

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Московских Дмитрия Олеговича
«Получение бинарных и многокомпонентных карбидов с использованием СВС,
высокоэнергетической механической обработки и искрового плазменного спекания»,
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности
2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Актуальность диссертационной работы Московских Д.О. продиктована современными вызовами в области создания материалов, способных функционировать при температурах свыше 2000 °С в агрессивных средах. Развитие аэрокосмической техники, ядерной энергетики и высокотехнологичного машиностроения требует принципиально новых керамических материалов, сочетающих высокую твердость, трещиностойкость и жаростойкость. В этом контексте разработка научных основ получения бинарных и многокомпонентных карбидов с использованием гибридного подхода, объединяющего механоактивацию, самораспространяющийся синтез и электроискровое плазменное спекание, является своевременной и востребованной задачей.

Цель работы заключается в создании керамических материалов на основе карбида кремния, карбида бора и многокомпонентных карбидных систем с заданной микроструктурой и комплексом улучшенных физико-механических характеристик за счет разработки и оптимизации комбинированных технологических схем ВЭМО-СВС-ИПС.

Достоинством работы является ее комплексный характер, охватывающий все стадии технологического процесса — от управления движением мелющих тел в планетарной мельнице до исследования высокотемпературного поведения (ползучесть, окисление) готовых материалов. Автору удалось органично соединить экспериментальные исследования с теоретическими оценками, в частности, расчеты времен капиллярной инфильтрации убедительно объясняют феномен сохранения наноразмерной структуры при жидкофазном горении. Поражает масштаб и разнообразие исследованных систем: от классических SiC и B₄C до сложнейших пятикомпонентных карбидов с различными легирующими элементами, что позволило выявить общие закономерности и уникальные эффекты для каждого состава.

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Автором впервые с помощью высокоскоростной видеосъемки экспериментально верифицированы режимы движения шаров в планетарной мельнице и установлена корреляция между параметром K и эффективностью активации. Принципиально новым результатом является обнаружение снижения энергии активации до 43 кДж/моль для системы Ta-Ti-Nb-Zr-Hf-C. Глубокой

научной проработкой отличается установление многостадийного механизма окисления $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$, а также детальный анализ дислокационной структуры и механизмов ползучести высокоэнтропийной керамики, подтвердивший доминирование дислокационного скольжения с системой $a/2\langle 011 \rangle \{111\}$.

Практическая значимость подтверждена внедрением результатов в реальный сектор экономики. Разработанная технологическая инструкция на производство субмикронного порошка SiC и полученные на его основе сегменты керамики с твердостью 24 ГПа и трещиностойкостью $5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ используются на НПФ «Керамика». Высокоэнтропийный карбид $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$, продемонстрировавший высокую радиационную стойкость рекомендован для применения в АО «НИИ НПО «ЛУЧ». Успешные испытания абразивоструйных сопел на ООО «Бахметьевский завод» с увеличением ресурса на 63% подтверждают экономическую эффективность разработок.

Апробация работы является исключительно широкой: основные положения докладывались более чем на 50 международных и всероссийских конференциях, включая престижные симпозиумы по СВС и высокоэнтропийным материалам в России, США, Европе и Азии. По теме диссертации опубликовано 26 статей в журналах, индексируемых в базах ВАК и Scopus, получено 2 патента РФ и зарегистрировано 1 ноу-хау, что свидетельствует о признании результатов научным сообществом.

Автореферат написан хорошим научным языком, грамотно структурирован, содержит достаточное количество иллюстративного материала, облегчающего восприятие сложной информации.

В качестве замечаний рекомендательного характера можно отметить следующее:

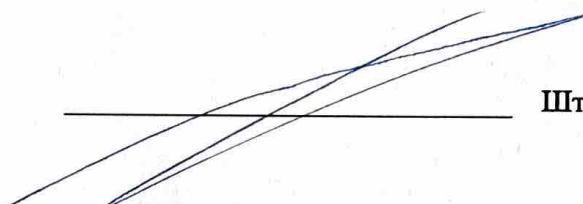
1. В автореферате для обозначения механической обработки используются термины «высокоэнергетическая» (ВЭМО) и «низкоэнергетическая» (НЭМО). Хотя их различие пояснено численно, было бы полезно привести критерий перехода от одного режима к другому в более обобщенном виде (например, через энергию или частоту соударений), что облегчило бы масштабирование результатов на другое оборудование.
2. Выводы диссертации, представленные в автореферате, охватывают все ключевые результаты, однако их формулировки могли бы выиграть от большей структурированности. Разделение выводов по главам или типам материалов (карбид кремния, карбид бора, высокоэнтропийные карбиды) сделало бы их еще более наглядными для читателя.

Указанные замечания не затрагивают существа работы, носят исключительно рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки представленного исследования.

Диссертационная работа Московских Дмитрия Олеговича на тему «Получение бинарных и многокомпонентных карбидов с использованием СВС, высокоэнергетической механической обработки и искрового плазменного спекания» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Профессор Института перспективных материалов и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»,

д.т.н., профессор



Штерн Максим Юрьевич

подпись Штерна Максима Юрьевича удостоверяю

Ученый секретарь МИЭТ, к.т.н.



Козлов А.В.

«10» марта 2026 г.

Адрес: 124498, Москва, Зеленоград, Площадь Шокина, д. 1

Телефон: +7(499) 720-87-32

Адрес электронной почты: mfh.miet@gmail.com

Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Московских Д.О.