

ОТЗЫВ

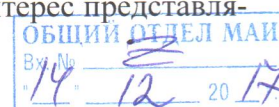
на автореферат диссертации Ситникова Сергея Анатольевича
«Разработка стойких к ионной эрозии материалов на основе нитрида кремния для разрядных камер электроракетных двигателей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа Ситникова С.А. посвящена разработке и исследованию перспективных для применения в ракетно-космической отрасли керамических композиционных материалов на основе Si_3N_4 и аппаратно-технологических решений для получения из них деталей, элементов и узлов, в том числе, разрядных камер электроракетных двигателей (ЭРД). Одновременное действие механических нагрузок, температурных полей, глубокого вакуума, ионно-плазменных потоков зачастую приводят к преждевременному выходу из строя керамических деталей по причине частичного или полного их разрушения. По состоянию на 2017 г. накопленный мировой опыт эксплуатации керамических материалов в указанных условиях не формирует законченную методологию в данной области исследования. К тому же, применяемые в настоящее время материалы и технологии их получения оказываются малоэффективными с позиции больших временных затрат и финансовых вложений, особенно при необходимости модификации структурно-фазового состояния имеющихся материалов для корректировки их функциональных и эксплуатационных свойств. В связи с этим актуальность выполненной автором разработка керамических материалов обеспечивает быстрое получения функциональных прототипов деталей ЭРД, стойких к ионно-плазменной эрозии не вызывает сомнения. Из автореферата следует, что сформулированные в диссертационной работе задачи успешно решены.

Научную значимость имеют результаты исследований, посвященных, прежде всего:

- разработке теоретико-прикладных основ подхода к изготовлению разрядных камер ЭРД и других деталей из керамических материалов, опирающегося на технологию реакционного спекания в среде азота предварительно отформованных заготовок. Существенным является то, что получение заготовок осуществляется с применением одного из метода трехмерного моделирования (FDM или Binder Jetting), впервые в мировой практике используемых для изготовления изделий на основе Si_3N_4 , или классическим методом горячего литья;
- установлению закономерностей процесса ионно-плазменного распыления созданных новых керамических материалов в условиях бомбардировки ионами Ar^+ и Xe^+ .

Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Особый интерес представля-



ет разработанный автором замкнутый комплекс аппаратно-технологических решений, позволяющий получать различные по сложности геометрического облика керамические изделия на основе Si_3N_4 с введением в них требуемого количества неорганических наполнителей (BN , Al_2O_3 , SiC и др.). При непосредственном участии автора спроектированы, изготовлены и апробированы опытная установка для получения заготовок методом послойного наплавления (FDM), установка для получения заготовок методом послойного впрыска связующего (Binder Jetting), технологический участок по получению заготовок методом шликерного литья. Отработан метод реакционного спекания нитрида кремния для синтеза нитридных керамических материалов. Результаты проведенных исследований электрофизических, механических свойств и стойкости к ионно-плазменному распылению разработанных материалов, а затем и эксплуатационных свойств изделий ЭРД, полученных из них, подтвердили высокую перспективность использования представленных технических решений для двигателей космических аппаратов и других теплонапряженных элементов высокотемпературной техники. Результаты по распыляемости керамик расширяют границы знаний в предметной области и могут быть использованы в дальнейшем для обеспечения работ по созданию ряда стационарно-плазменных двигателей, высокочастотных ионно-плазменных двигателей, а также в рамках других проектов, требующих решения схожих проблем.

В качестве замечаний следует обратить внимание на следующее:

- 1) Детали из предлагаемого материала на основе нитрида кремния обладают высокой пористостью (до 18%), что при использовании их в опытных прототипах ЭРД потребует дополнительного времени предварительного нагрева при вакуумировании для дегазации перед проведением экспериментов.
- 2) Отсутствует четкий алгоритм обоснования выбора метода формовки заготовок из поликристаллического кремния перед реакционным спеканием в зависимости от размеров и назначения керамических деталей ЭРД.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы. Хотелось бы пожелать Ситникову С.А. в дальнейшем продолжить исследования в направлении повышения механических свойств получаемых керамических материалов и расширения областей их использования.

Автореферат диссертации отражает высокий научный уровень выполненных работ, её актуальность написан грамотно, достаточно проиллюстрирован графическим материалом. Как следует из автореферата, результаты исследований многократно докладывались и обсуждались на отечественных и международных симпозиумах, конференциях и семинарах, а также были опубликованы в 7 реферируемых журналах из перечня ВАК и 1 журнале с международной системой цитирования. По актуальности, научной новизне и практической цен-

ности диссертационная работа заслуживает высокой оценки, соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК и заявленной специальности, а ее автор Ситников Сергей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Заведующий лабораторией ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова,
член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук,
Бурханов Геннадий Сергеевич *Геннадий Сергеевич Бурханов*

Почтовый адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49.

Телефон: 8(499) 135-73-85.

Факс: 8(499) 135-86-80

Адрес электронной почты: genburkh@imet.ac.ru

Сайт: <http://www.imet.ac.ru>

Подпись Бурханова Г.С. удостоверяю.



Должность

Геннадий Сергеевич Бурханов

Бурханова Г.С. Ф.И.О.

М.П.

14.12.2017 *Геннадий Сергеевич Бурханов*