

Список литературы

- 1 Головнич, А. К. Расчет основных параметров устройств на станции : учеб.-метод. пособие / А. К. Головнич, С. П. Новиков. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 70 с.
- 2 Новиков, С. П. Оптимизация формы петли для разворота вагонов / С. П. Новиков, А. К. Головнич, П. И. Капитанов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч. конф., посвящ. году науки. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 204–205.
- 3 Капитанов, П. И. Пример расчета длины петли для разворота вагонов / П. И. Капитанов // Сб. студенческих науч. работ. Вып. 23 / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 19–22.

УДК 539.319

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ, СОЗДАНЫХ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. А. ОРЕХОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Одной из важнейших проблем, связанных с исследованием напряженно-деформированного состояния тел, созданных методами аддитивных технологий, является многомасштабность разрабатываемых моделей (макро-, мезо- и микромоделей). Численная реализация таких моделей связана с необходимостью решения задач больших размерностей. Для решения этой проблемы предлагается методика замены процесса численного моделирования нанесения слоя аналитическим решением в виде функции влияния и использования эйлерова формализма для моделирования роста тела. Такой подход позволяет для конечно-элементного моделирования избежать сильного измельчения сеток в зоне роста, а использование эйлеровых сеток – снизить рост размерности задачи с течением времени. Данный подход сравнивался с полным процессом моделирования роста тел и показал хорошую сходимость.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90142.

УДК 621.45.018

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕР-КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В. А. ПОГОДИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ, С. А. СИТНИКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В рамках экспериментальной работы по изучению возможности использования композиционного материала системы кремнийорганический эластомер – керамика проведены испытания ГРК ламельной и наполненной конструкций [1]. Ламельные конструкции ГРК являются наиболее близким аналогом уже существующих керамических ГРК, в которых кремнийорганические соединения выступают не только в качестве клеевой композиции, соединяющей керамические ламели, обеспечивая, таким образом, геометрию конструкции, но и в роли слоя – демпфера температурных и механических (возникающих при вибрации) напряжений одновременно

В одном из наиболее перспективных ЭРД – высокочастотном ионном двигателе (ВЧИД) образование плазмы рабочего газа происходит под воздействием высокочастотного электромагнитного поля внутри тонкостенной чаши керамической газоразрядной камеры (ГРК). Увеличение мощности и КПД ВЧИД приводит к увеличению диаметра ГРК до значения 500 мм, при сохранении толщины стенки 4–5 мм. Увеличение диаметра ГРК ВЧИД и высокие требования к диэлектрическим свойствам материалов для изготовления приводит к непреодолимым технологическим сложностям при производстве. Экспериментальные образцы ГРК из алюмооксидной керамики и композита на основе нитрида кремния для ВЧИД с диаметром камеры порядка 160 мм [2] обладают оптимальными эксплуатационными свойствами: высокой проницаемостью к электромагнитному полю в мегагерцовом диапазоне частот, удвоительной механической прочностью к вибрации и высокой эрозионной стойкостью к ионно-плазменному воздействию низкотемпературной плазмы разряда. Увеличение диаметра ГРК выше

160 мм затруднительно в рамках технологии изготовления керамических изделий. Наряду с трудностями изготовления непреодолимой проблемой ГРК из оксидной керамики является низкая стойкость к вибрационным нагрузкам тонкостенных керамических изделий, которые возникают при выводе КА на околоземную орбиту. Особенностью таких композиционных материалов являются их высокие диэлектрические свойства и феноменальная стойкость к вибрации. К существенным недостаткам следует отнести узкий (по сравнению с керамикой) интервал рабочих температур (до +300 °С).

Наполненные конструкции ГРК представляют собой композиционный материал, в качестве матрицы которого возможно применение силиконовых эластомеров, а в качестве дисперсионного наполнителя – ультрадисперсные порошки, такие как порошки оксидов алюминия, бериллия, кремния или нитридов бора, кремния и т.д.

Работа выполнена в Московском авиационном институте при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-29-18083/18).

Список литературы

- 1 Rabinsky, L. N. Development of technologies for obtaining composite material based on silicone binder for its further use in space electric rocket engines / L. N. Rabinsky, S. A. Sitnikov // *Periodico Tche Quimica*. – 2018. – Vol. 15 (Special Issue 1). – P. 390–395.
- 2 Ситников, С. А. Разработка стойких к ионной эрозии материалов на основе нитрида кремния для разрядных камер электроракетных двигателей / С. А. Ситников : дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05. – М. : Московский авиационный институт (НИУ), 2017. – 103 с.

УДК 629.7.036.7

РАЗРАБОТКА АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОЛИМЕР-КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

В. А. ПОГОДИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ, С. А. СИТНИКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Электрические ракетные двигатели (ЭРД) используются в космической технике для стабилизации и коррекции орбит геостационарных спутников [1–3]. Существует большой задел по применению ЭРД в качестве маршевых двигателей для межпланетных автоматических и пилотируемых аппаратов. Работа ЭРД основана на образовании плазмы рабочего газа и последующим ускорении её компонентов с помощью электрического поля. Высокий необходимый ресурс (более 10000 часов) в сочетании с большим количеством циклов включения – выключение генерирует множество конструкторских и технологических проблем при разработке и производстве этого устройства. Например, в таком ЭРД, как высокочастотный ионный двигатель (ВЧИД) образование плазмы рабочего газа происходит под воздействием высокочастотного электромагнитного поля внутри тонкостенной чаши керамической газоразрядной камеры (ГРК) [4, 5]. Увеличение КПД, а также мощности ВЧИД приводит к увеличению диаметра ГРК до значения 500 мм, при сохранении толщины стенки 4–5 мм. Рост диаметра ГРК ВЧИД и высокие требования к диэлектрическим свойствам материалов для изготовления ГРК приводит к ряду непреодолимых технологических сложностей при их производстве. На сегодняшний день изготавливаются экспериментальные образцы ГРК из алюмооксидной и композитной керамики на основе нитрида кремния для ВЧИД с диаметром камеры порядка 160 мм [6–11]. Эти ГРК обладают высокими эксплуатационными характеристиками: проницаемостью в электромагнитном поле (мегагерцовом диапазоне частот), механической прочностью к вибрации, эрозионной стойкостью к ионно-плазменному воздействию низкотемпературной плазмы разряда. Дальнейшее увеличение диаметра ГРК выше 160 мм затруднительно в рамках современных технологий изготовления керамических изделий. Наряду с трудностями изготовления непреодолимой проблемой ГРК из керамики является низкая стойкость этого материала к вибрационным нагрузкам. Тонкостенные керамические изделия, которыми являются ГРК, подвергаются достаточно высоким значениям знакопеременных механических нагрузок при выводе космического аппарата на околоземную орбиту. Решением этой проблемы может стать переход на композиционные материалы, более устойчивые к вибрации. В качестве материала матрицы для такого композиционного материала авторами предложены кремнийорганические полимерные связующие.