

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНОГО ФЛАНЦА С ДЕФЕКТОМ В ВИДЕ РАССЛОЕНИЯ

А.Н. АНОШКИН, Д.В. ПИСАРЕВ, В. Ю. ЗУЙКО, В.М. ОСОКИН

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29
E-mail: pisarev85@live.ru

Успешная реализация потенциальных возможностей композиционных материалов при создании композитных деталей во многом зависит от правильного проектирования и выбора схемы армирования. Схема армирования и выкладки композитных узлов выбирается на основе прочностных расчетов в соответствии с нормами прочности и жесткости с учетом особенностей технологии изготовления. Для расчета фланцевых композитных узлов деталей авиадвигателей необходимо использовать математические модели, учитывающие неоднородность конструкции и анизотропию свойств материалов слоев, наличие технологических дефектов. Следует отметить, что в узлах фланцевых соединений возникает сложное напряженное состояние, высокие прочностные характеристики композиционного материала в направлении армирования реализуются не полностью, разрушение композитных фланцев начинается по механизму расслоения с потерей жесткости и изгибом конструкции [1].

Вместе с тем значения, полученные расчетным путём, требуют экспериментального подтверждения. Проведение экспериментальных исследований для подобных конструкций является отдельной и достаточно сложной задачей. Так, если для испытаний стандартных образцов материалов существуют общепринятые стандарты (ГОСТ, ASTM и т.п.), то для конструкций необходимо создание методик, которые должны учитывать все особенности механического поведения исследуемого объекта и обеспечивать возможность их реализации в эксперименте. Кроме того, необходимо получить и подтверждение физико-механических свойств композиционного материала, реализованных в конструкции [2]. Следует отметить, что композиционный материал и конструкция создаются в одном технологическом процессе, при этом свойства материала, полученные на стандартных образцах, могут отличаться от свойств в составе конструкции, кроме того при изготовлении могут возникать технологические дефекты, в том числе, расслоений [3]. В связи с этим разработка методики расчетно-экспериментального исследования НДС и оценки прочности фланца с дефектом в виде расслоения является актуальной задачей.

Объектом настоящих исследований является текстильный углепластиковый сегмент фланца кожуха авиационного двигателя с дефектом в виде расслоения. В настоящей работе представлены результаты расчетно-экспериментального исследования прочности композитного фланца с дефектом в виде расслоения.

На первом этапе исследования проводилась отработка методики, проведения механических испытаний. Для этого были рассмотрены различные габариты исследуемого объекта, схемы закрепления, а так же разработаны специализированные оснастки. Механические испытания исследуемых образцов проводились при комнатной температуре +22°C и с постоянной скоростью нагружения 5 мм/мин. В процессе испытаний регистрировалось усилие нагружения и перемещение захватов испытательной машины. Всего было испытано 5 образцов без дефектов и 5 с дефектом в виде расслоения. Для всех образцов получена диаграмма деформирования в осях «усилие-перемещение». Испытания исследуемых сегментов-фланца проводились для оценки его прочности и жесткости, а также для косвенной оценки механических свойств композиционного материала, при наличии дефекта в виде расслоения. Для всех образцов определен механизм потери несущей способности изделия, выявлены места локализации и ориентировочные размеры межслоевых трещин, возникающих при различных уровнях нагрузки. Для всех образцов трещины обнаружены в верхней угловой зоне сегмента внутренней поверхности в районе 5-7 слоя. Анализ полученных ре-

зультатов для образцов с дефектов выявил, что для образцы разрушается по типу расслоения в угловой зоне, без разрыва волокон слоев с сохранением несущей способности от максимальной нагрузки на уровне 86.11 %, для образцов без дефектов данное значение составило в районе 65 %.

На втором этапе работы проводилось численное моделирование испытаний образцов-сегментов с целью уточнения свойств материалов и прогнозирования прочности конструкции с дефектом в виде расслоения. Рассматривалась пространственная задача расчета напряженно-деформированного состояния образца-сегмента фланца. Для расчета НДС фланца использовалась трехмерная модель, построенная с помощью САД-систем Simens NX и FiberSIM. Дефект в виде расслоение задавался в центральной части перегиба слоев между 10 и 11 слоем, выполненный в форме окружности с радиусом 5 мм и толщиной 0,02 мм. Для разработанной модели сформулирована краевая задача теории упругости для неоднородного анизотропного тела с дефектами. Решение данной задачи осуществлялось методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Workbench с использованием высокопроизводительного вычислительного комплекса. По результатам численного моделирования механических испытаний образцов фланцев получены поля напряжений и деформаций в слоях и проведена оценка прочности конструкции по критерию максимальных напряжений для напряжений в слоях. Анализ полей напряжений показал, что при испытании образцов фланцев наиболее опасными, определяющими начало разрушения конструкции, являются нормальные растягивающие межслойные напряжения. Расчеты по разработанной модели показали, что разрушение конструкции произойдет при нагрузке 15,54 кН. Сравнение с результатами испытаний показал, что расчетное значение критической нагрузки начала расслоения на 10,41 % больше наблюдаемой в эксперименте.

Таким образом, математическое моделирование с использованием структурной феноменологической модели позволил определить жесткость конструкции, критическую нагрузку и область возникновения расслоений, фиксируемых в процессе проведения лабораторных испытаний. Получаемое отличие расчетных и экспериментальных данных может быть вызвано как ориентировочным значением предела прочности слоистого композита для межслойного отрыва, использованного при оценках запаса прочности конструкции, так и разбросом характеристик материалов, наблюдаемых в лабораторных испытаниях.

Исследование выполнено в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при поддержке Российского научного фонда (проект № 15-19-00259).

Список литературы

1. Аношкин А.Н., Ташкинов А.А., Грицевич А.М. Прогнозирование несущей способности композитных фланцев корпусных деталей авиадвигателей // Механика композитных материалов. – 1997. – Т.33, № 3. – С. 255-262. doi: 10.1007/s00158-010-0617-4
2. Numerical study of composite bulkhead partition strength with in-situ X-ray monitoring/A N Anoshkin, V Yu Zuiko, V M Osokin and P V Pisarev//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 156, Number 1 P. 354-362.
3. Моделирование технологических дефектов и оценка их влияния на статическую прочность композитных фланцев / Аношкин А.Н., Зуйко В.Ю., Осокин В.М., Третьяков А.А., Писарев П.В.// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2017. – № 1. – С. 5–21.