ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции» МГТУ имени Н.Э. Баумана Резника Сергея Васильевича на диссертационную работу Ежова Алексея Дмитриевича «Тепловые процессы в контактных соединениях жидкостных ракетных двигателей малой тяги», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Актуальность темы диссертации. В последнее время в нашей стране и за рубежом активизировались работы, направленные на применение композиционных материалов (КМ) в авиационной и ракетно-космической технике. Применение этих материалов дает конструкторам возможность разрабатывать наиболее эффективные теплонагруженные конструкции, которые зачастую содержат в себе элементы и узлы сопряжения сложной формы.

Основные разрушения конструкций, выполненных из керамо-матричных КМ происходят в узлах стыковки разнородных материалов. При этом разработчики связывают это с недостаточной изученностью процессов, происходящих в контактных узлах металлов с КМ. Для поддержания требуемой силы удержания фланцами и придания высокой надежности необходимо обеспечить требуемый тепловой режим и оптимальные значения давления в зонах контакта, а также условие запаса прочности для каждой из деталей в сборке. При определении теплового режима конструкции необходимо учитывать неидеальность поверхности контакта, обусловленную реальной микрогеометрией соприкасающихся деталей и, вследствие этого, появления дополнительного перепада температур, связанного с наличием контактного термического сопротивления (КТС).

Известные из литературы расчетные зависимости по определению КТС, как правило, ориентированы на специфические условия контактирования. Как следствие такой ситуации, значения контактных термических сопротивлений, рассчитанные по этим зависимостям, имеют

достаточно большой разброс. Таким образом, для повышения эффективности и надежности разрабатываемых конструкций целесообразно исследовать КТС шероховатых поверхностей в парах «КМ-металл». Составными частями такого исследования должны стать моделирование микротопографии контактирующих поверхностей и исследование процессов теплопередачи через соприкасающиеся поверхности. Ээто позволит сформировать целостную картину исследований и предложить методику прогнозирования КТС. Такое направление исследований КТС достаточно глубоко разработано в диссертации Ежова А.Д., что и определяет её актуальность.

Структура и объем работы. Диссертации состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа включает 180 страниц основного текста и выводы, 135 рисунков, список литературы из 131 наименования.

Во введении дана характеристика актуальности выбранной темы, сформулированы цель и задачи работы, приведена информация о научной новизне и практическая значимости, достоверности и обоснованности результатов.

В первой главе рассмотрены особенности тепловых процессов в контактной паре в жидкостных ракетных двигателях малой тяги (ЖРД МТ) учетом специфики различных соединений. Отмечена важность учета КТС в конструкциях ЖРД МТ для достоверного определения теплового состояния на этапе проектирования конструкции.

Во второй главе представлен аналитический обзор статей, диссертаций и материалов конференций отечественных и зарубежных авторов по тематике определения тепловых процессов в контактной зоне и моделирования микрогеометрии соприкасающихся поверхностей. Однако, целесообразность разбиения первой и второй главы настоящей диссертации вызывает сомнения.

Третья глава посвящена методике построения модельной картины шероховатости поверхности в трехмерном виде на базе созданной автором

программы по обработке профиля поверхности. Выполнено построение расчетной сеточной модели шероховатой поверхности.

В четвертой главе приведен расчетно-аналитический метод определения температурных полей двух контактирующих шероховатых поверхностей, основанный на предварительном прочностном анализе соприкосновения поверхностей. С его помощью были получены значения фактических площадей контакта и их расположение. Определение фактической площади касания позволило максимально близко приблизиться к определению достоверного значения КТС. С целью расширения области применения методики автором определены значения КТС с учетом наличия среды в межконтактной области. По каждому из полученных результатов по КТС автором производится верификация методики, сопоставляя результаты численного решения с данными других авторов.

В пятой главе представлены экспериментальные методы исследования тепловых процессов в контактной зоне. Сообщается о разработке экспериментальной установки, оснащенной современной аппаратной платформой. Приведены результаты эксперимента по определению КТС контактной пары «графит – нержавеющая сталь». Вместе с тем автором не полностью раскрыт механизм получения показаний с датчиков с помощью используемой станции сбора данных.

Шестая глава посвящена практической реализации предложенных подходов на примере расчета напряженно-деформированного состояния композитных камер сгорания ЖРД МТ с учетом влияния КТС между соприкасающимися поверхностями с возможностью изменения геометрии соединений и выбором материла прижимного кольца.

В целом после знакомства с содержанием глав возникло ощущение, что без потери качества работы автор мог объединить главы 1 и 2 в одну главу 1,

Цель диссертации заключалась в исследовании тепловых процессов в контактных соединениях композиционных теплонапряженных конструкций жидкостных ракетных двигателей малой тяги и разработке инженерной

методики численного моделирования теплообмена и напряженно-деформированного состояния создаваемых изделий с учетом влияния контактного термического сопротивления. Несмотря на то, что в подобной формулировке речь идет лишь о создании нового инструмента анализа теплофизических исследований, автором решена проблема повышения точности и глубины этих исследований, которые не менее важны.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена:

- совпадением предложенной методики определения КТС на «традиционных» материалах с результатами аналитических решений по формулам, полученным в результате обобщения экспериментальных данных;

- совпадением результатов численного моделирования с результатами проведенного эксперимента.

Новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

- разработана методика определения контактного термического сопротивления на базе трехмерного моделирования сопрягаемых поверхностей реальных конструкций;

- разработанная методика позволяет численное моделировать тепловое и напряженно-деформированное состояние камеры сгорания ЖРД МТ из углерод-углеродных КМ с учетом значений КТС.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что предложенная методика позволяет достаточно точно определить температурные поля и соответствующее им напряженно-деформированное состояние конструкции ЖРД МТ с учетом значений КТС между соприкасающимися деталями, что в свою очередь позволяет выполнить оптимизацию геометрии для отдельных высоконагруженных узлов. Такой подход позволяет уже на начальном этапе выявить основные проблемы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации и, в итоге, значительно сократить сроки испытаний и отработки изделия.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации, а тема диссертации и её содержание соответствует паспорту специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации. Наиболее значимые научные и практические результаты и рекомендации диссертационной работы могут найти применение при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники в: ПА «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва», АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», ОАО «Композит», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» и других.

Замечания и пожелания:

1. В работе все расчёты проведены для стационарного режима работы ЖРД МТ, хотя, как известно, режим работы таких двигателей может быть импульсным. При продолжении исследований хотелось бы предложить автору провести расчёты для нестационарного режима работы с учетом последовательной деформации микровыступов соприкасающихся поверхностей и, как следствие, уменьшение КТС.

2. Автором не в полной мере изложены исходные данные о тепловой нагрузке, а также о характеристиках материалов контактных групп в ЖРД МТ, указанных в диссертационной работе.

3. Правомерность переноса полученных данных по КТС плоских поверхностей на КТС цилиндрических поверхностей нуждается в теоретическом и/или экспериментальном обосновании.

4. Текст диссертации недостаточно проработан структурно, имеются две обзорные главы, в некоторых главах полностью отсутствуют параграфы. Встречаются странные речевые обороты с однокоренными словами, например, на стр. 35 «Трехмерные модели поверхностных микронеровностей можно получить, смоделировав геометрию поверхности…». На отдельных рисунках неразборчиво видны шкала и размерность, а также обозначения

(4.2, 6.6, 6.9, 6.10, 6.18, 6.25, 6.50, 6.53). Список литературы лишь частично оформлен по требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

В целом отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация Ежова А.Д. является законченной научно-квалификационной работой, посвященной исследованию тепловых процессов в контактных соединениях теплонапряженных конструкций, обладает внутренним единством, содержит новые и практически полезные научные результаты. По диссертации опубликованы в 20 научных работ, 5 из которых – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Диссертационная работа «Тепловые процессы в контактных соединениях жидкостных ракетных двигателей малой тяги» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней. Её автор – Ежов Алексей Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент –
д.т.н., профессор, заведующий
кафедрой СМ-13 «Ракетно-космические
композитные конструкции» ФГБОУ ВО
«Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана (национальныі
исследовательский университет)»

Резник Сергей
Васильевич

105005 г. Москва, ул. 2-я Бауманская,
дом 5, стр. 1, телефон +7(499) 263 64-66,
E-mail: sreznik@bmstu.ru

Подпись Резника С.В. заверяю:

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
Назарова О.В.
ТЕЛ. 8-499-263-60-48