

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Лифанова Ивана Павловича «Разработка жаростойких покрытий на основе системы $\text{ZrSi}_2\text{-MoSi}_2\text{-ZrB}_2$ для обеспечения работоспособности жаропрочных углеродсодержащих материалов в скоростных высокоэнthalпийных потоках газов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Актуальность темы диссертации.

Проблема создания надежных материалов и покрытий для теплонапряженных деталей и узлов планера сверхзвуковых и гиперзвуковых атмосферных летательных аппаратов (ЛА), возвращаемых космических ЛА, проточных трактов двигательных установок (ПВРД, РДТТ, ЖРД, ГТД) является одной из наиболее сложных в современном авиакосмическом и ракетном машиностроении. Обеспечение работоспособности высокотемпературных узлов изделий требует надежной защиты используемых жаропрочных материалов от высокотемпературной газовой коррозии специальными противоокислительными покрытиями. Работоспособность известных жаростойких покрытий не всегда оказывается достаточной. В особенно тяжелых условиях находятся носовые обтекатели, элементы конструкций с острыми кромками, элементы проточных трактов двигателей, которые подвержены воздействию скоростных нестационарных потоков окислительных газов. Условия эксплуатации деталей при температурах на поверхности до 2000 °С и выше, рассматриваемые в диссертационной работе, относятся к группе наиболее жестких, что подтверждает высокую актуальность выбранной темы исследования Лифанова И.П.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложения, изложена на 175 страницах, включает в себя 27 таблиц, 58 рисунков и 169 литературных источников.

На основании проведенного критического анализа научной литературы автор сформулировал общие и специальные требования к жаростойким

покрытиям, работающим в условиях взаимодействия со скоростными потоками высокоэнтальпийных газов, предложил перспективную архитектуру и выбрал для ее реализации ранее не исследованную систему $\text{ZrSi}_2\text{-MoSi}_2\text{-ZrB}_2$.

Для увеличения эффективности исследований Лифановым И.П. применялись методы статистического планирования эксперимента и оптимизации. Значительное внимание в работе уделено изучению закономерностей и механизмов высокотемпературного окисления керамик в выбранной системе, полученных горячим прессованием порошков, синтезированных методом магнийтермического восстановления. Математическая обработка результатов позволила построить адекватную регрессионную модель и расчетные диаграммы «фазовый состав – жаростойкость» для прогнозирования стойкости керамик к окислению при 1650 °С. Анализ полученных результатов позволил предсказать наиболее жаростойкие составы в исследованном интервале концентраций. Далее они были использованы в качестве исходных материалов при разработке и апробации технологии нанесения покрытий на C/SiC и C/C композиционные материалы.

Автором детально изучен процесс жидкофазного спекания порошковых композиций в системах $\text{ZrSi}_2\text{-MoSi}_2\text{-ZrB}_2$ и $\text{Si-ZrSi}_2\text{-MoSi}_2\text{-ZrB}_2$, нанесенных в виде тонких шликерных слоев на поверхность указанных композитов, в диапазоне температур 1550-1750 °С при разряжении 8-9 мПа и в атмосфере аргона при давлении 0,15-0,2 и 150-200 Па. Выявлены особенности структурообразования и морфологии формируемых защитных покрытий. Результатом этого этапа работы стала разработка режима термической обработки нанесенных порошковых композиций, позволяющего получить покрытия, работоспособные в рассматриваемых условиях.

Значительный объем исследований посвящен изучению кинетики и механизмов окисления созданных покрытий на C/SiC композите при 1650 °С на воздухе, закономерностей и механизмов их защитного действия в условиях неравновесного обтекания и аэрогазодинамического нагрева потоками воздушной плазмы. Результаты огневых экспериментов представляют высокую ценность, т.к. они подтверждают достижение цели, поставленной автором в

работе, и, по сути, определяют область применимости разработанных технических решений.

Несомненным достоинством работы является исследование механизмов физико-химического взаимодействия в системах $ZrSi_2$ - $ZrSiO_4$, $ZrSi_2$ -C, а также закономерностей и механизмов окисления объемных материалов и тонкослойных покрытий на основе ранее неизученной системы $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 . Отдельно стоит отметить значительный объем работ, выполненных при исследовании структуры и фазового состава рассматриваемых объектов (порошков, консолидированных керамик, покрытий) с привлечением широкого спектра методов диагностики – РФА, РЭМ, ЭДС, ДТА, ТГА, лазерная дифракция, что свидетельствует о хорошей теоретической подготовке и высокой квалификации диссертанта как научного работника.

Научная новизна.

К основным научным достижениям диссертационной работы Лифанова И.П. можно отнести:

- закономерности и механизмы окисления на воздухе при 1400 и 1650 °С консолидированных керамик в системе $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 - $ZrSiO_4$, расчетные диаграммы «фазовый состав – жаростойкость» при 1650 °С;
- физико-химическое взаимодействие и его механизм в системе $ZrSi_2$ - $ZrSiO_4$ при температурах свыше 1620 °С в условиях недостатка кислорода;
- закономерности и механизмы защитного действия покрытий на основе систем $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 и Si - $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - ZrB_2 на C/SiC композите в условиях окисления на воздухе при 1650 °С и при обтекании потоками воздушной плазмы с $M = 5,5-6,0$ и энтальпией 45-50 МДж/кг.

Практическая значимость.

Практическую ценность работы представляют разработанные автором составы жаростойких покрытий и технология их формирования, доведенные до апробации и проверки в условиях огневых испытаний по режимам входа перспективных возвращаемых ЛА в атмосферу Земли.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность данных обеспечивается применением современных методов и стандартных исследовательских методик в материаловедении, сертифицированной и поверенной измерительной аппаратуры с лицензионным программным обеспечением, необходимым и достаточным количеством экспериментального материала, воспроизводимостью результатов, согласованностью данных, полученных независимыми методами. Положительные результаты газодинамических испытаний полученных покрытий (о чем свидетельствует акт, содержащийся в приложении к диссертации) подтверждают достоверность выводов, научных положений и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

По диссертационной работе Лифанова И.П. можно сделать следующие замечания:

1. Не ясно, почему при исследовании жаростойкости составов на начальных этапах были выбраны температуры 1400 и 1650 °С, тогда как в цели работы указаны рабочие температуры 1800-2000 °С?
2. В работе отсутствуют данные о теплофизических свойствах разработанных покрытий (коэффициент температурного линейного расширения, теплопроводность, теплоемкость), необходимых для тепловых и теплопрочностных расчетов создаваемых конструкций.
3. Не ясно, почему спектральная излучательная способность покрытий определялась автором только при комнатных температурах и не учтены изменения состояния поверхности и физико-химических свойств оксидных пленок в процессе эксплуатации.
4. Требуют пояснения ресурсные характеристики покрытий в случае их применения в конструкции планера и силовой установки летательного аппарата.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации и не умаляют ее научной и практической значимости. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные Лифановым И.П. решения достаточно аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями по проблеме высокотемпературных покрытий для углеродсодержащих композиционных материалов.

Заключение.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения в области разработки жаростойких покрытий для защиты жаропрочных углеродсодержащих материалов от высокотемпературного окисления и эрозии в скоростных высокоэнтальпийных потоках газов. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 13 научно-технических конференциях, опубликованы в 22 печатных работах, в том числе в 4-х статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и в 3-х статьях в журналах, входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Результаты диссертационной работы могут быть использованы на предприятиях авиакосмической промышленности.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г.

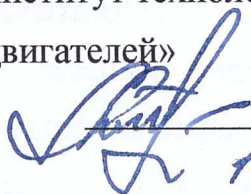
№ 842, а ее автор Лифанов Иван Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Начальник отдела «Конструкционные материалы
и функциональные покрытия»

филиала Акционерного общества «Объединенная
двигателестроительная корпорация»

«Научно-исследовательский институт технологии
и организации производства двигателей»

д.т.н., профессор



Абраимов Николай Васильевич

14.11.2019г.

Подпись Абраимова Н.В. удостоверяю.

Начальник бюро управления персоналом
филиала АО «ОДК» «НИИД»



Замятина Г.И.

105118, г. Москва, Будённого пр-т, д. 16, корп. 182

Филиал Акционерного общества «Объединенная двигателестроительная
корпорация» «Научно-исследовательский институт технологии и организации
производства двигателей»

diagnostika@uecrus.com

Телефон: 8(499)785-81-74