

## 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»

В наше время, прогресс в развитии авиационной и космической техники (особенно ее тепловой и химической защиты) стоит на переднем крае технической науки. Для обеспечения суверенитета Российской Федерации, - крайне необходимы детальные знания увеличения прочности, тугоплавкости, долговечности, максимальной эффективности материалов, которые используются для нужд авиационной и космической техники.

В этой связи спектр прикладных работ Д.О. Московских, включающих научный подход к исследованию тугоплавких материалов, является глубоким в научном отношении и в то же время, - крайне важным для современного развития материаловедения в интересах промышленности и обороны Российской Федерации.

Обратимся к тексту Автореферата, автор отмечает, что (цитата):

*«прогнозирование фазовых переходов в высокоэнтропийных сплавах имеют решающее значение для проектирования сплавов и оптимизации их характеристик.*

*Уникальность высокоэнтропийных сплавов характеризуется:*  
- *высокой термодинамической стабильностью существования твердого раствора;*  
- *высокой прочностью, жаропрочностью, жаростойкостью, устойчивостью к ползучести и коррозионной стойкостью в различных средах».*

Автор обращает внимание на необходимость добавления в сплавы элементов с большой величиной отрицательной энергией смешения. Это прежде всего, Al, Si, C, B, Ti и т.д. в различных сочетаниях.

Из шести Основных положений, выносимых на защиту, выделим два (№2 и №5) наиболее значимых в наших экспериментах импульсного микросекундного нагрева многокомпонентных карбидов (до 5000 К).

#### **Основное положение №2.**

*«Особенности протекания СВС в низкоэкзотермической системе Si–C, а также в многокомпонентной системе Ta–Ti–Nb–Zr–Hf–C» (т.е. участием гафния).*

*«В системе Si–C реакция протекает без растекания жидкой фазы с сохранением микроструктуры исходной смеси с размером зерен 50–200 нм».*

И далее; для системы с участием гафния: *«Ta–Ti–Nb–Zr–Hf–C ( $T_m = 1740$  °C) горение протекает преимущественно в твёрдой фазе с сохранением исходной микроструктуры и формированием субмикронных ...зёрен».*

Таким образом, многокомпонентная система (с участием соединений гафния) – дает в результате протекания реакции СВС – размер конечного зерна – меньше микрона!

Этот момент чрезвычайно важен для импульсного микросекундного нагрева проводников, поскольку при размерах зерна (порядка 100 микрон и более), значительно

увеличивается разрыв регистрации области начала плавления и его завершения. (Заметим, что это только **одна из причин этого расхождения**, но «она лежит на поверхности»).

В работе: «Экспериментальное определение температуры плавления диборида гафния», Авторы: Онуфриев С.В., Савватимский А.И., **Московских Д.О.** (находится в печати, в журнале Теплофизика высоких температур) – дадим цитату из этой публикации):

*«Для диборида гафния ( $\text{HfB}_2$ ) с размером исходного зерна  $\sim 100$  микрон, плавление начинается при **3350 К**, а завершается при **3850 К**. Разница температур составляет 500 К. По-нашему мнению это расхождение можно объяснить следующим образом. При  $T = 3350$  К (первая точка изменения температурного хода) начинает плавиться поверхность кристаллитов (размер кристаллитов – порядка 100 микрон), - это и есть температура плавления  $\text{HfB}_2$ . Но пока продолжает расплавляться весь объем кристаллита, его поверхность продолжает нагреваться выше 3350 К (**непрерывное выделение энергии при джоулевым нагреве**). Поэтому к моменту полного расплавления кристаллита, его поверхность достигает температуры 3850 К (это вторая точка изменения температурного хода на осциллограмме). Это различие в 500 К между двумя точками (внутри и снаружи кристаллитов) быстро сглаживается в жидкой фазе».* (цитата из статьи Онуфриев С.В., Савватимский А.И., **Московских Д.О.**, которая печатается в журнале ТВТ – закончена).

Это только одна из причин расхождения температур начала и окончания плавления при быстром нагреве. Есть еще более серьезные физические причины, которые надо обсуждать в отдельных публикациях.

#### **Основное положение №5.**

*«Механизмы окисления многокомпонентных карбидов, включая установление стадийности процесса и законов окисления, а также роли защитного оксида  $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$ , повышающего температурный порог окисления ( $\text{Ta}_{0,2}\text{Ti}_{0,2}\text{Nb}_{0,2}\text{Zr}_{0,2}\text{Hf}_{0,2}$ )С на 110 °С и расширяющего интервал интенсивного окисления на 345 °С по сравнению с ( $\text{Ta}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{Nb}_{0,25}\text{Zr}_{0,25}$ )С».*

Т.е необходимо присутствие гафния Hf и кислорода  $\text{O}_2$  (защитного оксида) в виде соединения  $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$  - для повышения температуры интенсивного окисления.

Завершая Отзыв на Автореферат докторской диссертации Д.О. Московских и отмечая его высокую квалификацию в его специализации, а также его неоценимый вклад в развитие методики импульсного микросекундного нагрева проводников, прошу предоставит ему все возможности для успешной защиты (заслуженной им) докторской степени.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации Д.О.Московских, 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.

Замечаний по рассматриваемой работе – не имеется.

Диссертационная работа по теме: «Получение бинарных и многокомпонентных карбидов с использованием СВЧ, 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».

Гл.н.с. Объединного института высоких температур РАН, доктор технических наук, диплом ДК № 003669 от 9 июня 2000 г (Специальность: теплофизика и молекулярная физика),

Адрес: 117574 Москва, Вильнюсская ул., д.8, корп.2, кв.630

Савватимский Александр Иванович

« 27 » февраля 2026 г.

Эл. почта: [savvatimskiy.alexander@gmail.com](mailto:savvatimskiy.alexander@gmail.com)

Моб. Тел: 8(967)170-95-61

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

Подпись:



Подпись Савватимского А.И. заверяю:

