

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 Tcheco 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.

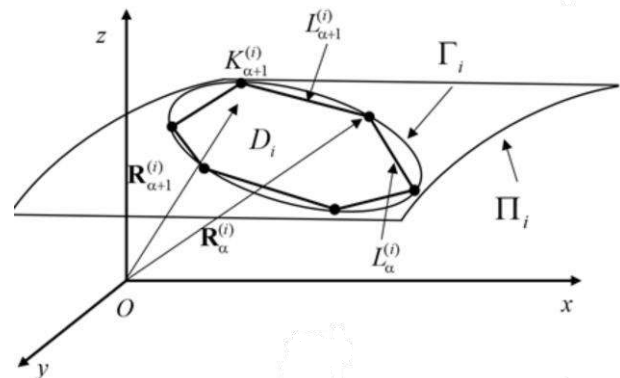


Рисунок 2 – Геометрия дефекта произвольной формы

Ранее нами исследовано влияние доли промежуточной жидкой фазы на степень спекаемости покрытий, формируемых методом шликерно-обжигового наплавления из порошковых композиций в системе $\text{MoSi}_2\text{-HfSi}_2\text{-HfB}_2$ [3]. Порошки смешивали с раствором коллоксилина в амилацетате и диэтилоксалате в объемном соотношении 1:1. Полученные шликерные суспензии наносили на образцы кистью, после чего сушили на воздухе при температуре 70 °С в течение 30 мин. Режим термической обработки состоял из нагрева до 1200 °С в вакууме (8–9 мПа), затем до 1620 °С со скоростью 20 °С/мин в токе аргона при остаточном давлении ~100 Па, изотермы – 20 мин и последующего медленного охлаждения (20 °С/мин) с переходом к вакууму при 1200 °С. После структурно-фазовых исследований полученный покрытий установлено, что при росте доли HfSi_2 во время спекания обеспечивается увеличение объема жидкого расплава $(\text{Hf-Si})_{(l)}$ в системе, который способствует уплотнению формируемого слоя, но не обеспечивает достаточной сплошности структуры. Основной причиной пористости является значительное испарение кремния во время термической обработки вследствие высокой упругости пара. Последнее обусловлено значительной температурой термообработки, продолжительной выдержкой, медленным охлаждением и низким давлением в камере. Поэтому целью данного исследования является изучение влияния режима термической обработки на степень спекаемости формируемых покрытий.

В настоящей работе из порошковой композиции с соотношением фаз $\text{MoSi}_2\text{:HfSi}_2\text{:HfB}_2 = 15\text{:55}\text{:30}$ об. % получали покрытие тем же методом. При этом режим термической обработки включал нагрев до 1200 °С в вакууме (8–9 мПа), затем до 1620 °С со скоростью 60 °С/мин в токе аргона при остаточном давлении ~100 Па, изотерму – 2 мин и последующее быстрое охлаждение (~163 °С/мин) с переходом к вакууму при 1200 °С.

По результатам структурно-фазовых исследований сформированное покрытие представлено низкопористым слоем, состоящим из MoSi_2 , HfB_2 , HfSi_2 , HfC , Si и SiC (следы). Наличие фазы HfSi_2 в покрытии подтверждает, что изменение режима термообработки способствовало уменьшению испарения кремния и формированию более плотного слоя, чем при предыдущем режиме [3].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00818, <https://rscf.ru/project/25-19-00818/>.

Список литературы

- 1 Получение покрытия на C/C-SiC композите из порошковой композиции Mo-HfSi₂-SiB₄ методом реакционного синтеза in situ / А. Н. Астапов, Е. С. Белокопытова, А. И. Матуляк [и др.] // *Электрометаллургия*. – 2024. – № 2. – С. 2–12.
- 2 Получение покрытий на основе системы MoSi₂-HfB₂ на УККМ из порошковых композиций MoSi₂-HfB₂-Si, MoSi₂-HfSi₂-SiB₄ и MoSi₂-HfB₂-HfSi₂-SiB₄ / А. И. Матуляк, А. Н. Астапов, В. А. Погодин, А. Н. Тарасова // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества : в 2 ч., Гомель, 21–22 ноября 2024 г. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко*. – Гомель : БелГУТ, 2024. – Ч. 2. – С. 174–175.
- 3 Влияние доли промежуточной жидкой фазы на спекаемость покрытий на УККМ из порошковых композиций в системе MoSi₂-HfSi₂-HfB₂ / А. Н. Астапов, А. А. Диденко, А. И. Матуляк, В. С. Терентьева // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред им. А. Г. Горшкова : материалы XXXI Междунар. симпозиума*. – г. Кремёнки, санаторий «Вятчи», 19–23 мая 2025 г. – Т. 1. – М. : ООО «ТРП», 2025. – С. 15–17.

УДК 539.375

ОПТИМАЛЬНАЯ ФОРМА ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ СТРИНГЕРНОЙ ПЛАСТИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРЕЩИНОЙ

М. В. МИР-САЛИМ-ЗАДЕ

Институт математики и механики, г. Баку, Азербайджан

Рассмотрена задача об отыскании оптимальной формы отверстия для стрингерной пластины, ослабленной прямолинейной трещиной. Трещина исходит из контура отверстия. Предполагается, что при оптимальном контуре отверстия трещина остается неподвижной, а максимальное окружное напряжение является минимальным.