

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»

Работа Д.О.Московских посвящена актуальной теме – исследованию синтеза тугоплавких керамических соединений и композиционных материалов на основе карбида кремния, средне- и высокоэнтропийных карбидов металлов с применением сочетания высокоэнергетической механической обработки (ВЭМО) порошковой шихты с самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) и последующей консолидацией продукта методом искрового плазменного спекания (ИПС) и реакционного ИПС (РИПС), что открывает широкие возможности воздействия как на реакционную способность шихты, так и на полноту реагирования и структуру конечного продукта.

Цель исследования заключается в получении новых керамических материалов, обладающих уникальным комплексом свойств, таких как высокотемпературная стабильность, крипоустойчивость, трещиностойкость и высокая жаростойкость, разработке эффективных методов их синтеза с использованием ВЭМО, СВС и РИПС, и выявлении основных экспериментальных закономерностей влияния указанных воздействий на реакционные характеристики порошковой шихты, фазовый состав, структуру и свойства целевого материала.

Полученные соискателем результаты обладают существенной научной новизной. Так, в зависимости от соотношения частот вращения барабанов и диска планетарной мельницы выявлены 3 режима ВЭМО: каскадный (обеспечивающий максимальную эффективность обработки), водопадный и центробежный; установлено формирование наноструктурированных агломератов с высокой плотностью дефектов и большой площадью контакта реагентов; определены оптимальные режимы ВЭМО, обеспечивающие снижение температуры инициирования и повышение полноты реагирования при СВС; установлено влияние режимов механической обработки в порошковых системах Ta–Ti–Nb–Zr–Hf и Ta–Ti–Nb–Zr–Hf–C на формирование нанокристаллических твердых растворов и частичное разупорядочение кристаллической решетки; показана возможность получения однофазного порошка высокоэнтропийного карбида (ВЭК) с высокой степенью гомогенизации при ВЭМО, в то время как низкоэнергетическая механообработка (НЭМО) является эффективным методом изготовления прекурсора для последующих СВС или ИПС; изучены параметры СВС механоактивированных (МА) порошков, структура и состав продукта, показано сильное снижение энергии активации горения в МА-смеси системы Ta–Ti–Nb–Zr–Hf–C; исследованы основные закономерности консолидации порошков, полученных путем ВЭМО и СВС, при ИПС и РИПС. Эти и другие результаты создают научные основы

Практическая значимость работы заключается в определении оптимальных режимов ВЭМО и НЭМО порошковой шихты, обеспечивающих эффективный синтез и консолидацию таких практически значимых керамических соединений как SiC, ВЭК и композитов на их основе; изучении ряда их высокотемпературных свойств; определении механизма ползучести синтезированной ВЭК (Ta,Ti,Nb,Zr,Hf)C при 1400–1600 °C, который важен для определения режимов эксплуатации крипоустойчивых материалов; разработке технологии получения субмикронного СВС-порошка SiC для изделий, способных работать в условиях ударных нагрузок, и технологии синтеза высокоэнтропийных карбидов на основе Hf, Ta, Ti, Nb, Zr, Mo и W.

Результаты работы апробированы и внедрены на НПФ «Керамика» при производстве карбидокремниевой керамики и на ООО «Машиностроительный Завод «Активатор» при проектировании и производстве планетарных мельниц; ВЭК

(Ta,Ti,Nb,Zr,Hf)C с высокой крипоустойчивостью, жаро- и радиационной стойкостью рекомендована к использованию в АО «НИИ НПО «ЛУЧ».

Основные результаты, изложенные в автореферате, опубликованы в 26-ти статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в Scopus и Web of Science, из которых 20 входят в первый квартиль (Q1); получено 2 патента РФ и зарегистрировано 1 ноу-хау.

По автореферату имеются следующие замечания:

1). На стр.15 отмечено, что эффективная энергия активации инициирования СВС в системе Si-C после НЭМО снижается на 20% по сравнению с необработанной смесью. Поскольку после НЭМО шихта представляет собой гранулы, где частицы Si (<1 мкм) “равномерно распределены в нанопористой (~10 нм) аморфной углеродной матрице”, было бы желательно оценить не только кинетику растекания жидкого Si по углероду, но и роль аморфного состояния углерода.

2). На стр.21 указано, что в ВЭМО-смеси Ta-Ti-Nb-Zr-Hf-C энергия активации теплового взрыва (43 кДж/моль) сильно снижается по сравнению с необработанной шихтой (100–200 кДж/моль). Соискатель объясняет это “резким увеличением площади контакта реагентов и формированием наноразмерных центров зарождения продукта твердофазной реакции”. Было бы желательно разработать теоретические оценки этих факторов и, в частности, роли деформационно-ускоренной твердофазной диффузии при ВЭМО, которая может способствовать формированию зародышей.

Замечания не снижают научной и практической ценности результатов исследований. Цели и задачи работы достигнуты, ее научная и практическая значимость не вызывает сомнений. Положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны.

Судя по автореферату, диссертационная работа «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, полностью заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Главный научный сотрудник

Физико-технического института НАН Беларуси,

д.ф.-м.н. (01.04.14 – теплофизика и молекулярная физика),

профессор

Б.Б. Хина

«8» апреля 2026 г.

ул. Академика Купревича, 10, г.Минск, 220084, Беларусь

Эл. почта: khina_brs@mail.ru, khina@phti.by

Тел: +375 29 3029387

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

Подпись Хины Б.Б. удостоверяю:

ученый секретарь ФТИ НАН Беларуси



А.В. Басалай