

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Седегова Алексея Сергеевича на тему: «Разработка высокоэнтропийных керамических материалов на основе тугоплавких карбидов $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrX})\text{C}$ ($\text{X} = \text{Hf}, \text{W}, \text{Mo}$) методами СВС и искового плазменного спекания», представленной на соискание ученой степени по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 27 сентября 2023 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 27 июня 2023 года, протокол №12.

Диссертация выполнена на кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Московских Дмитрий Олегович, кандидат технических наук, директор научно-исследовательского центра «Конструкционные керамические наноматериалы» НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 12 от 27.06.2023) в составе:

1. Левашов Евгений Александрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС, директор научно-учебного центра СВС МИСИС-ИСМАН (НУЦ СВС) - председатель комиссии
2. Петржик Михаил Иванович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «In situ диагностика структурных превращений» НУЦ СВС, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС;
3. Еремеева Жанна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ МИСИС;
4. Шляпин Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов», «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

5. Курганова Юлия Анатольевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана схема получения однофазных высокоэнтропийных многокомпонентных карбидов $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ путем комбинации методов высокоэнергетической механической обработки (механохимический синтез МХС-ВЭМО), самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и искрового плазменного спекания, (ИПС), основанная на теоретическом анализе и расчете критерия формирования однофазной структуры в высокоэнтропийных материалах с использованием метода первопринципных расчетов (ab-initio) для определения фактора энтропийной стабилизации (ЕФА), позволившая унифицировать подходы к консолидации различных композиционных материалов и выявить качественно новые закономерности структуро- и фазообразования в процессах СВС и ИПС;

доказана перспективность применения методов высокоэнергетической механической обработки и СВС для получения порошков высокоэнтропийных тугоплавких карбидов, имеющих высокие механические и теплофизические свойства;

доказана перспективность практического использования высокоэнтропийного многокомпонентного карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ для изготовления тепловыделяющих элементов, работающих при температурах выше $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ при потоке нейтронов интенсивностью до $5 \cdot 10^7 \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (Акт испытаний от 03.06.2022 г, на радиационную стойкость структурно-фазового состояния карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$, полученный в Белорусском государственном университете);

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

доказаны положения о том, что на формирование структуры порошков $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr})\text{C}$ и $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr/Hf})\text{C}$ в процессе СВС значительное влияние оказывает дисперсность реакционной смеси: в случае использования наноразмерной смеси $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr/Hf})\text{C}$ наследуется морфология исходной, а для субмикронной $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr})\text{C}$

наблюдается образование кольцевых структур зерен, что объясняется разной скоростью кристаллизации в волне горения субмикронных и наноразмерных объемов;

применительно к проблематике диссертации результативно с получением обладающих новизной результатов **использован комплекс** инструментальных методов исследования (сканирующая и просвечивающая микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ, синхронный термический анализ, анализ лазерной вспышки), а также использована численная методика расчета из первых принципов для определения фактора энтропийной стабилизации (EFA) с целью выбора составов, обладающих наибольшей фазовой стабильностью, и прогнозирования физико-механических свойств компактной керамики;

изложены условия высокоэнергетической механической обработки (ВЭМО) порошковых смесей $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr})/\text{C}$ и $(\text{Ta/Ti/Nb/Zr/X})/\text{C}$, при которых происходит формирование реакционных смесей с наноразмерными чередующимися слоями металлов и углерода, обеспечивающих проведение синтеза в режиме горения;

выявлены особенности механизма высокотемпературного окисления карбидов $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrX})\text{C}$ (где $\text{X} = \text{Hf}, \text{W}, \text{Mo}$), заключающегося в том, что для состава $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ в интервале от 800 до 1200 °C наблюдается образование на поверхности тонких беспористых защитных плёнок, состоящих из TiNb_2O_7 $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$, что обеспечивает повышение жаростойкости в сравнении с другими составами;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан способ получения высокоэнтропийных карбидов на основе тугоплавких металлов Hf, Ta, Ti, Nb, Zr, Mo и W (свидетельство о регистрации ноу-хау № 2-439-2021 от 19.04.2021 г);

разработана технологическая инструкция ТИ 10-253352-2022 на процесс изготовления порошка высокоэнтропийного карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;

определены высокотемпературные теплофизические свойства высокоэнтропийного карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ в диапазоне температур от 2500 до 5500 K, определены теплота плавления (1,4 кДж/г), температуры солидуса и ликвидуса (3900 и 4300 K);

на основе проведенных стендовых испытаний на радиационную стойкость структурно-фазового состояния спеченных образцов высокоэнтропийного карбида $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ установлено, что керамические материалы, полученные комбинацией методов СВС и ИПС, могут быть рекомендованы для изготовления тепловыделяющих элементов, работающих при температурах выше 1000 °C при потоке нейтронов

интенсивностью до $5 \cdot 10^7 \cdot \text{см}^{-7} \cdot \text{с}^{-1}$ (акт испытаний от 03.06.2022, получен в Белорусском государственном университете).

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

Для экспериментальных исследований использовано передовое аналитическое оборудование. Оценка результатов произведена с использованием статистических методов обработки. Идея работы базируется на анализе общемирового опыта в области теории и практики производства изделий методами МХС-ВЭМО, СВС, ИПС.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической информации по теме исследования, в получении и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов. Обсуждение и интерпретация результатов, формулировка основных положений, научной новизны, практической значимости и выводов диссертационной работы производилась совместно с научным руководителем и соавторами публикаций.

Соискатель представил 11 статей в рецензируемых журналах из перечня утвержденного Минобрнауки России и входящих в издания, индексируемые в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus, 6 тезисов докладов в сборниках трудов международных научных конференций и 1 «Ноу-хау».

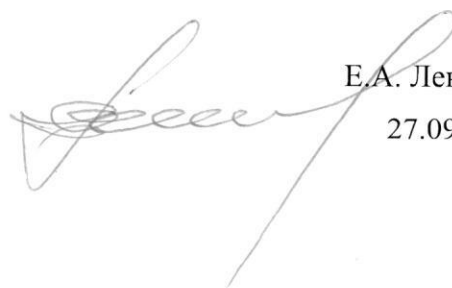
Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Седегова Алексея Сергеевича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно-обоснованные технические и технологические решения задачи синтеза нового класса высокоэнтропийных материалов, имеющие высокий потенциал и существенное значение для развития различных отраслей промышленности страны.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Седегову Алексею Сергеевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



Е.А. Левашов

27.09.2023г.