

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Лифанова Ивана Павловича**  
на тему: «**Разработка жаростойких покрытий на основе системы  $ZrSi_2$ - $MoSi_2$ - $ZrB_2$  для обеспечения работоспособности жаропрочных углеродсодержащих материалов в скоростных высокосубзвуковых потоках газов**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Разработка покрытий, обеспечивающих работоспособность материалов в различных агрессивных средах, на протяжении многих лет остаётся актуальной задачей. Условия эксплуатации деталей в скоростных потоках окислительных газов при температурах на поверхности до 2000 °С и выше, рассматриваемые в диссертационной работе, относятся к группе наиболее жестких. Однако такие условия неизбежно реализуются в перспективных гиперзвуковых летательных аппаратах, что вызывает необходимость обеспечения защиты от них жаропрочных композиционных материалов с волокнами на основе углерода, склонных к активному окислению даже при умеренно высоких температурах.

Идея построения работы заключается в выборе архитектуры защитного покрытия, обеспечивающей оптимальную работоспособность, с последующим поиском и исследованием химической системы, позволяющей реализовать заданную структуру. Успешность осуществления этой логической цепочки подтверждается результатами сканирующей электронной микроскопии и рентгеновского фазового анализа, установившими, что покрытие при окислении состоит из основного слоя на базе матрицы  $ZrSi_2$ , армированной частицами  $MoSi_2$  и  $ZrSi_2$ , и гетерогенного оксидного слоя с матрицей на основе  $SiO_2$ .

Другим положительным аспектом работы являются всесторонние исследования выбранной химической системы. В диссертации исследовано внутреннее взаимодействие  $ZrSi_2$  и  $ZrSiO_4$ , приводящее к образованию элементарного кремния и увеличению объёма. Также приведены микроструктуры оксидных слоев, соответствующих различным условиям окисления, и выявлены механизмы окисления.

Таким образом, работа Лифанова И. П. обладает научной новизной, поскольку проблемы, рассмотренные в работе, вносят свой вклад в развитие основ проектирования архитектуры жаростойких покрытий. Практическая значимость работы заключается в получении покрытий, для которых предложен рецептурный состав, технологический процесс нанесения и определены эксплуатационные характеристики.

В работе можно выделить следующие недостатки.



Ключевым элементом, обеспечивающим жаростойкость разработанных покрытий, является пленка кремнезема, широко используемая в других известных покрытиях. Поэтому выбранная химическая система обладает и главным недостатком, вызванным природой силикатных стёкол, активно сублимирующих уже при 1700 °С. Функционирование покрытия при 2000 °С осуществляется фактически в режиме «кипения» SiO<sub>2</sub> и может продолжаться только коротко- временно.

Излучательная способность покрытий определялась только при комнатных температурах. Ценность этой информации вызывает сомнение, поскольку при температурах эксплуатации поверхность находится в совершенно другом физическом состоянии и величины данного показателя могут значительно отличаться от полученных.

В целом диссертационная работа оставила благоприятное впечатление. Можно заключить, что она является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Основные результаты представлены на российских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК или входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК и заявленной специальности, а ее автор Лифанов Иван Павлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Доцент кафедры «Материаловедение»

Московского политехнического

университета, к.т.н.

Давыденко Людмила Васильевна

Подпись Л. В. Давыденко удостоверяю

Заместитель ректора



Ф.И.О.

Ларина Е. С.

Печать организации

115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», [mami-davydenko@mail.ru](mailto:mami-davydenko@mail.ru), тел. 8 (926) 116-76-66