

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
АО «Уральский научно-исследовательский  
институт композиционных материалов»

В.Ю. Чунаев

2019 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации И.П. Лифанова «Разработка жаростойких покрытий на основе системы  $ZrSi_2-MoSi_2-ZrB_2$  для обеспечения работоспособности жаропрочных углеродсодержащих материалов в скоростных высокоэнтальпийных потоках газов», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

В автореферате диссертационной работы Лифанова Ивана Павловича описаны исследования, направленные на разработку составов жаростойких покрытий и способов их нанесения на высокотемпературные углеродсодержащие композиционные материалы, с целью повышения функциональных и эксплуатационных характеристик покрытий и расширения их температурно-временных пределов работоспособности. Эта непрерывно ведущаяся материаловедцами работа (и, в частности, многолетняя работа учёных Московского авиационного института) была и остаётся актуальной, что подтверждают и ссылки автора на связь его работ с госзаданием, научным грантом и договором с заказчиком НИР по покрытиям на материалы конструкции перспективного изделия.

Анализируя существующие решения в разных классах жаростойких покрытий, И.П. Лифанов разработал архитектуру создаваемого многофазного покрытия с наличием легкоплавкой фазы, выбрав для реализации комбинацию из дисилицидов циркония и молибдена с диборидом циркония. Синтезируя по известной схеме методом СВС гетерофазные порошки и консолидировав их методом горячего прессования, он формировал на углеродсодержащем композите жаростойкие покрытия путём шликерно-обжигового метода. После

определения многих показателей нанесённых покрытий, используя комплекс современных приборов и методов, были проведены огневые газодинамические испытания покрытий.

В ходе исследований автор испытал жаростойкость на воздухе консолидированной порошковой керамики, кинетика окисления которой описана степенной зависимостью. Последующий анализ результатов структурно-фазовых исследований компонентов в ходе окисления привёл его к возможному трёхстадийному механизму физико-химического взаимодействия включающему: 1) инконгруэнтное плавление  $ZrSi_2$  с образованием расплава  $3Si + Zr$  и тугоплавкого  $ZrSi$ , 2) последующее окисление расплава  $3Si + Zr$  и 3) одновременное конгруэнтное растворение  $ZrSi$  в расплаве.

Построенная И.П. Лифановым регрессионная модель для прогнозирования жаростойкости керамик в изучаемой системе обеспечила выбор наиболее жаростойких составов из всех изученных для разработки технологии формирования защитных покрытий. Важной частью работы автора, несомненно украшающей её, является определение спектральной излучательной способности покрытий в исходном состоянии и после огневых испытаний.

Температурно-временные показатели работы созданных покрытий значительно улучшены в сравнении с теми же показателями покрытий с другой системой компонентов, взятой за прототип. Материал в автореферате стилистически хорошо и грамотно изложен.

Диссертационная работа является завершённой и самостоятельной научно-исследовательской работой, обладающей как научной новизной, так и практической значимостью. Работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2014 г. № 842, и содержит новые

технологические решения и разработки. В связи с этим автор диссертации Лифанов Иван Павлович заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Кандидат химических наук  
Щурик Александр Георгиевич,  
главный научный сотрудник  
отдела технологии силицирования,  
учёный секретарь НТС АО  
«Уральский научно-исследовательский  
институт композиционных материалов»,  
Новозвягинская ул., д. 57, г. Пермь,  
Россия, 614014, тел. (342) 263-15-60  
E-mail: [uniikm@yandex.ru](mailto:uniikm@yandex.ru), [www.uniikm.ru](http://www.uniikm.ru)



Подпись Щурика А.Г. удостоверяю:  
Начальник службы управления персоналом  
М.п.



 Н.А. Хасанова