

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 решению актуальной научно-технической проблемы — разработке научных основ и технологических подходов к созданию тугоплавких керамических материалов с улучшенным комплексом эксплуатационных характеристик. Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки отечественных материалов нового поколения, способных сохранять структурную стабильность и высокую механическую прочность при экстремальных температурах, в окислительных средах и при радиационном воздействии. Решение данной задачи имеет важное значение для развития аэрокосмической техники, атомной энергетики и высокотехнологичного машиностроения.

Особое внимание в работе уделено высокоэнтропийным карбидам (ВЭК) — новому классу керамических материалов, содержащих несколько металлических компонентов в близких концентрациях. Благодаря сложному химическому составу и связанным с ним искажениям кристаллической решетки такие материалы демонстрируют уникальный комплекс свойств, включая высокую твердость, повышенную трещиностойкость, низкие скорости высокотемпературной ползучести, а также высокую жаростойкость и радиационную стабильность. В диссертации показано, что введение гафния в состав карбидной системы $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ способствует формированию однофазного твердого раствора с субмикронной структурой, повышает температуру начала окисления и приводит к образованию защитного оксидного слоя $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$, эффективно препятствующего диффузии кислорода. Установленные закономерности высокотемпературного окисления многокомпонентных карбидов имеют важное значение для понимания процессов, определяющих их эксплуатационную устойчивость.

В работе получен ряд результатов, обладающих научной новизной. С использованием высокоскоростной видеосъемки экспериментально верифицированы режимы движения мелющих тел в планетарной мельнице и установлена связь между кинематическим параметром K и эффективностью механической активации порошковых смесей. Выявлен эффект микроструктурной наследственности при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе в системе $\text{Si}-\text{C}$, обусловленный

сверхбыстрой кинетикой капиллярной инфильтрации и диффузии, что обеспечивает сохранение наноразмерной структуры исходных частиц в продуктах горения. Установлены особенности горения в многокомпонентных карбидных системах, показано влияние гафния на механизм протекания реакции и формирование субмикронной структуры зерен. Определен многостадийный механизм окисления высокоэнтропийного карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ с образованием защитного оксидного слоя $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$. Кроме того, для высокоэнтропийных карбидов идентифицирована активная система дислокационного скольжения и установлены механизмы высокотемпературной ползучести.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологических решений по получению перспективных карбидных материалов. По результатам исследований получено два патента Российской Федерации и зарегистрировано одно ноу-хау на способы получения субмикронного порошка карбида кремния, наноструктурированной керамики и высокоэнтропийных карбидов. Разработана технологическая инструкция ТИ 08-263801-2025, на основе которой изготовлена опытная партия керамических вставок для абразивоструйных сопел, показавших увеличение ресурса на 63 %. Результаты внедрены на двух предприятиях РФ, НПФ «Керамика» и ООО «Активатор». Высокоэнтропийная керамика $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$, прошедшая испытания на радиационную стойкость, рекомендована к применению в АО «НИИ НПО «ЛУЧ».

Следует отметить высокую публикационную активность автора: по теме диссертации опубликовано 26 статей в журналах, индексируемых в базах ВАК и Scopus, а основные результаты работы представлены на международных научных конференциях.

По автореферату имеется следующее замечание.

При анализе радиационной стойкости автор приводит дозу облучения ионами гелия $(1-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Вместе с тем для корректной оценки радиационного воздействия целесообразно представить дозу облучения также в смещениях на атом (dpa – displacements per atom), поскольку именно этот параметр позволяет сопоставлять полученные результаты с литературными данными и оценивать вероятность возникновения радиационно-индуцированных дефектов, таких как аморфизация, образование газовых пузырей и дислокационных петель.

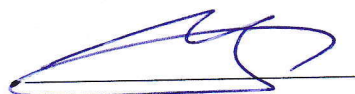
Указанное замечание носит рекомендательный характер и не снижает научной и практической значимости представленной работы. В целом диссертационная работа Д.О. Московских является завершенным научно-квалификационным исследованием, результаты которого имеют научную новизну и практическую значимость.

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».

Профессор кафедры физики твердого тела и нанотехнологий физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук (01.04.07 – физика конденсированного состояния), 220030 Минск, Беларусь, пр-т Независимости 4, Белорусский государственный университет.

Профессор кафедры физики твердого тела
и нанотехнологий физического факультета
Белорусского государственного университета

 В.В. Углов

«11» марта 2026 г.

Эл. почта: Uglov@bsu.by

Тел: +375 29 321 71 77

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



