

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лифанова Ивана Павловича «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 ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Углеродсодержащие композиционные материалы обладают набором уникальных свойств, необходимых для функционирования в условиях экстремальных механических нагрузок и температур, поэтому остаются единственными кандидатами на роль материалов конструкционного назначения при создании двигательных установок и систем теплозащиты для этих условий. Для длительного функционирования углеродсодержащих композиционных материалов в экстремальных условиях необходимо создать, прежде всего, надежную защиту от окисления. В мировой практике получили развитие несколько концепций защиты углеродных материалов от окисления. Наиболее разработанным является подход, основанный на использовании компонентов, способных к стеклообразованию. К числу таких систем относятся системы на основе диборида циркония или гафния в сочетании с другими тугоплавкими соединениями, например, карбидом кремния, дисилицидами некоторых переходных металлов. Хотя в этом направлении и были достигнуты хорошие результаты, однако усовершенствование и поиск оптимальных составов покрытий и материалов продолжается, учитывая исключительную сложность и неординарность стоящей задачи.

Поставленные в работе цель и задачи находятся на переднем крае современного высокотемпературного материаловедения, поэтому **актуальность** диссертационной работы Лифанова Ивана Павловича **не вызывает сомнения**.

Научная новизна работы заключается прежде всего в том, что автором установлены закономерности окисления спеченной $ZrSi_2-MoSi_2-ZrB_2-ZrSiO_4$ керамики при температурах 1400 и 1650°C в стационарном воздухе, предложена адекватная математическая модель диаграммы «фазовый состав – жаростойкость» и решена задача условной оптимизации состава керамики для окисления на воздухе при 1650°C, предложен механизм защитного действия покрытий на основе систем $ZrSi_2-MoSi_2-ZrB_2$ и $Si-ZrSi_2-MoSi_2$ на керамических композитах, армированных углеродными волокнами, в условиях воздействия высокоскоростного высокоэнтальпийного потока кислородсодержащей плазмы.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработаны жаростойкие покрытия, которые обеспечивают работоспособность конструкционной

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 29 11 2019

стенки в условиях гиперзвукового обтекания воздушной плазмой. Предложенные методики могут быть масштабированы и внедрены в реальном секторе экономики.

Достоверность основных результатов диссертационного исследования Лифанова И.П. обеспечивается применением широкого круга независимых физико-химических методов исследования материалов, результаты которых хорошо согласуются между собой. Диссертационная работа прошла хорошую апробацию, результаты работы были доложены на международных и российских конференциях. Основные результаты работы опубликованы в 22 научных работах, включая 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в базы данных WoS и Scopus, 4 статьи в российских журналах, рекомендованных ВАК, а также в 15 тезисах докладов.

Безусловным достоинством работы является обоснованность каждого экспериментального шага, высококачественное исполнение экспериментов, продуманность тех моделей, которые предлагает автор для объяснения полученных результатов, строгий научный язык.

Тем не менее, при прочтении автореферата и диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. На с. 6 и 19 автореферата Автор утверждает, что при окислении покрытий на основе системы $ZrSi_2-MoSi_2-ZrB_2$ при температуре $1650^\circ C$ образуется фаза металлического Мо в наружной части оксидного слоя. Можно усомниться в этом утверждении, так как низкая окислительная устойчивость металлического молибдена известна. Может быть, дело в том, что та фаза, за которую Автор принимает металлический молибден является боридом молибдена? В любом случае, этот экспериментальный результат нуждается в более глубоком изучении в будущем.

2. К сожалению, в тексте диссертации не приведены исходные данные по количественному элементному составу различных областей исходных и окисленных образцов, выполненному с использованием энерго-дисперсионной спектроскопии. Это позволило бы Автору отличить в окисленных покрытиях те области, которые связаны с окислением силицидов от областей, которые связаны с окислением боридов (по соотношению металл/кислород), а значит, более полно описать «увиденную картину».

3. Можно оспорить пригодность метода синтеза, основанного на восстановлении различных оксидов магнием, так как согласно элементному анализу, магний присутствует и в приготовленной керамике, и в продуктах ее окисления.

4. В тексте автореферата встречаются неудачные выражения, например, на с. 19 автореферата Автор употребляет выражение «давление насыщенных паров» применительно к неравновесным условиям. Или на с. 15, 1-й абзац – «окисление циркония

... кислородом, содержащимся в цирконе». Кислород, содержащийся в цирконе, находится в низшей степени окисления и по определению не может быть окислителем.

Все высказанные замечания и пожелания носят скорее рекомендательный характер и не снижают очень хорошего впечатления от глубокой, хорошо выстроенной, сложной, интересной и многогранной диссертационной работы.

Судя по автореферату, диссертация Лифанова И.П. представляет собой законченную научную работу, которая направлена на решение очень сложной и актуальной задачи современного материаловедения, имеющей огромное значение – разработке жаростойких покрытий, обеспечивающих работоспособность углеродсодержащих материалов в высокоскоростных потоках воздушной плазмы. Работа по новизне, актуальности, достоверности научных результатов и практической значимости отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Лифанов Иван Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Доктор химических наук (специальность 02.00.21), ведущий научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института химии твердого тела и механохимии
Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Кутателадзе, 18 Новосибирск 630128 Россия
Телефон (383) 332-40-02, факс (383) 332-28-47
E-mail: root@solid.nsc.ru, <http://www.solid.nsc.ru>
т. 383 233 24 10*1132 baklanova@solid.nsc.ru

“19” ноября 2019 г.

Бакланова Наталья Ивановна

Подпись Н.И. Баклановой заверяю

Ученый секретарь ИХТМ СО РАН

Д.х.н.



Т.П. Шахтшнейдер

“___” ноября 2019