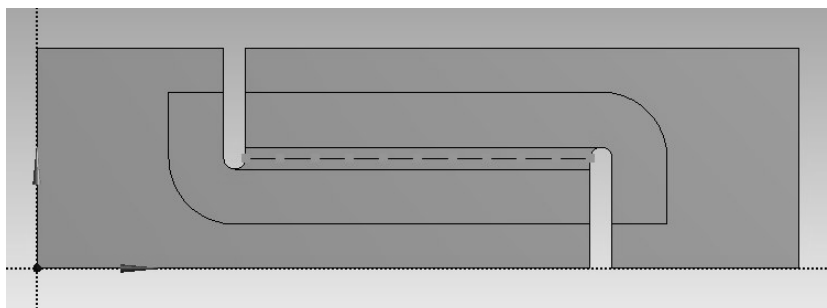


Рисунок 4 – Характерные точки для снятия значений сдвиговых напряжений образца

Критерием сравнения полученных результатов является значение коэффициента концентрации напряжения, определяемого по формуле:

$$k = \frac{\tau_i}{\tau_{\text{теор}}},$$

где τ_i – значение сдвигового напряжения в i -й точке, $\tau_{\text{теор}}$ – теоретическое значение сдвиговых напряжений, определяемое по формуле [1]:

$$\tau = \frac{P}{S} = \frac{P}{b\delta}.$$

Здесь P – сила, соответствующая данному моменту нагружения, b – ширина образца, δ – расстояние между надрезами.

На рисунке 5 представлен график зависимости коэффициента концентрации напряжений от длины рабочей зоны.

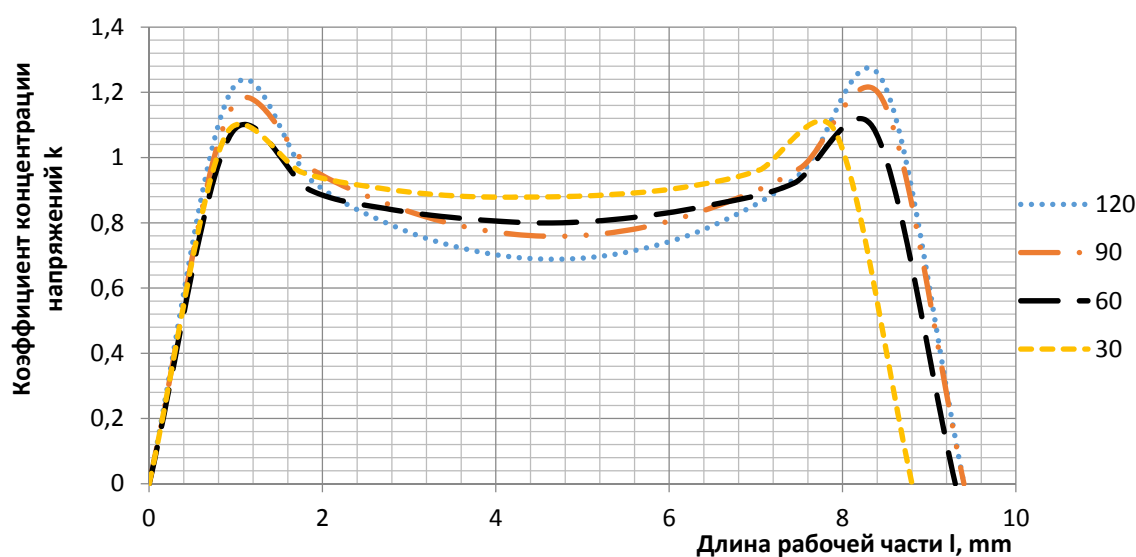


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента концентрации напряжений от длины рабочей зоны

На рисунке 6 показаны значения сдвиговых напряжений в образце с надрезом, выполненном под углом 30°.

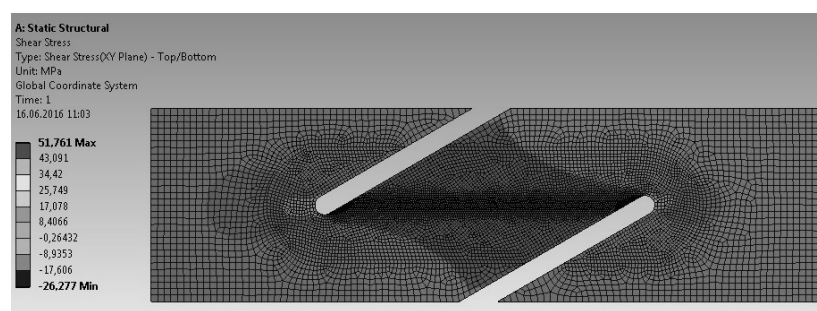


Рисунок 6 – Картина распределения сдвиговых напряжений в образце с углом надреза 30°

Соответственно, уменьшение угла надреза приводит к снижению концентрации напряжений в рабочей зоне и позволяет повысить точность оценки предельных касательных напряжений.

Библиографический список

1. ASTM D 3846-79: Standard test method for in-plane shear strength of reinforced plastics, ASTM Standards and Literature References for Composite Materials, 2nd Ed., ASTM, Philadelphia, p. 396 (1990).