

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 работы

Диссертационная работа Московских Д.О. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы – разработке научных основ и технологических подходов к созданию тугоплавких керамических материалов на основе карбидов (SiC , B_4C) и высокоэнтروпийных карбидных систем $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{C}$ и $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{X})\text{C}$ ($\text{X} = \text{Hf}, \text{Mo}, \text{W}$). Актуальность темы обусловлена необходимостью создания отечественных материалов нового поколения, способных сохранять структурную стабильность и механическую прочность при экстремальных температурах, в условиях окислительных сред и радиационных воздействий, что критически важно для развития аэрокосмической техники, атомной энергетики и высокотехнологичного машиностроения. В условиях импортозамещения и санкционных ограничений разработка энергоэффективных методов получения бескислородной керамики с использованием комбинации высокоэнергетической механической обработки, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и искрового плазменного спекания приобретает особую значимость.

Научная новизна и практическая значимость

Автором получен ряд фундаментальных и прикладных результатов, обладающих несомненной научной новизной. Впервые с использованием высокоскоростной видеосъемки экспериментально верифицированы три режима движения мелющих тел в планетарной мельнице (каскадный, водопадный, центробежный) и установлена связь между кинематическим параметром K и эффективностью механоактивации. Выявлен эффект микроструктурной наследственности при СВС в системе $\text{Si}-\text{C}$, обусловленный сверхбыстрой кинетикой капиллярной инфильтрации и диффузии. Установлены различия механизмов горения в многокомпонентных карбидных системах. Определен многостадийный механизм окисления высокоэнтропийного карбида $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$ с формированием защитного слоя $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$. Впервые для $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$ идентифицирована активная система дислокационного скольжения и установлены механизмы высокотемпературной ползучести.

Практическая значимость работы подтверждена разработкой технологической инструкции ТИ 08-263801-2025 на производство субмикронного СВС-порошка SiC, внедрением результатов на НПФ «Керамика» и ООО «Активатор», а также успешными испытаниями керамических вставок для абразивоструйных сопел (увеличение ресурса на 63 %). Высокоэнтропийная керамика (Ta,Ti,Nb,Zr,Hf)C рекомендована к использованию в АО «НИИ НПО «ЛУЧ».

Автореферат написан понятным языком, структурирован и дает полное представление о содержании диссертации.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 50 работах, среди которых 26 статей в журналах из перечня ВАК и Scopus, 24 тезиса в сборниках конференций. Получено 2 патента РФ и зарегистрировано 1 ноу-хау.

Замечания по автореферату

1. В разделе актуальности темы исследования автор обосновывает острую потребность в материалах, обладающих жаростойкостью и жаропрочностью выше 2000 °С для применения в аэрокосмической технике и энергетике. Однако экспериментальное исследование высокотемпературных свойств синтезированных карбидов ограничено 1600 °С для ползучести и 1200 °С для окислительной стойкости. Учитывая, что механизмы окисления и диффузии керамик могут качественно изменяться при превышении температурных порогов, возникает вопрос о степени экстраполяции полученных результатов на реальные условия эксплуатации.
2. В работе количественная оценка содержания углерода и бора в карбидах выполнена методом ЭДС. Учитывая известные ограничения метода для лёгких элементов, полученные данные носят оценочный характер. Почему подтверждения стехиометрии углерода не были использованы более точные методы, например, газовый анализ (LECO)?
3. В работе для оценки размеров кристаллитов использована формула Шеррера, которая учитывает лишь вклад размера кристаллитов в уширение дифракционных пиков. Учитывая, что исследуемые материалы подвергались интенсивной механической обработке, в их структуре неизбежно формируются значительные микронапряжения решётки, также вносящие вклад в уширение рефлексов. В связи с этим представляется целесообразным применение метода Уильямсона–Холла, позволяющего разделить вклады размера кристаллитов и микронапряжений в наблюдаемое уширение.
4. В работе синтезированные СЭК и ВЭК являются карбидами переменного состава. При этом процесс восстановления оксидных примесей в процессе вакуумного

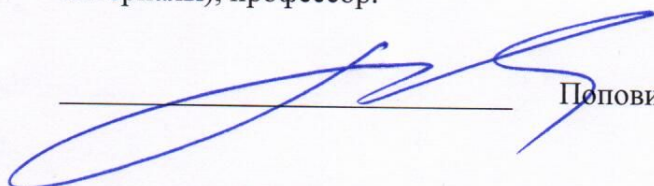
отжига должен неизбежно приводить к расходу углерода. Учитывая, что отклонение от стехиометрического соотношения существенно влияет на свойства тугоплавких карбидов, оценивалась ли концентрация углерода в карбидной фазе?

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

Заключение

На основании анализа автореферата можно заключить, что диссертационная работа Московских Дмитрия Олеговича является завершенным научно-квалификационным трудом, в котором решена крупная научно-техническая проблема – разработка научных основ и технологических подходов к созданию нового поколения тугоплавких керамических материалов с экстремальными эксплуатационными свойствами. По актуальности, научной новизне, практической значимости и объему выполненных исследований диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор, Московских Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Директор института машиностроения, материалов и транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», доктор технических наук (по специальности – 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы), профессор.



Попович Анатолий Анатольевич

«__» апреля 2026 г.

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Эл. почта: director@immet.spbstu.ru.

Тел: 8(812) 294-46-20.

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

