

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА С МНОЖЕСТВЕННЫМИ ПРОИЗВОЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

А. В. ХОМЧЕНКО

ООО «АУРУС-АЭРО», г. Москва, Российская Федерация

Введение. Опыт создания и эксплуатации современной техники показывает, что внутренние дефекты в элементах конструкций из композитов оказывают существенное влияние на прочность и несущую способность конструкции в целом. Анализ опубликованных материалов говорит о том, что в настоящее время практически не рассматривается влияние внутренних дефектов на поведение элементов конструкций при действии динамических нагрузок различного характера, например, действие нестационарных полей давления, кратковременных ударных нагрузок и т. д. Таким образом, актуальной является задача разработки численно-экспериментальной методики оценки влияния внутренних дефектов на поведение элементов конструкций, изготовленных из слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) при действии динамических нагрузок различного характера.

Целью исследования является разработка методики моделирования и численного расчета тонкостенных элементов конструкций (подкрепленная цилиндрическая оболочка, панель, пластина), выполненных из слоистых ПКМ (в частности, из конструкционных углепластиков), при наличии внутренних дефектов типа расслоений при действии динамических нагрузок различной природы.

На рисунке 1 представлен общий случай нагружения круговой цилиндрической подкрепленной оболочки, изготовленной из ПКМ. Нагрузки включают в себя стационарные и нестационарные поля давлений, взрывную сферическую волну, ударные нагрузки, возникающие при соударении конструкции с ударниками различной формы (прямоугольный параллелепипед, полусфера, шар) и изготовленных из различных материалов (сталь, резина, лед). Как частные случаи подкрепленной цилиндрической оболочки рассмотрены панели с подкреплениями и без них и пластины.

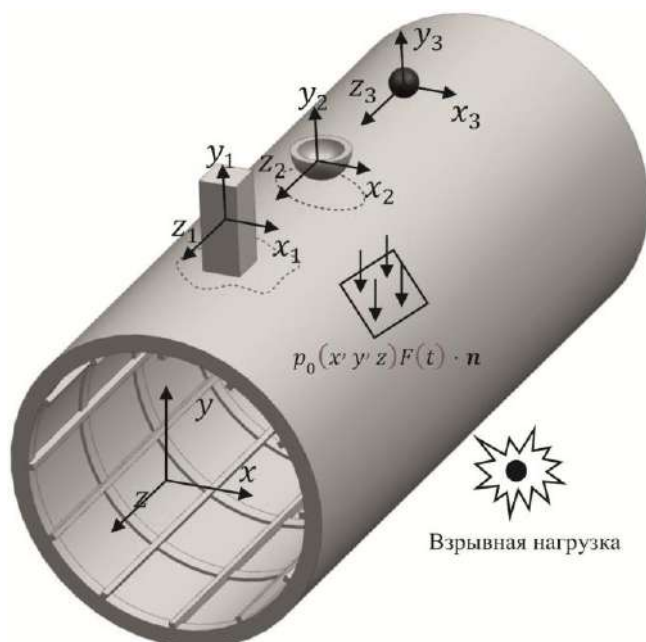


Рисунок 1 – Общий случай нагружения

В качестве дефектов в работе рассмотрены межслоевые расслоения, имеющие достаточно произвольную форму, граница которых может быть линейно аппроксимирована. В частных случаях дефекты имеют круговую и эллиптическую форму (рисунок 2). Расслоения могут быть расположены как между монослоями обшивки (в произвольном порядке), так и между подкрепляющими элементами и обшивкой. Схема укладки монослоев элементов конструкций – смешанная с использованием укладок 0° , $\pm 45^\circ$, 90° , число монослоев в композитном пакете варьируется. Предполагается, что подкрепляющие элементы (стрингеры, шпангоуты) также могут быть изготовлены из углепластиков на основе препрегов из углеленты HexPly

M21/34%/UD194/IMA и углеткани HexPly M21/40%/285T2/AS4C и углепластиковых препрегов других марок отечественных и зарубежных производителей.

В результате решения определяются поля перемещений, напряжений и деформаций в слоях элементов конструкций в различные моменты времени. Вычисляется распределение поля давления, действующего на внешнюю поверхность рассматриваемых элементов конструкций при взрывном воздействии, представлены графики зависимости давления от времени в характерных точках. Оценивается влияние повреждений на прочность по критериям разрушения для ПКМ: Hoffman, DeAlia, Puro-Evensen, Norris, Norris and McKinnon, Fischer, Tsai-Hill, Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC (Langley Research Center). В случае действия ударной нагрузки определяется изменение площади расслоения между монослоями обшивки и между стрингером и обшивкой, а также изменение контактной силы и отклика конструкции.

Заключение. Решен новый класс задач динамического поведения элементов тонкостенных конструкций, изготовленных из слоистых ПКМ, при наличии множественных внутренних дефектов типа расслоений произвольной формы, размеров и расположений.

В рамках решения рассмотренной задачи разработана программа для автоматизированного создания конечно-элементных моделей (КЭМ) оболочек, панелей, пластин при наличии дефектов.

Разработана методика решения задач стационарного и нестационарного воздействия на тонкостенные слоистые элементы конструкций канонической формы, имеющие межслоевые дефекты.

Решены задачи о нестационарном воздействии абсолютно жестких и гиперупругих ударников на слоистые пластины, панели и круговые цилиндрические оболочки при наличии дефектов. Показано, что учет деградации адгезионной связи между слоями при наличии дефектов может приводить к росту дефектов вплоть до критических значений.

Проведена валидация методов по результатам эксперимента на примере удара стальным бойком с энергиями удара 90 и 136 Дж по подкрепленной панели. Показано, что относительная разница максимальной площади расслоения не превышает 11 %.

Список литературы

- 1 Assessment of the strength of a composite package with internal defects according to various failures criteria under the influence of unsteady load / A. L. Medvedskiy, M. I. Martirosov, A. V. Khomchenko, D. V. Dedova // Periodico Tche Quimica. – 2020. – Vol. 17, № 35. – P. 1218–1230.
- 2 Медведский, А. Л. Поведение полой композитной четырёхстрингерной панели с внутренними повреждениями при нестационарном воздействии / А. Л. Медведский, М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Учёные записки ЦАГИ. – 2020. – Т. LI (№ 2). – С. 47–56.
- 3 Медведский, А. Л. Поведение слоистых элементов конструкций из полимерного композита с внутренними дефектами при нестационарных воздействиях / А. Л. Медведский, М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 259–268.
- 4 Медведский, А. Л. Механика деформирования и разрушения полимерных композитов при наличии множественных расслоений произвольной формы под действием динамических нагрузок / А. Л. Медведский, М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Труды МАИ. – 2022. – № 124. – С. 1–40.
- 5 Мартиросов, М. И. Расчетно-экспериментальное исследование поведения плоской подкрепленной панели из углепластика при ударе / М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Труды МАИ. – 2022. – № 126. – С. 1–20.

УДК 621.793+621.762.55

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТЕПЕНЬ СПЕКАЕМОСТИ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ В СИСТЕМЕ $\text{MoSi}_2\text{-HfSi}_2\text{-HfB}_2$

А. И. МАТУЛЯК, А. Н. АСТАПОВ, А. А. ДИДЕНКО, Н. С. ОКорокова
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Данная работа является продолжением исследований [1, 2], направленных на создание жаростойких покрытий для обеспечения работоспособности материалов на основе углерода при эксплуатации в кислородосодержащих средах и высоких температурах.

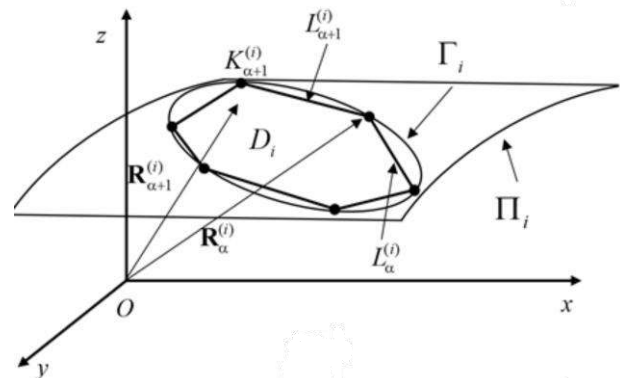


Рисунок 2 – Геометрия дефекта произвольной формы