

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М. С. ЕГОРОВА, М. Ю. КАЛЯГИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Создание современных композитных конструкций с заданным комплексом эксплуатационных характеристик невозможно осуществить без достаточно полного описания механических параметров композитного материала конструкции. Эти факторы вносят существенные изменения в методы расчета и проектирование композитных конструкций. Необходимо отметить, что при создании конструкций из композитов одновременно создается и материал этой конструкции. Так как материал представляет сложную многослойную структуру, где каждый слой имеет свое необходимое направление, появляется широкая возможность целенаправленно управлять свойствами создаваемой конструкции и долговечностью работы конструкции. В широком диапазоне можно регулировать жесткостные и прочностные характеристики, а также динамические свойства. С появлением современных высокопрочных и высококомодульных композитов возникли новые возможности в создании рациональных и оптимальных конструкций минимальной массы, тем более изготовление осуществляется чаще всего оптимальным технологическим процессом. Это позволяет уменьшить количество соединений в изделии, создавать интегральные конструкции и тем самым существенно снизить массу и повысить работоспособность и надежность конструкций. Композиционные материалы на основе современных высокопрочных и высококомодульных типов армирующих волокон являются важным, пока не использованным полностью резервом повышения прочности, эффективности, снижения массы и совершенства современных конструкций различного назначения, что подтверждается многочисленными публикациями по различным направлениям использования композиционных конструкций во многих отраслях машиностроения. Использование композиционного материала в изделиях позволяет даже при простой замене металла на композит снизить массу элемента на 15–20 % и его стоимость. Их рациональное использование всегда приводит к снижению массы и стоимости конструкции. Таким образом, имеющийся положительный опыт применения волокнистых материалов дает основание считать, что они и в дальнейшем найдут широкое использование в несущих конструкциях. Это требует проведения глубоких достоверных теоретических и экспериментальных исследований.

К настоящему времени основные результаты развития механики композиционных материалов изложены в монографиях, где подробно представлены различные по сложности расчетные модели материалов. Рассмотрены особенности поведения материалов при их нагружении, в том числе особенность поведения многослойных волокнистых композитов, которые составляют основу силовых конструкций. Проведен анализ работы многослойной структуры при растяжении и изгибе.

При растяжении на свободных поверхностях возникают кромочные эффекты в виде межслойных напряжений из-за разных жесткостных характеристик слоев. Эти напряжения обеспечивают поддержание в слоистом композите состояние кинематической совместности. В реальных конструктивных элементах эти эффекты самоуравновешены и имеют местное значение, но могут иметь важное значение в механике разрушения многослойных композитов.

В настоящее время композиционные материалы (КМ) успешно применяются в силовых конструкциях. Их свойства постоянно улучшаются и совершенствуются, что требует непрерывного совершенствования расчетных методов и изучения поведения материалов в разных условиях нагружения для повышения его трещиностойкости, долговечности и надежности в условиях эксплуатации.

Механизмы накопления повреждений в КМ значительно более разнообразны, чем в металлах. Так, можно считать установленным, что при четырехточечном изгибе однонаправленного композита в зависимости от марки материала и предыстории процесса механизм разрушения может заключаться в разрывах волокон, потере устойчивости сжатых волокон, трещин в матрице либо поперек волокна, либо вдоль плоскости слоя.

Рассматриваются механизмы разрушения однонаправленного КМ при сжатии. Обнаружено, что причиной разрушения является локальная потеря устойчивости. Установлены 5 стадий процесса разрушения термопластичного композита, армированного короткими стеклянными волокнами: об-

разование микротрещин и пустот, развитие микротрещин по границе раздела волокно-матрица, образование полос сдвига матрицы, раскрытие трещин, катастрофический рост трещин. Показано, что при растяжении модельного однонаправленного композита с полимерной матрицей обнаружены два вида микродефектов в матрице у концов оборванных волокон: дисковидные микротрещины, плоскость которых параллельна плоскости разрушения волокна и искривленные микротрещины, ориентированные под углом 45° к направлению армирования. Установлено, что в КМ «углерод – углерод» основной причиной возникновения микродефектов служит нарушение связи между волокном и матрицей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2023-0007).

УДК 539.3

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СЛОИСТОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ В ВИДЕ СКВОЗНОГО ОТВЕРСТИЯ

А. Ю. ЕРШОВА, М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Отверстие под механический крепеж является концентратором напряжений для конструкции из любого материала, так как это источник трещин и дефектов, которые снижают несущую способность конструкции в целом.

Для конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) эта проблема стоит особенно остро, так как в этом случае основным несущим элементом является волокно. Как известно, армирующие волокна воспринимают основную долю внешних нагрузок и обеспечивают прочность и жесткость. При разрушении волокна при сверлении отверстия под механический крепеж несущая способность конструкции из ПКМ (стеклопластика и углепластика) значительно падает. Матрица же предназначена для обеспечения монолитности материала и передачи равномерного распределения усилий между армирующими волокнами.

Анализ существующих критериев расчета на прочность элементов конструкций (например, пластин) из ПКМ с концентраторами напряжений показывает, что наиболее достоверные результаты дает критерий Нуизмера [1]. Согласно этому критерию разрушение элемента конструкции из ПКМ при наличии концентратора напряжений в виде кругового отверстия наступает тогда, когда напряжение в некоторой точке, отстоящей от контура отверстия на расстояние d_0 , называемым характеристическим, достигает предела прочности σ_B материала. Характеристический размер d_0 зависит от величины диаметра отверстия d и учитывает разрыхление композита.

В отечественной и зарубежной литературе представлены данные, подтверждающие работоспособность этого критерия, но эти результаты получены для свободных (незаполненных) сквозных отверстий, а также вырезов.

Для отверстия диаметром $d = 6$ мм величина $d_0 = 1$ мм, для отверстий других диаметров

$$d_0 = \left(\frac{d}{6}\right)^{1/2}.$$

Критерий Нуизмера дает приемлемые результаты с точки зрения инженерной практики для случаев разрушения пластин из ПКМ, состоящих из различного числа монослоев, разрывом и может быть рекомендован к практическому использованию [2, 3]. В случае смятия, среза, скола этот критерий дает завышенную оценку прочности.

В данной работе рассматривается распределение напряжений вблизи сквозного отверстия в пластинах из углепластиков различных марок [4, 5] при растяжении, определяется коэффициент концентрации напряжений: