

Ученому секретарю
Диссертационного совета 24.2.327.06
Московского авиационного
института (национальный
исследовательский университет)

д.т.н., доц. В.М. Краеву

Волоколамское шоссе, д. 4, г.
Москва, 125993

Уважаемый Вячеслав Михайлович!

Высылаю отзыв на автореферат диссертационной работы Григоровского Вячеслава Валерьевича «Формирование разнофункциональных покрытий низкотемпературным, гетерогенным, сверхзвуковым потоком», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Приложение: отзыв в 2-х экземплярах, на 2 листах каждый.

Главный научный сотрудник АО ГНЦ «Центр Келдыша»,
доктор технических наук


С.Г.Ребров
15.12.2025

Исполнитель: Ребров С.Г. 8(495)456-64-83

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ
«18» 12 2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Григоровского Вячеслава Валерьевича на тему «Формирование разнофункциональных покрытий низкотемпературным, гетерогенным, сверхзвуковым потоком», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

В настоящее время в системах тепловой защиты ВЛА широко используется теплозащитные материалы (ТЗМ), такие как: углерод углеродные композиционные материалы (УУКМ) и углерод углеродные керамические композиционные материалы (УУККМ). Они потенциально обладают высокой рабочей температурой поверхности ($T_w=2500-3000$ K), низкой плотностью и теплопроводностью. Однако при всех своих достоинствах они имеют низкую термостойкость в связи с тем, что углерод реагирует с молекулами и атомами кислорода (O_2 , O), а также атомами азота, N.

Проведенные в МАИ исследования показали, что устранить недостаток указанных ТЗМ возможно, сформировав на их поверхности, тонкую термостойкую непроницаемую плёнку, толщиной до 100-150 мкм. Решению этой важной задачи посвящена диссертация Григоровского В.В.

Актуальность темы диссертации обусловлена как разработкой и апробацией нового высоко производительного низкотемпературного газодинамического метода (НТГДМ) и промышленной технологии, так и глубоким экспериментально-теоретическим исследованием физико-химических процессов, реализуемых при формировании покрытий. Кроме того, в работе предложена методика и проведено экспериментально-теоретическое исследование свойств сформированных покрытий при воздействии на них сверхзвуковых высокотемпературных потоков.

Научная и практическая значимость полученных при исследовании результатов заключается в следующем:

1. Показано, что низкая температура газа-носителя и частиц в сверхзвуковом НТГДМ обеспечивает высокую скорость соударения частиц с подложкой при формировании покрытий. Это позволяет:

- использовать в качестве газа-носителя технический воздух, что значительно удешевляет метод;

- исключить в процессе формирования покрытий химическое взаимодействие частиц с молекулами газа-носителя, т.е. сохранить научно обоснованный компонентный состав покрытия, его микроструктуру, что в итоге обеспечивает выполнение поставленной перед покрытием задачи;

- обеспечить прочное физическое и химическое сцепление покрытия и подложки (адгезия) за счёт перехода при ударе части кинетической энергии частицы в тепловую.

2. Предложены и экспериментально апробированы методики диагностики сверхзвуковых гетерогенных потоков, а также методики исследования механических и теплофизических характеристик разнофункциональных покрытий.

3. Разработаны математическая модель установившегося до- и сверхзвукового течения гетерогенного потока в газодинамическом тракте установки с целью определения характеристик потоков. Представлен алгоритм решения этой модели.

4. Проведён анализ механизма взаимодействия высокоскоростных частиц с подложкой. Установлен интервал скоростей частиц, при котором реализуются покрытия на поверхности ТЗМ.

5. С используемых предложенных в работе методов исследованы характеристики защитных покрытий, полученных с применением НТГДМ. Например показано, что тонкий поверхностный слой покрытия из карбида ниобия (NbC) толщиной ~ 40 мкм заметно влияет на статическую прочность покрытия образца CuAgZr.

Замечания. По изложению материала в автореферате сделаны следующие замечания:

- автореферате недостаточно уделено внимание анализу работ в области исследования нанесения разнофункциональных покрытий выполненными другими авторами, недостаточно раскрыт вопрос о влиянии внешнего давления на характеристику покрытий.

Общий вывод.

Несмотря на указанное замечание, считаю что диссертационная работа Григоровского Вячеслава Валерьевича, выполненная на тему: «Формирование разнофункциональных покрытий низкотемпературным, гетерогенным, сверхзвуковым потоком», является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствует требованиям пп. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а Григоровский Вячеслав Валерьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Главный научный сотрудник АО ГНЦ «Центр Келдыша»,

доктор технических наук

Ребров Сергей Григорьевич

rebrov_serгей@mail.ru, +74954566483

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»

125438, Москва Онежская ул., д. 8

kerc@elnet.msk.ru

+7 (495) 456-46-08

Подпись главного научного сотрудника АО ГНЦ «Центр Келдыша»,

д.т.н. Реброва С.Г. удостоверяю:

Ученый секретарь

Ю.Л. Смирнов