

ОТЗЫВ

на автореферат 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 искрового плазменного спекания», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Высокоэнтропийные (ВЭ) керамические материалы и, в частности, ВЭ карбиды привлекают все больший интерес исследователей благодаря сочетанию уникальных механических, физико-химических и теплофизических характеристик, что делает их перспективными материалами для использования в теплонагруженных узлах авиакосмической отрасли и термического оборудования, а также атомной энергетике. В силу отсутствия в Российской Федерации большого опыта разработки данных материалов поиск оптимальных композиций и технологических схем изготовления является серьезным подспорьем к получению в нашей стране ВЭ карбидов с высокой фазовой стабильностью и повышенными механическими характеристиками. Таким образом, задача, сформулированная автором в диссертационной работе и состоящая в выборе подходящих составов композиций и оптимальной технологии для обеспечения высоких физико-механических и теплофизических свойств ВЭ карбидов, является крайне **актуальной**.

Седегов Алексей Сергеевич в своей диссертационной работе проводил исследования, которые направлены на получение методами высокоэнергетической механической обработки (ВЭМО), самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и искрового плазменного спекания (ИПС) ВЭ карбидов с различными составами $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и $(\text{TaTiNbZrX})\text{C}$ ($\text{X}=\text{Hf}, \text{W}, \text{Mo}$). В процессе выполнения данной работы были решены важные задачи, касающиеся определения влияния технологических режимов проведения ВЭМО на структуру и фазовый состав порошковой смеси для получения ВЭ карбидов, исследования механизма структурообразования при СВС для разработки наиболее эффективной технологии синтеза ВЭ карбидов, выбора подходящей технологии и технологических режимов для формирования карбидов с высокими механическими и теплофизическими характеристиками, а также влияния этих режимов на процессы структурообразования, фазовый состав и морфологию полученного материала. В автореферате представлен внушительный объем экспериментальных данных, свидетельствующий о достижении весьма высокого уровня механических характеристик (твердость, трещиностойкость, пределы прочности при изгибе и сжатии, модуль упругости), термохимической стойкости в потоке диссоциированного воздуха и

радиационной стойкости разработанного карбидного материала, что указывает на верно выбранное автором направление исследований и высокую **практическую значимость** проделанной работы.

Диссертация Седегова А.С. обладает существенной **научной новизной**. К наиболее значимым и интересным научным результатам можно отнести следующие:

1) установлены закономерности высокотемпературного окисления карбида состава $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ и влияния на его жаростойкость легирующих добавок Hf, Mo и W. Показано, что легирование вольфрамом повышает жаростойкость ВЭ карбида более чем в 2 раза и, плюс ко всему, автором дается научное обоснование выявленной закономерности;

2) исследован механизм окисления ВЭ карбида состава $(\text{TaTiNbZrHf})\text{C}$ в диапазоне температур от комнатной до 1200 °С. Данный материал обладает наиболее высокой жаростойкостью, особенно по сравнению с бинарными карбидами, за счет образования на поверхности в процессе окисления пленки из сложных оксидов типа TiNb_2O_7 и $\text{Ta}_2\text{Hf}_6\text{O}_{17}$;

3) подробно изучены особенности процесса структурообразования карбидов в процессе СВС. Выявлено, что продукт формируется через жидкую фазу, а на его структуру значительное влияние оказывает дисперсность реакционной смеси;

4) определены физико-химические и теплофизические свойства ВЭ карбида состава $(\text{TaTiNbZr})\text{C}$ в диапазоне температур (2500–5500) К: теплота плавления, температуры солидуса и ликвидуса, зависимость энтальпии образования карбида от температуры, удельная теплоемкость.

Вышеперечисленные данные были получены с помощью актуальных методов анализа и современного исследовательского оборудования, поэтому их достоверность сомнения не вызывает.

Автореферат в значительной мере отражает суть диссертационной работы: материал изложен логично, практически все предположения и выводы научно аргументированы и обоснованы.

Выполненная работа оказывает положительное общее впечатление, но все же к автореферату имеются некоторые **вопросы и замечания**:

1) в работе автором указаны значения массовой и линейной скорости абляции разработанных ВЭ карбидов в потоке диссоциированного воздуха в единицах измерения $\text{мг} \times \text{с}^{-1}$ и $\text{мкм} \times \text{с}^{-1}$ соответственно. Считаю, что для лучшей наглядности демонстрации уровня жаростойкости материала стоило указать данные характеристики также и в процентах, а не только в абсолютных величинах;

2) из текста автореферата не совсем ясно, чем обусловлен выбор времени выдержки 10 мин при 1800 °С в процессе ИПС после механохимического синтеза и какое оно

оказывает влияние на процессы фазообразования в материале? Порошок в процессе искрового плазменного спекания после СВС выдерживали такое же количество времени?

Несмотря на указанные замечания, исходя из автореферата можно заключить, что диссертация Седегова Алексея Сергеевича на тему «Разработка высокоэнтропийных керамических материалов на основе тугоплавких карбидов $(TaTiNbZr)C$ и $(TaTiNbZrX)C$ ($X=Hf, W, Mo$) методами СВС и искрового плазменного спекания» выполнена на высоком техническом уровне, является целостным научным трудом с научной новизной и высокой практической ценностью. На основании вышеизложенного считаю, что работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335), а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заместитель начальника цеха по
производству углеродных
материалов (цех № 40),
кандидат технических наук
по специальности 05.17.11 – Технология
силикатных и тугоплавких неметаллических
материалов



Бардин

Николай Григорьевич

22.09.2023

Публичное акционерное общество «Авиационная корпорация «Рубин»;
143903, Московская область, г. Балашиха, Западная промзона, Шоссе
Энтузиастов, д. 5; телефон: +7 (495) 521 0347 (доб. 16-29); e-mail:
bardin@akrubin.ru

Подпись Н.Г. Бардина УДОСТОВЕРЯЮ:

Нач. цеха 40  - Кутыков А.Н.

