

прега HexPly 8552/34%/UD134/AS4-12K (углеродная лента AS4 на основе углеродного волокна NewTow AS4-12K и эпоксидное модифицированное связующее 8552). В гражданской авиации из данного препрега могут изготавливаться средне- и слабонагруженные детали конструкционного назначения по автоклавной технологии: элементы механизации крыла и хвостового оперения; обтекатели закрылков; створки шасси; крышки люков центроплана и консоли крыла; обтекатели пилонов навески двигателя. Производитель – фирма Hexcel Composites (США).

Полученные численные результаты удовлетворительно совпадают с некоторыми имеющимися экспериментальными данными других авторов.

Предложенная методика численного моделирования поведения композитных пластин с учётом произвольно расположенных множественных межслоевых повреждений под действием статических и динамических нагрузок различного характера может быть использована при проектировании элементов конструкций из ПКМ для авиационной техники.

УДК 539.3

РАССЛОЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

А. Л. МЕДВЕДСКИЙ

*Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского,
г. Жуковский, Российская Федерация*

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

А. В. ХОМЧЕНКО

ПАО «Корпорация «Иркут», г. Москва, Российская Федерация

Постоянное совершенствование конструкционных материалов является приоритетной задачей любой отрасли транспортного машиностроения. К таким материалам относятся полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые обладают рядом преимуществ: высокими жёсткостными и прочностными характеристиками, низкой удельной массой, высоким сопротивлением распространению трещин. В изделиях из ПКМ имеют место и недостатки: внутренние дефекты, которые могут возникать на различных этапах производства и эксплуатации. Дефекты, как правило, сопровождаются растрескиванием матрицы и разрушением волокон, что оказывает влияние на прочностные характеристики изделия.

В настоящей работе представлены результаты исследований динамики различных элементов конструкций с внутренними дефектами эллиптической формы типа расслоений под действием нестационарных нагрузок. Элементы конструкций выполнены из углепластиков на основе препрегов HexPly M21/34%/UD194/IMA (углелента с толщиной монослоя 0,19 мм) и HexPly M21/40%/285T2/AS4C (углеткань с толщиной монослоя 0,285 мм), предназначенных для производства изделий по автоклавной технологии. Упругие и прочностные характеристики известны, и получены экспериментально на образцах по европейским стандартам EN для режима RTD (Room Temperature Dry: нормальная температура +23 °С и влажность – в состоянии поставки; состояние поставки образцов – состояние, в котором находятся образцы сразу после изготовления, содержание влаги в которых не превышает 10 % от максимального влагонасыщения при относительной влажности 85 %).

Рассматриваемые элементы конструкций:

1 Прямоугольная пластина длиной $a = 400$ мм, шириной $b = 200$ мм со следующей схемой укладки: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$. Между слоями № 1–2, № 2–3 и т. д. до № 6–7 расположены дефекты (расслоения) в форме эллипса с осями 46 и 26 мм. Здесь и далее рассматриваются дефекты, расположенные один под другим. В качестве внешнего воздействия рассматривается поле равномерного давления, распределённого на поверхности пластины и изменяющегося по следующему закону: $P(t) = p_0H(t)$, где $p_0 = 1,5$ МПа, $H(t)$ – функция Хэвисайда.

2 Гладкая пологая панель с укладкой: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$. Длина панели $a = 340$ мм, ширина $b = 140$ мм, стрела подъёма $c = 4,9$ мм (наибольшее возвышение срединной поверхности незамкнутой оболочки над плоскостью опорного контура). Дефекты эллиптической формы с осями 34 и 24 мм расположены между всеми слоями. Рассматривается поле давления, действующее по закону: $p(\varphi, t) = p_0 \cos^2 \varphi H(t) H\left(\frac{\pi}{2} - |\varphi|\right)$, где $p_0 = 1$ МПа, изменение угловой координаты φ происходит вдоль короткой кромки панели. Поле давления распределено по внешней поверхности панели.

3 Подкреплённая пологая цилиндрическая панель. Схема укладки: $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$. В качестве подкрепляющих элементов используются стрингеры Т-образного сечения (высота стенки 37 мм, суммарная ширина полок 61 мм). Длина панели $a = 750$ мм, ширина $b = 490$ мм, стрела подъёма $c = 7,38$ мм. Дефекты расположены в обшивке в межстрингерной зоне (с осями 36 и 26 мм). В качестве нагрузки рассматривается взрывное воздействие (в соответствии с моделью Kingery-Bulmash) с энергией взрыва $E = 209,2$ кДж и волной сферической формы. Эпицентр взрыва расположен на расстоянии 500 мм от внешней поверхности панели.

4 Цилиндрическая гладкая оболочка со следующей схемой укладки: $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s$. Длина оболочки $L = 800$ мм, радиус $R = 200$ мм. На оболочку действуют взрывная волна сферической формы с энергией взрыва $E = 418,4$ кДж. Эпицентр взрыва расположен на расстоянии 900 мм от внешней поверхности оболочки.

Задачи решаются численно с помощью программного комплекса LS-DYNA (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL). Каждый монослой моделируется отдельным набором конечных элементов (КЭ). Формулировка КЭ: «16: Fully integrated shell element», свойство – «COMPOSITE». Слои КЭ соединены между собой с помощью клеявого контакта: «AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_TIEBREAK». Зоны дефектов взаимодействуют посредством контакта «AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE».

В результате решения определяются поля перемещений, напряжений и деформаций в слоях элементов конструкций в различные моменты времени. Для задач, в которых рассматривается действие взрывной волны определяется картина поля давления, действующего на внешнюю поверхность элемента конструкции, а также графики зависимости давления в характерных точках в различные моменты времени. На основе полей напряжений и деформаций определяются коэффициенты запаса прочности с помощью различных критериев разрушения для композитов (Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC), позволяющих оценивать разрушения матрицы и волокна отдельно друг от друга. Оценивается влияние расслоений на прочность рассматриваемых элементов конструкций путём сравнения распределения коэффициентов запаса прочности по рассматриваемым критериям разрушения и прогибов в различные моменты времени для случаев наличия и отсутствия дефектов между слоями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-08-01153 А).

УДК 539.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК СОГЛАСНО РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРИЙ

В. Ф. МЕЙШ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Ю. А. МЕЙШ

Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

В. Ф. КОРНИЕНКО

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

В работе представлены результаты расчетов динамического поведения трехслойных сферических оболочек согласно нескольких прикладных теорий: теории трехслойных сферических оболочек с привлечением независимых гипотез к каждому слою [1], теории оболочек с привлечением единых гипотез ко всему пакету слоев (модель С. П. Тимошенко и модель Кирхгофа – Лява).