

Отзыв
на автореферат диссертации
Седегова Алексея Сергеевича
«РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДОВ (TaTiNbZr)C И
(TaTiNbZrX)C (X= Hf, W, Mo) МЕТОДАМИ СВС И ИСКРОВОГО
ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является одним из перспективных методов получения керамических материалов различного назначения, в том числе высокоэнтروпийных (ВЭ) карбидов - сравнительно молодого класса материалов, технологии получения которых еще не получили должного развития. В связи с этим разработка новых составов высокоэнтропийных карбидов, изучение возможности их синтеза методом СВС и консолидации методом искрового плазменного спекания, а также исследование физико-механических свойств полученных новых материалов является актуальной научной задачей и определяет актуальность диссертационной работы Седегова А.С.

При решении этой задачи диссертант получил ряд новых важных научных результатов. При помощи метода первопринципных расчетов (*ab-initio*) для определения фактора энтропийной стабилизации (ЕФА) предложены 4 состава ВЭ карбидов на основе переходных металлов 4-6 групп периодической таблицы: $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$, $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2})\text{C}$, $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{W}_{0.2})\text{C}$ и $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Mo}_{0.2})\text{C}$, обладающих высоким значением ЕФА, говорящем о их фазовой стабильности. Получены новые экспериментальные данные о высокотемпературном окислении карбида $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$ и влиянии легирования Hf, Mo и W на его жаростойкость. Показано, что легирование Hf обеспечивает наилучшую жаростойкость, повышая ее более чем в 2 раза, что достигается за счет образования комплексных оксидов типа TiNb_2O_7 и $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$. Установлена закономерность формирования структуры и механизм окисления высокоэнтропийного карбида состава $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2})\text{C}$ в температурном диапазоне от 25 до 1200 °C с эволюцией структуры оксидного слоя при повышении температуры: $\text{ZrO}_2 \rightarrow \text{Me}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17} \rightarrow \text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17} + \text{TiNb}_2\text{O}_7$. Изучены особенности процесса структурообразования $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$ и $(\text{Ta}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2})\text{C}$ карбидов при СВС. Показано, что в обоих случаях формирование продукта происходит через жидкую фазу, однако, дисперсность реакционной среды значительно влияет на структуру конечного продукта. В случае наноразмерной реакционной смеси (Ta/Ti/Nb/Zr/Hf)/C морфология исходной смеси наследуется СВС порошком, а для субмикронной реакционной смеси (Ta/Ti/Nb/Zr)/C происходит образование кольцевых структур зерен, что объясняется разной скоростью кристаллизации субмикронных и наноразмерных объемов при СВС. Впервые определены высокотемпературные теплофизические свойства $(\text{Ta}_{0.25}\text{Ti}_{0.25}\text{Nb}_{0.25}\text{Zr}_{0.25})\text{C}$ в диапазоне температур от 2500 до 5500 К, теплота плавления (1,4 кДж/г), температуры солидуса и ликвидуса (3900 и 4300 К), зависимости энтальпии от температуры: $H(T) = -0,646 + 8,52 \cdot 10^{-4} T$ (кДж/г) – твердая фаза; $H(T) = 1,055 + 7,49 \cdot 10^{-4} T$ (кДж/г) – жидкая фаза.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что разработаны составы и определены оптимальные режимы для получения порошков ВЭ карбидов, зарегистрированные в виде ноу-хау в депозитарии НИТУ МИСИС. В Белорусском государственном университете проведена апробация ВЭ керамик на радиационную стойкость и показана их пригодность для изготовления тепловыделяющих элементов, работающих в условиях потоков нейтронов. В Институте тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН

Беларуси проведены испытания $(\text{TaTiNbZrW})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ в условиях высокоэнтальпийного газового потока мощностью 2,4 МВт/м² и определены значения массовой и линейной скорости абляции 34,8 и 16,1 мг·с⁻¹, 3,76 и 2,22 мкм·с⁻¹, соответственно. Экспериментально и теоретически определены значения твердости, механической прочности и модулей упругости. Установлено, что расчёты значений данных характеристик, проводимые в рамках теории функционала плотности методом AFLOW находятся в хорошем согласовании с полученными экспериментальными данными. Экспериментально показано, что синтезированные по технологии ВЭМО+СВС+ИПС ВЭ карбиды проявляют высокие теплофизические свойства и перспективны для высокотемпературных применений.

Замечания по автореферату:

1. Не определен процент примеси железа в порошке $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ после механохимического синтеза (МХС) в течение 60 минут (рисунок 2).
2. Нет обоснования выбора для проведения СВС углерода в виде графита, а не значительно более мелкой сажи, которая могла обеспечить более равномерное распределение углерода в конечном продукте.
3. На стр. 14 указано содержание кислорода (около 2%) в керамике после ИПС порошка, полученного МХС, но не указано содержание кислорода после ИПС порошка, полученного методом СВС.

Однако указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, выполненной на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор, Седегов Алексей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Зав. кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», профессор, доктор физико-математических наук (01.04.17 — Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва)

 Амосов Александр Петрович

07 сентября 2023 г.

Эл. почта: egundor@yandex.ru

Тел.: (846) 242 28 89

Почтовый адрес: 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус.

Я, нижеподписавшийся, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Седегова А.С., и их дальнейшую обработку

 Амосов Александр Петрович

Подпись А.П. Амосова удостоверяю.

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «СамГТУ»

доктор технических наук



 Малиновская Юлия Александровна