

Моделирование пропитки трехмерно армированных углерод-углеродных композиционных материалов

Научный руководитель – Хохлов Андрей Владимирович

Шараборин Евгений Львович

Аспирант

Сколковский институт науки и технологий, Информационные технологии, Москва,
Россия

E-mail: evgenii.sharaborin@skoltech.ru

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) обладают высокими удельными механическими и физическими характеристиками и уникальной термостойкостью и поэтому широко применяются для изготовления теплозащитных покрытий аппаратов, сопел и внутренних стенок ракетных двигателей, тормозных дисков для самолетов, электродов и других изделий [1-4]. Объемно-армированные УУКМ, как правило, изготавливаются по многоэтапным технологиям пропитки каркасов из высокомодульных углеродных волокон (уложенных в определенном порядке стержней диаметром 0.1-0.8 мм) жидким каменноугольным пеком или термореактивной смолой с последующим нагревом до высоких температур с целью карбонизации и графитации. По типу армирования различают однонаправленные, двумерно-армированные и объемно-армированные УУКМ (типов 3-D, 4-DL, N-DL). С увеличением числа направлений укладки волокон анизотропия свойств материала становится все менее выраженной и, как правило, улучшаются прочностные характеристики. Механические и физические свойства УУКМ существенно зависят от особенностей технологии пропитки и высокотемпературной обработки, от условий (в частности, температуры и давления) проведения карбонизации и графитации. Объемно-армированные УУКМ обладают повышенной сопротивляемостью сдвигу, расслаиванию, ударным нагрузкам [1-4].

Одной из важных проблем в проектировании, производстве и моделировании свойств КМ является образование пористости в процессе изготовления КМ, которая, как правило, ухудшает как физические, так и механические характеристики КМ. Эти поры становятся концентраторами напряжений и, в конечном итоге, могут привести к образованию и росту трещин и разрушению материала.

Для моделирования затекания смолы или пека (т.е. вязкой жидкости с пузырьками газа) в каркас и изучения механизмов образования пор (вследствие взаимодействия пузырьков газа и захвата дополнительного газа из-за особенностей геометрии каркаса и течения) на первом этапе пропитки УУКМ и способов управления процессом формирования пористости разрабатывается программный комплекс на основе открытого кода «Basilisk». Этот код позволяет производить параллельные вычисления на адаптивных сетках, основанных на вейвлетном анализе [5]. Адаптивные сетки идеально подходят для задач моделирования многофазных течений, которые сопровождаются большими скачками свойств среды (плотность, вязкость) и других физических величин (скорость, давление и т.п.). Для решения таких задач неэффективны методы с фиксированной сеткой. Необходимо измельчать сетку вблизи поверхностей раздела фаз (жидкость, газ, твердое тело), чтобы получить более точное решение и разрешать микромасштабы, а в области с гладким решением применять более грубую сетку для экономного использования ресурсов. Возможности кода «Basilisk» ограничены: моделирование либо только двухфазного течения (жидкость-жидкость), либо однофазного течения с твердыми телами. Был разработан новый модуль для

описания каркасов с произвольной геометрией методом погруженных границ (методом пенализации Бринкмана), который позволяет моделировать трехфазные системы. Получены тестовые результаты расчета многофазного течения с учетом термореактивных процессов сквозь армирующие каркасы.

Источники и литература

- 1) Портной К.И., Салибеков С.Е., Светлов И.Л., Чубаров В.М. Структура и свойства композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
- 2) Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990, 512 с.
- 3) Бушуев Ю. Г., Персин М. И., Соколов В. А. Углерод-углеродные композиционные материалы. Справочник. М.: Металлургия, 1994. 126 с.
- 4) Богомолов П. И., Козлов И. А., Бируля М. А. Обзор современных технологий изготовления объемно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов //Технико-технологические проблемы сервиса. – 2017. – №. 1 (39).
- 5) basilisk.fr // сайт открытого программного обеспечения «Basilisk»