

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕФЕКТАМИ

Л. Н. РАБИНСКИЙ, М. И. МАРТИРОСОВ, Д. В. ДЕДОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Техническим заданием (ТЗ) современному среднемагистральному пассажирскому самолету, как правило, назначается проектный ресурс 60 тысяч полетов, 80 тысяч летных часов в пределах календарного срока службы 30 лет. В соответствии с ТЗ срок службы конструкции планера самолета (в том числе крыла и центроплана) до вероятного появления усталостных трещин должен составлять не менее половины проектного ресурса, т. е. быть не менее 30 тысяч полетов, или 40 тысяч летных часов.

В соответствии с требованиями действующих отечественных норм Авиационных правил АП-25 (Нормы летной годности самолетов транспортной категории) усталостная прочность, коррозионная стойкость, повреждения планера самолета должны быть таковы, чтобы при выполнении требований эксплуатационной технической документации аварийная или катастрофическая ситуация из-за усталости, коррозии, производственных (технологических) дефектов или случайных повреждений была бы практически невероятным событием в течение всего времени эксплуатации самолета (под практически невероятным событием принимается событие с вероятностью возникновения менее 10^{-9} за один летный час).

Элементы конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяемые в современном гражданском авиационном строении, должны иметь такой же уровень безопасности по условиям прочности, жесткости и устойчивости, что и элементы конструкций из традиционных металлических конструкционных материалов.

Основная задача, которая ставится при создании композита – совместить в одном материале несколько других, которые будут компенсировать недостатки друг друга. В результате получается новый материал, обладающий более высокими характеристиками, чем его компоненты по отдельности. Можно сказать, что композит – это материал, получаемый совмещением химически разнородных компонентов с четко выраженной поверхностью раздела. Основными факторами, определяющими безопасность, а также эффективность элементов конструкций из ПКМ, являются:

- нагружение за весь срок эксплуатации;
- производственные дефекты, например, технологического характера и механические повреждения, например, ударного действия;
- характеристики прочности, деформативности, трещиностойкости и длительной прочности самого ПКМ (на уровне материала) и элементов конструкций из него при действии широкого спектра нагрузок;
- способы неразрушающего контроля состояния готового изделия;
- ремонтпригодность;
- другие факторы.

Как отрицательный фактор, влияющий на практическое использование ПКМ в авиационном строении, следует отметить, что при производстве и эксплуатации элементов конструкции из таких материалов могут возникать дефекты различной природы, которые оказывают значительное влияние на механические характеристики и прочность.

Среди дефектов часто встречаются межслоевые дефекты типа расслоений. Под расслоением понимается нарушение адгезионной связи между монослоями в композитном пакете, вызванное механическими воздействиями, например, ударного характера или внутренними напряжениями в изделии после формования или проведения сборочно-монтажных работ.

В работе проводится численное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) трехслойных элементов конструкций под действием динамических нагрузок различного характера.

Рассматриваются плоские и цилиндрические панели, а также цилиндрические оболочки круговой формы. Данные трехслойные элементы конструкции состоят из двух тонких прочных внешних слоев – обшивок, выполненных из ПКМ, и слоя сотового заполнителя, разделяющего внешние слои. В различных местах изучаемых элементов конструкции между монослоями из ПКМ и между монослоем и заполнителем могут присутствовать множественные дефекты произвольной формы,

размеров и расположения. В частных случаях рассматриваются дефекты эллиптической, круговой и прямоугольной форм.

В качестве материалов монослоев обшивок рассматриваются клеевые препреги следующих марок: стеклоткани КМКС-2м.120.Т10, КМКС-2м.120.Т60, КМКС-2м.120.Т64; углеленты КМКУ-2м.120.Р-2009 и КМКУ-2м.120.Р-4510. Число монослоев и схемы укладок варьируются. В качестве сотовых заполнителей используются полимеросотопласты марок ПСП-1 и ПСП-1К (на основе полимерной бумаги типа «Номекс» и «Кевлар», пропитанных фенольной смолой) и стекло-сотопласты марки ССП-1 (на основе электроизоляционной ткани ЭЗ-100П, бакелитового лака ЛБС-1 и клея БФ-2). Форма ячеек сот – гексагональная. Исследуются следующие сотовые заполнители: ПСП-1-2,0-48, ПСП-1-2,0-64, ПСП-1-2,0-96, ПСП-1-2,0-144, ПСП-1К-2,0-48, ПСП-1К-2,0-64, ПСП-1К-2,0-96, ПСП-1К-2,0-144; ССП-1-2,5, ССП-1-3,5.

В работе анализируются следующие типы воздействий: нестационарные поля давлений, распределенные по различным законам; удар абсолютно жестким бойком полусферической формы; удар множественными и одиночными фрагментами из армированной резины, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда (разрыв покрышки колеса шасси самолета при движении по взлетно-посадочной полосе аэродрома в условиях взлета или посадки); воздействие от набегающей волны давления заданной интенсивности, имитирующей действие потока струи двигателя пассажирского самолета на панель корневого закрылка, являющуюся трехслойной, а также другие динамические воздействия различного характера.

Задача решается численно методом конечных элементов (МКЭ). Создание конечно-элементной сетки осуществляется в программном комплексе Simcenter Femap. Каждый монослой моделируется отдельным набором конечных элементов (КЭ). Затем модель импортируется в программный комплекс LS-DYNA (Livermore Software Technology Corp.), где задаются нагрузка и граничные условия.

В результате проведенного численного исследования определяется распределение полей напряжений и деформаций в монослоях элементов конструкции в различные моменты времени. Вычисляется распределение индекса разрушения по различным критериям разрушения применительно к ПКМ.

Расчет проводится по критериям Puck, Hashin, Chang-Chang, Puppo-Evensen, Hoffman, LaRC (Langley Research Center). Считается, что разрушение наступает, когда индекс разрушения становится равным единице.

Приводится сравнение полученных результатов для панелей и оболочек с различными вариантами исполнения сотового заполнителя и обшивок, а также сравнение результатов для рассмотренных элементов конструкций с дефектами и без них. Проводится параметрический анализ.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-49-00133, выданного Московскому авиационному институту.

Список литературы

- 1 Исследование динамики композитных цилиндрических панелей с сотовым заполнителем с внутренними повреждениями под действием струи авиационного двигателя / Л. Н. Рабинский [и др.] // Станки. Инструмент. – 2024. – № 4. – С. 30–33.
- 2 Поведение трёхслойных панелей с сотовым заполнителем из полимеросотопластов повышенной плотности с внутренними дефектами при действии реактивной струи двигателя / Л. Н. Рабинский [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 3. – С. 298–303.
- 3 Численное исследование влияния внутренних дефектов на напряженно-деформированное состояние трехслойной панели с различными типами сотового заполнителя / Д. В. Дедова [и др.] // Станки. Инструмент. – 2023. – № 10. – С. 27–30.

УДК 539.3

О ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ ТЕЛ

Н. Б. РУЗИЕВА, А. АБДУСАТТАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Известно, что в линейной теории упругости анизотропных тел связь между тензором напряжений и деформаций имеет следующий вид и называется обобщенным законом Гука [1, 2]: