

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»

Диссертационная работа Московских Д.О. посвящена решению одной из ключевых задач современного материаловедения – созданию новых ультратугоплавких керамических материалов, способных сохранять работоспособность в экстремальных условиях. Интерес к широко известным карбидам кремния и бора (SiC , B_4C), а также высокоэнтропийным карбидным системам обусловлен их уникальным сочетанием свойств. Однако практическая реализация потенциала этих соединений сдерживается технологическими трудностями их синтеза и консолидации. Учитывая огромное количество возможных гипотетических и/или уже изученных комбинаций переходных металлов в составе фаз высокоэнтропийных карбидов, развитие методов синтеза таких соединений и проведение исследований в области оценки их свойств видится крайне важным.

Целью диссертации является разработка научных и технологических основ получения объемных керамических материалов на основе SiC , B_4C и многокомпонентных карбидов систем $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{C}$ и $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{X})\text{C}$ ($\text{X} = \text{Hf}, \text{Mo}, \text{W}$) с использованием комплекса методов ВЭМО, СВС и ИПС/РИПС. Для достижения поставленной цели автором решен ряд взаимосвязанных задач, включая изучение влияния параметров механической обработки на структуру и реакционную способность порошковых смесей, исследование закономерностей фазообразования в волне горения, оптимизацию режимов консолидации и анализ физико-механических свойств полученных материалов.

Работа производит впечатление своим масштабом и методическим разнообразием. В работе с высокоэнтропийными материалами важную роль играют параметры процессов гомогенизации, которые нередко занимают значительные интервалы времени. В этой связи важно, что автором не просто эмпирически подобраны режимы обработки, а проведено глубокое исследование фундаментальных механизмов происходящих процессов. Особо хочется отметить использование высокоскоростной видеосъемки для визуализации движения мелющих тел в планетарной мельнице. Это позволило напрямую связать параметр K (соотношение частот вращения) с типом движения (каскадный, водопадный, центробежный) и, в конечном итоге, с эффективностью активации. Важно, что работа не ограничивается получением порошков, а доведена до создания объемной керамики с

комплексной оценкой свойств, включая такие сложные испытания, как высокотемпературная ползучесть и радиационная стойкость.

Наиболее значимыми научными результатами видятся следующие:

1. Экспериментальное обоснование выбора режима гомогенизации, обеспечивающего одновременно возможности синтеза как ряда известных, в том числе модельных, соединений, так и высокоэнтропийных.
2. Установление принципиально различных механизмов горения в многокомпонентных системах: жидкофазного для $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{C}$ и твердофазного с сохранением субмикронной структуры для $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$.
3. Выявление многостадийного механизма окисления высокоэнтропийного карбида $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$ и определение ключевой роли фазы $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$ в формировании высокоэффективного защитного барьера, что обеспечивает этому материалу наивысшую жаростойкость среди исследованных аналогов.
4. Детальный анализ механизмов высокотемпературной ползучести, показавший доминирование дислокационного скольжения и позволивший идентифицировать активную систему скольжения, характерную для структуры NaCl .

Практическая ценность работы подтверждена конкретными внедрениями. В частности, разработанные режимы ВЭМО применяются при проектировании промышленных мельниц на заводе «Активатор». Высокоэнтропийная керамика $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$, прошедшая испытания на радиационную стойкость, рекомендована для использования АО «НИИ НПО «ЛУЧ». Получено 2 патента РФ и зарегистрировано ноу-хау.

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.

Автореферат написан понятным языком, хорошо оформлен, научная и практическая значимость не вызывает сомнений. Положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны и логически обоснованы.

В качестве замечаний и вопросов можно отметить следующие.

1. Несмотря на детализированное представление сведений об обработке материалов в мельницах, не раскрыт вопрос о поверхностном окислении частиц, возможности самопроизвольного воспламенения шихты при открытии «стаканов» и контакте с кислородом воздуха, особенно для порошков, содержащих титан, цирконий;
2. перечисление химических элементов «не по порядку атомных масс» в составе формул многокомпонентных материалов затрудняет чтение;

3. несмотря на высокое качество оформления работы в целом отдельные опечатки все же присутствуют (например, с. 18).

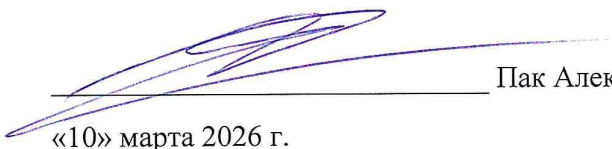
4. в большинстве экспериментальных работ, затрагивающих вопросы синтеза высокоэнтропийных карбидов, в полученных материалах можно идентифицировать не только главную фазу искомого карбида, но следы оксидов, материала помольных тел, карбидов отдельных металлов и исходных металлов, в этой связи возникает вопрос о том, насколько точно соответствуют составы получаемых материалов химическим формулам, которыми их обозначили;

Данные замечания не затрагивают сущности работы, положений, выносимых на защиту, носят исключительно рекомендательный или дискуссионный 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 её автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Заведующий лабораторией перспективных материалов энергетической отрасли, Томский политехнический университет, доктор технических наук (1.3.8 – Физика конденсированного состояния), доцент, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30.

Эл. почта: ayarak@tpu.ru, тел: 8-3822-701-777 доб. 2316


Пак Александр Яковлевич
«10» марта 2026 г.

Подпись заверяю:

Ученый секретарь ТПУ


Новикова Валерия Дмитриевна



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

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»

Диссертационная работа Московских Д.О. посвящена решению одной из ключевых задач современного материаловедения – созданию новых ультратугоплавких керамических материалов, способных сохранять работоспособность в экстремальных условиях. Интерес к широко известным карбидам кремния и бора (SiC , B_4C), а также высокоэнтропийным карбидным системам обусловлен их уникальным сочетанием свойств. Однако практическая реализация потенциала этих соединений сдерживается технологическими трудностями их синтеза и консолидации. Учитывая огромное количество возможных гипотетических и/или уже изученных комбинаций переходных металлов в составе фаз высокоэнтропийных карбидов, развитие методов синтеза таких соединений и проведение исследований в области оценки их свойств видится крайне важным.

Целью диссертации является разработка научных и технологических основ получения объемных керамических материалов на основе SiC , B_4C и многокомпонентных карбидов систем $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{C}$ и $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{X})\text{C}$ ($\text{X} = \text{Hf}, \text{Mo}, \text{W}$) с использованием комплекса методов ВЭМО, СВС и ИПС/РИПС. Для достижения поставленной цели автором решен ряд взаимосвязанных задач, включая изучение влияния параметров механической обработки на структуру и реакционную способность порошковых смесей, исследование закономерностей фазообразования в волне горения, оптимизацию режимов консолидации и анализ физико-механических свойств полученных материалов.

Работа производит впечатление своим масштабом и методическим разнообразием. В работе с высокоэнтропийными материалами важную роль играют параметры процессов гомогенизации, которые нередко занимают значительные интервалы времени. В этой связи важно, что автором не просто эмпирически подобраны режимы обработки, а проведено глубокое исследование фундаментальных механизмов происходящих процессов. Особо хочется отметить использование высокоскоростной видеосъемки для визуализации движения мелющих тел в планетарной мельнице. Это позволило напрямую связать параметр K (соотношение частот вращения) с типом движения (каскадный, водопадный, центробежный) и, в конечном итоге, с эффективностью активации. Важно, что работа не ограничивается получением порошков, а доведена до создания объемной керамики с

комплексной оценкой свойств, включая такие сложные испытания, как высокотемпературная ползучесть и радиационная стойкость.

Наиболее значимыми научными результатами видятся следующие:

1. Экспериментальное обоснование выбора режима гомогенизации, обеспечивающего одновременно возможности синтеза как ряда известных, в том числе модельных, соединений, так и высокоэнтропийных.
2. Установление принципиально различных механизмов горения в многокомпонентных системах: жидкофазного для $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr})\text{C}$ и твердофазного с сохранением субмикронной структуры для $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$.
3. Выявление многостадийного механизма окисления высокоэнтропийного карбида $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$ и определение ключевой роли фазы $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$ в формировании высокоэффективного защитного барьера, что обеспечивает этому материалу наивысшую жаростойкость среди исследованных аналогов.
4. Детальный анализ механизмов высокотемпературной ползучести, показавший доминирование дислокационного скольжения и позволивший идентифицировать активную систему скольжения, характерную для структуры NaCl .

Практическая ценность работы подтверждена конкретными внедрениями. В частности, разработанные режимы ВЭМО применяются при проектировании промышленных мельниц на заводе «Активатор». Высокоэнтропийная керамика $(\text{Ta}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$, прошедшая испытания на радиационную стойкость, рекомендована для использования АО «НИИ НПО «ЛУЧ». Получено 2 патента РФ и зарегистрировано ноу-хау.

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.

Аннотация написана понятным языком, хорошо оформлена, научная и практическая значимость не вызывает сомнений. Положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны и логически обоснованы.

В качестве замечаний и вопросов можно отметить следующие.

1. Несмотря на детализированное представление сведений об обработке материалов в мельницах, не раскрыт вопрос о поверхностном окислении частиц, возможности самопроизвольного воспламенения шихты при открытии «стаканов» и контакте с кислородом воздуха, особенно для порошков, содержащих титан, цирконий;
2. перечисление химических элементов «не по порядку атомных масс» в составе формул многокомпонентных материалов затрудняет чтение;

3. несмотря на высокое качество оформления работы в целом отдельные опечатки все же присутствуют (например, с. 18).


4. в большинстве экспериментальных работ, затрагивающих вопросы синтеза высокоэнтропийных карбидов, в полученных материалах можно идентифицировать не только главную фазу искомого карбида, но следы оксидов, материала помольных тел, карбидов отдельных металлов и исходных металлов, в этой связи возникает вопрос о том, насколько точно соответствуют составы получаемых материалов химическим формулам, которыми их обозначили;

Данные замечания не затрагивают сущности работы, положений, выносимых на защиту, носят исключительно рекомендательный или дискуссионный 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»

Заведующий лабораторией перспективных материалов энергетической отрасли, Томский политехнический университет, доктор технических наук (1.3.8 – Физика конденсированного состояния), доцент, г. Томск, 634050, пр. Ленина, 30.

Эл. почта: ayurak@tpu.ru, тел: 8-3822-701-777 доб. 2316


Пак Александр Яковлевич
«10» марта 2026 г.

Подпись заверяю:

Ученый секретарь ТПУ


Новикова Валерия Дмитриевна



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