

## 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 СВЧ И ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Диссертационная работа посвящена разработке высокоэнтропийной керамики на основе переходных металлов IV-V групп Периодической системы и углерода, возможностям их синтеза методами ВЭМО, СВЧ и ИПС, а также исследованиям физико-механических свойств в компактном состоянии. Диссертационная работа является комплексной и имеет фундаментальный характер. Помимо основной технологической части, где исследуется возможность получения высокоэнтропийной керамики методами СВЧ и ИПС, работа содержит в себе часть физики конденсированного состояния, которая выражается в квантово-механических расчетах в совокупности с различными методами создания кристаллических структур (SQS, AFLOW), что позволило на начальных этапах спрогнозировать стабильность различных композиций и выбрать 4 наиболее стабильных из них и предсказать некоторые физические и механические свойства, что позже подтвердилось в рамках проведенных экспериментов.

Научная новизна работы прежде всего заключается в определении на основе первопринципных методов расчета составов  $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$ ,  $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2})\text{C}$ ,  $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{W}_{0.2})\text{C}$  и  $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Mo}_{0.2})\text{C}$ , термодинамическая стабильность которых подтверждена экспериментально. Исследовано структурообразование при ВЭМО, СВЧ и ИПС высокоэнтропийных карбидов. Также особый научный интерес представляют результаты исследования высокотемпературного окисления полученных композиций, что позволило проследить эволюцию структуры окисленного слоя при повышении температуры и сформировать механизм окисления высокоэнтропийных карбидов и влияния состава на него.

Практическая значимость работы заключается в том, что показана возможность синтеза и консолидации высокоэнтропийных карбидов методами высокоэнергетического размола с последующим самораспространяющимся высокотемпературным синтезом и искровым плазменным спеканием. Автором экспериментально определены скорости массовой и линейной абляции для составов  $(\text{TaTiNbZrW})\text{C}$  и  $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$  в условиях высокоэнтальпийного газового потока. Экспериментально показано, что синтезированные по технологии ВЭМО+СВЧ+ИПС карбиды проявляют высокие теплофизические свойства. Установлено, что при высокотемпературном изотермическом окислении жаростойкость синтезируемых карбидов превосходит монокарбиды переходных металлов, входящих в состав той или иной композиции за счет образования комплексных оксидов. Для состава  $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$  определена величина разбухания решетки (3 %) при облучении ионами  $\text{He}^+$  низких энергий. Определена экспериментальная температура плавления  $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$ , которая составила  $4300 \pm 80$  К. Автор показал перспективность высокоэнтропийной керамики для работы в экстремальных условиях. Более того, в рамках работы разработана 1 технологическая инструкция и получены 1 секрет производства (ноу-хау) и 1 патент РФ.

Автореферат диссертации написан научным и понятным языком с использованием общепринятой терминологии. Исследования проведены на современном оборудовании с привлечением современных методик. По материалам диссертации у автора имеется 11 публикаций, в том числе 8 статей в журналах из перечня ВАК и базы данных Scopus, Web

of Science. Материалы диссертации доложены на множестве научных конференций как в России, так и за рубежом.

В качестве замечаний и пожеланий можно выделить следующие:

1. Более логично было бы выстроить структуру работы таким образом, чтобы расчеты и результаты моделирования свойств композиций (5 глава) были изложены в третьей главе, тем самым давая стимул к экспериментальному подтверждению теоретических выкладок;

2. Известно, что высокоэнергетическая механическая обработка приводит к загрязнению порошка материалом мелющих тел, однако, в работе не проведен химический анализ порошка до и после размола. Также не рассмотрены варианты использования мелющих тел на основе керамических материалов, что могло бы исключить намол железа при высокоэнергетических режимах механической обработки.

Сделанные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертационной работы и не влияют на значимость полученных результатов. Диссертационная работа является законченным научным исследованием и соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в 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.

Профессор кафедры «Машиностроение и Материаловедение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», доктор технических наук (на стыке 05.16.09 и 01.04.07), 300012, г. Тула, пр. Ленина, д.92.

 \_\_\_\_\_ Маркова Галина Викторовна

20 09 2023 г.

Эл. почта: galv.mark@rambler.ru

Тел: +7 (920) 276-41-46

Автор отзыва дает согласие на обработку персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Седегова А.С.

