

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Атрощенко Ирины Григорьевны «Термостойкий многослойный радиопрозрачный композиционный материал для элементов летательных аппаратов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Актуальность темы. Тема диссертации Атрощенко А.Г. связана с важной проблемой снижения тепловой нагрузки на элементы радиолокационной головки самонаведения (РГСН) высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА), температура на поверхности которых может превышать 1000 °С. Тепловая нагрузка на элементы РГСН может быть снижена за счет использования радиотехнических теплозащитных экранов, изготовленных из термостойких композиционных материалов (КМ), чье применение может способствовать увеличению надёжности и расширению температурного диапазона эксплуатации перспективных ЛА. По комплексу физико-технических характеристик наиболее перспективным для изготовления высоконагруженных элементов ЛА является материал ХАФСкв на основе кварцевой ткани и алюмохромфосфатного связующего. Однако исследования показали, что этот материал резко изменяет свои геометрические размеры при нагреве выше максимальной температуры, при которой проводилась термообработка, что приводит к разрушению керамических элементов радиопрозрачного обтекателя в процессе наземных имитационных испытаний. В связи с вышесказанным, исследование процессов и микроструктурных изменений, происходящих при нагреве в алюмохромфосфатном связующем и композиционном материале на его основе, оптимизация его термических и физико-механических характеристик являются важной и актуальной задачей.

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация Атрощенко И.Г. изложена на 153 страницах, включает в себя введение, пять

глав, заключение, список цитируемой литературы из 85 наименований и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель работы и основные задачи, решение которых способствует достижению цели. Отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации результатов работы.

В **первой главе** приведено описание процессов формирования композиционных материалов, стадии формирования межфазных соединений. Рассмотрены имеющиеся к настоящему времени результаты экспериментальных и теоретических исследований фосфатных связующих, протекающих в них процессов дегидратации и термических превращений. Описаны виды и свойства наполнителей, которые могут быть применены в радиопрозрачных композиционных материалах. Приведены разработанные к настоящему времени термостойкие композиционные материалы на основе неорганических (фосфатных) связующих.

Во **второй главе** описаны методы исследования свойств материалов, применяемых при разработке многослойного термостойкого композиционного материала (термический, рентгенофазовый, микроструктурный анализ, рентгеноспектральный микроанализ материала и его компонентов), методы определения прочностных, теплофизических, структурных и диэлектрических характеристик материала, а также применяемое при исследованиях оборудование. Также описаны разработанные в ходе выполнения работ методики по определению среднего температурного коэффициента линейного расширения (относительного удлинения образцов перпендикулярно армирующим слоям) и определению прочности при межслоевом сдвиге композиционного материала в широком температурном диапазоне.

В **третьей главе** приведены результаты микроструктурных исследований алюмохромфосфатного связующего и композиционного

материала на его основе с разными температурами термообработки, результаты исследований необратимого термического расширения композиционного материала перпендикулярно армирующим слоям в широком температурном диапазоне. Описана разработка термостойкого многослойного радиопрозрачного композиционного материала, проведены исследования его физико-технических характеристик, показано влияние микроструктурных изменений, происходящих в композиционном материале при увеличении температуры термообработки, на изменение физико-механических характеристик.

В четвертой главе приведен обзор развития отечественного производства теплоизоляционных материалов. Проведены исследования различных теплоизоляционных материалов, по результатам которых выбран материал для применения в качестве среднего слоя радиопрозрачной термостойкой трехслойной конструкции головного элемента ЛА.

В пятой главе описаны конструкция и технология изготовления теплозащитного экрана головного элемента ЛА, где в качестве материала силового пояса применен разработанный термостойкий многослойный КМ. Описана разработанная методика по оценке теплового расширения силового пояса, проведены расчеты и определены критерии максимально допустимого расширения. Приведены результаты комплекса наземных испытаний макетов головного элемента ЛА, имитирующих условия эксплуатации, по результатам которого подтверждена эффективность теплозащитного экрана и работоспособность головного элемента ЛА.

В общих выводах и заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна и практическая значимость заключается в

– демонстрации перспективности применения комбинации различных текстурированных наполнителей для оптимизации термических и физико-механических характеристик термостойкого композиционного материала на

основе алюмохромфосфатного связующего;

– разработке многослойного радиотехнического термостойкого композиционного материала на основе алюмохромфосфатного связующего с регулируемым анизотропным термическим расширением и стабильными физико-техническими характеристиками в широком диапазоне температур с подтвержденной эффективностью применения в качестве теплозащитного экрана головного элемента перспективного летательного аппарата в условиях высокоскоростного нагрева;

– разработке методик по оценке относительного удлинения образцов композиционного материала перпендикулярно армирующим слоям, по определению прочности при межслоевом сдвиге композиционных материалов в широком диапазоне температур и по определению теплового расширения теплозащитного экрана.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием комплекса современных, хорошо апробированных методов исследования на аттестованных установках, теоретическим обоснованием, а также подтверждена положительными результатами проведения комплекса наземных испытаний, имитирующих условия эксплуатации головного элемента перспективного летательного аппарата.

Публикации и апробация. Основные результаты диссертации опубликованы в 3-х статьях в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК, 2-х патентах, а также в 6-и работах в сборниках трудов международных и отечественных научно-технических конференций.

Замечания к диссертации:

1. В работе экспериментальные данные приводятся без указания погрешности экспериментальных измерений, что осложняет оценку надежности делаемых по этим результатам выводов.

2. Физические величины приводятся с использованием то системы

единиц СИ, то СГС, что затрудняет восприятие информации. Иногда это происходит внутри одной таблицы: например, таблицы 2 и 4.

3. В таблице 6 в перечисленных фазах алюмохромфосфатного связующего с указанием их химических составов отсутствует хром.

4. В подразделе 5.2 отсутствует описание конечно-элементной модели для расчета распределений напряжений в керамической оболочке, вызываемых тепловым расширением силового пояса теплозащитных экранов. Приводятся только полученные с её помощью результаты расчётов, выполненных с применением программы ANSYS.

5. В тексте диссертации встречаются неточные формулировки и термины (например, «увеличение физико-механических свойств» (стр. 10), «увеличение режима термообработки» (стр. 14, 71, 95, 96), «дегидрадация» (стр. 13, 16, 23, 26, 78)), дублирование абзацев (стр. 28-29 и 36), неверное указание ссылок (ссылки на работы [97-99] на стр. 56). На рисунке 4.1 не указан масштаб на фотографиях микроструктуры образцов, на рисунке 5.13 не задан масштаб по оси абсцисс.

Данные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Атрощенко И.Г.

Заключение. Диссертационная работа Атрощенко И.Г. «Термостойкий многослойный радиопрозрачный композиционный материал для элементов летательных аппаратов» является законченным научно-квалификационным исследованием, выполненным по актуальной тематике на высоком научном уровне, полностью соответствует паспорту специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния. Оформление основного текста диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК. Автореферат диссертации в полной мере отражает основные положения диссертации. Диссертация удовлетворяет всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертационным работам.

Основываясь на вышесказанном, считаю, что Атрощенко Ирина Григорьевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Я даю свое согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и в единой информационной системе.

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук

А.Б. Сивак

05.05.2023

Сведения:

Сивак Александр Борисович

Кандидат физико-математических наук, кандидатская диссертация защищена по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Начальник Расчетно-теоретической лаборатории Отдела термоядерных реакторов Отделения токамаков Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Почтовый адрес: 123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

E-mail: sivak_ab@nrcki.ru

Телефон: +7 (903) 636-92-47

Подпись Сивака А.Б. заверяю:

Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»

К.Е. Борисов

05.05.2023