

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»

Традиционный подход к созданию конструкционных материалов, основанный на допировании одного базового элемента малыми добавками легирующих компонентов, в значительной степени исчерпал свой ресурс в обеспечении требований перспективной техники. Переход к концепции многокомпонентного легирования в равных атомных концентрациях привел к фундаментальному сдвигу в материаловедении. Диссертационная работа Московских Д.О. находится на переднем крае этого направления, фокусируясь на создании и исследовании многокомпонентных, так называемых высокоэнтропийных карбидов (ВЭК) — систем, в которых предполагается, что доминирующим фактором стабилизации фаз выступает конфигурационная энтропия смешения. Следует отметить, что доказательства определяющего влияния этого фактора на данный момент не получено.

Тем не менее актуальность темы обусловлена тем, что многокомпонентное легирование в равных атомных концентрациях открывает доступ к ранее недостижимым комбинациям свойств. Исследование природы образования таких многокомпонентных систем — это не просто поиск новых составов, а формирование фундаментальной базы для материалов будущего, способных работать в условиях, где традиционные материалы теряют структурную устойчивость. Развитие данного направления является стратегически важным для отрасли, определяя технологический суверенитет в производстве материалов, способных функционировать в экстремальных условиях эксплуатации.

В качестве научной новизны можно выделить то, что автором выявлен и обоснован механизм «микроструктурной преемственности» в системе Si–C, позволяющий за счет предварительной механической обработки реагентов снизить температуру инициирования СВС на 400 °С и получать субмикронные порошки. Экспериментально подтверждено формирование метастабильных твердых

растворов с ОЦК-структурой и высокой плотностью дефектов при обработке эквивалентных металлических смесей Ta–Ti–Nb–Zr–Hf, что обеспечивает снижение энергетического барьера карбидообразования на 300–500 °С. Автором установлены фундаментальные закономерности реакционного искрового плазменного спекания (РИПС) механоактивированных шихт Si–C и B–C, позволяющие достигать относительной плотности 98,5–99,5% за сверхкороткое время (5–10 мин). Разработаны физико-химические основы синтеза композиционных порошков систем SiC–Ti₃SiC₂ и SiC–Si₃N₄ с прецизионным распределением упрочняющих фаз, а также обнаружен эффект подавления диффузионной коалесценции в многокомпонентных карбидах Ta–Ti–Nb–Zr–Hf–C, снижающий скорость высокотемпературной ползучести на 1–2 порядка. Показан многостадийный механизм окисления данных систем при 1200 °С, определяющий исключительную жаростойкость состава с гафнием за счет формирования барьерного слоя Ta₂Hf₆O₁₇. Также получены приоритетные данные по радиационной стойкости многокомпонентных карбидов, подтверждающие сохранение фазовой однородности и отсутствие макроскопических дефектов при облучении ионами гелия.

Практическая ценность диссертационного исследования подтверждается разработкой и защитой серии оригинальных технологических решений, включая патенты РФ на способы получения субмикронных порошков SiC (№ 2493937), нанокерамики на основе SiC и B₄C (№ 2614006), а также регистрацию ноу-хау на синтез многокомпонентных (высокоэнтропийных) карбидов тугоплавких металлов (№ 2-439-2021 ОИС). Разработанные режимы высокоэнергетической обработки порошковых смесей интегрированы в конструкторскую деятельность ООО МЗ «Активатор» при проектировании планетарных центробежных мельниц, что позволило повысить эффективность оборудования для измельчения и механоактивации тугоплавких материалов.

Результаты работы получили успешную апробацию и внедрение в производственные циклы ООО «Бахметьевский завод» и НПФ «Керамика». Создание технологической инструкции (ТИ 08-263801-2025) позволило организовать выпуск опытных партий керамических вставок SiC, испытания которых в составе абразивоструйных сопел подтвердили увеличение эксплуатационного ресурса на 63%. Полученные крупногабаритные сегменты

керамики (100×100 мм) с твердостью 24,1 ГПа и модулем упругости 450 ГПа продемонстрировали высокую эффективность при работе в условиях интенсивных ударно-динамических нагрузок.

Особую важность представляют результаты испытаний в Национальном ядерном центре Республики Казахстан, подтвердившие радиационную и фазовую стабильность многокомпонентных карбидов при облучении ионами гелия. Сочетание подтвержденной жаростойкости и высокого сопротивления ползучести при температурах до 1600 °С позволило АО «НИИ НПО «ЛУЧ» рекомендовать разработанные композиции для применения в критических узлах ядерных энергетических установок нового поколения, что подчеркивает стратегическое значение диссертационного исследования.

Основные результаты и положения диссертационного исследования прошли всестороннюю апробацию на крупнейших профильных научно-технических форумах и конференциях. Ключевые выводы работы докладывались и обсуждались на более чем 20 международных и всероссийских конференциях.

Высокий уровень апробации подтверждается публикационной активностью автора: результаты исследования изложены в более чем 50 научных работах, из которых 26 статей опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science (включая журналы первого и второго квартилей, такие как Journal of the European Ceramic Society, Ceramics International и др.).

Научная общественность подтвердила значимость представленных результатов не только через публикации, но и через поддержку работы ведущими научными фондами. Диссертационное исследование выполнялось в рамках реализации грантов РНФ (проекты №19-79-10250, №21-79-30051) и РФФИ, что свидетельствует о высоком качестве проведенной экспертизы на этапе планирования и реализации задач. Совокупность представленных данных по апробации позволяет сделать вывод о полной открытости результатов исследования и их признании ведущими специалистами в области материаловедения тугоплавких соединений

В качестве замечания следует отметить, что при исследовании многокомпонентных карбидных систем автором недостаточно полно освещен

вопрос их термодинамической стабильности, тем более это важно для доказательности использования термина “высокоэнтропийные” карбиды.

Представленное замечание не снижает научной значимости работы и не влияет на ее общую положительную оценку.

Диссертационная работа по теме: «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, Московских Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Научный руководитель научного отдела Управления разработки специальных технологий и оборудования Научно-производственной ассоциации «Технопарк Авиационных технологий», г. Уфа

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Шифр научной специальности: 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Салищев Геннадий Алексеевич



Контактные данные: Тел.: +7 (919) 228-46-28, E-mail: gsal47@mail.ru

Адрес места работы: 450112, г. Уфа, ул. Трамвайная, д.5 к.1

Научно-производственная ассоциация «Технопарк Авиационных технологий»

Телефон: +7 (347) 246-04-16

E-mail: tpat@tp-at.ru

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



Салищев Г.А. заверю

Согласен по персоналу

А.С. Рафиков

06.04.2026