

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Седегова Алексея Сергеевича «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 искрового плазменного спекания» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Высокоэнтропийные керамические материалы представляют новый класс материалов, который обладает рядом уникальных свойств. Высокоэнтропийный карбид является твердым раствором из четырех и более переходных металлов и углерода в почти эквимольных соотношениях или, по крайней мере, с содержанием каждого элемента от 5 до 35 ат. % в однофазной структуре. Высокий уровень конфигурационной энтропии положительно сказывается на свойствах материала. Большое количество сочетаний по 4-5 металлов и углерода (бора, азота) позволяет надеяться на создание в ближайшем будущем новых ультратугоплавких материалов с близкими к рекордным теплофизическим характеристикам. Благодаря своим высоким механическим свойствам при повышенных температурах, высоким температурам плавления, повышенному сопротивлению окислению и высокой фазовой стабильности высокоэнтропийная керамика может найти применение в современной авиационной и космической технике, а также в других отраслях промышленности, в том числе ядерной. Свойства монокарбидов уже не удовлетворяют потребности современных технологий. Исследования высокоэнтропийной керамики, ее применение представляют существенный научный и практический интерес. Представленная диссертационная работа, целью которой является разработка и получение ВЭ карбидов составов $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrX})\text{C}$ ($\text{X} = \text{Mo}, \text{W}, \text{Hf}$) комбинацией методов ВЭМО, СВС и ИПС и определение технологических параметров для обеспечения высоких физико-механических свойств относится именно к этому направлению и потому она является актуальной.

Содержание и последовательность задач, решаемых автором для достижения сформулированной цели, свидетельствует о глубокой теоретической и экспериментальной подготовке соискателя и большом объеме литературных источников, проанализированных автором. Анализ основного содержания работы свидетельствует о большом объеме экспериментальных исследований (методами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механохимического синтеза), структур высокоэнтропийных карбидов в зависимости от различных исходных параметров (длительность гомогенизации, состав исходной смеси и др.). Автором оценены механические характеристики (твердость, трещиностойкость,

плотность, значения модулей Юнга и др.) полученной керамики. Также автором проведены исследования высокотемпературного окисления, газодинамические испытания, исследования радиационной стойкости. Результаты подтверждают все положения, выносимые на защиту. Есть все основания сделать заключение, что представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы. В представленной работе, без сомнения, присутствуют элементы новизны, и практической ценности, что подтверждается, в том числе, патентом РФ № 2692352, где соискатель является соавтором.

Необходимо отметить, что результаты диссертационной работы апробированы в научном сообществе РФ на Международных и Всероссийских конференциях и представлены в 11 публикации, из которых 8 статей в журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus и WOS, получен патент РФ, секрет производства (ноу-хау) и технологическая инструкция.

Можно отметить некоторые замечания по работе:

1. цель работы сформулирована как «разработка и получение ВЭ карбидов» определенных составов определенными методами, однако, из текста автореферата до раздела «цели», неясно, почему выбраны именно эти составы ВЭ карбидов;
2. в тексте автореферата освещен в минимальных подробностях вопрос примесей ввиду намола материала шаров и размольного стакана (железа), доли железа в продуктах синтеза; приведены доводы о выборе определенных режимов, но количественные характеристики в явном виде не прописаны (с.11);
3. следует пояснить, в какой форме находится кислород (только в составе оксидов циркония-гафния, или может быть присутствие твердого раствора кислорода), влияет ли наличие кислорода на параметр решетки; также кубические структуры карбидов типа NaCl склонны к образованию нестехиометричных соединений с вакансиями по углероду; что, очевидно, влияет на параметр решетки, что может вносить коррективы в сравнении расчетных данных и экспериментальных; данные вопросы не освещены в тексте автореферата;

Обозначенные замечания не затрагивают основного содержания работы, выводов, положений, выносимых на защиту, не снижают научной и практической ценности работы. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, одновременно охватывает области цифрового дизайна материалов, их синтеза и оценки свойств, что говорит об ее комплексности, широком спектре компетенций соискателя.

Диссертационная работа Седегова А.С. «Разработка высокоэнтропийных керамических материалов на основе тугоплавких карбидов (TaTiNbZr)C и

(TaTiNbZrX)C (X= Hf, W, Mo) методами СВС и искрового плазменного спекания» отвечает всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным «Положениями о порядке присуждения ученых степеней Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Пак Александр Яковлевич

доктор технических наук (специальность 1.3.8. – Физика конденсированного состояния) заведующий лабораторией перспективных материалов энергетической отрасли Инженерной школы энергетики Томского политехнического университета.

634050 г. Томск пр. Ленина, 30. ФГАОУ ВО НИ ТПУ
ayapak@tpu.ru, 8-953-922-00-03

Даю согласие на обработку персональных данных.

06.09.2023



А.Я. Пак

Подпись Пак А.Я. «ЗАВЕРЯЮ»

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ Кулинич Екатерина Александровна



Е.А. Кулинич