

## ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертации Суворовой Вероники Сергеевны  
«Получение тугоплавких керамик на основе карбонитрида гафния методом  
самораспространяющегося высокотемпературного синтеза»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

В настоящее время разработка материалов для высокотемпературных применений является актуальной научно-технической задачей. К материалам предъявляются достаточно жёсткие требования в части прочностных характеристик и окислительной стойкости под воздействием мощных тепловых потоков. На сегодняшний день активно исследуются соединения на базе тугоплавких карбидов, в частности, карбонитриды переходных металлов IVB и VB групп. Согласно теоретическим работам, внедрение атомов азота в карбидную решётку способствует повышению физических, механических и теплофизических свойств, однако данные предположения не были подтверждены экспериментально.

Целью работы Суворовой В.С. являлось получение тугоплавких керамик  $\text{Hf}(\text{C},\text{N})$ ,  $(\text{Ta},\text{Hf})\text{CN}$  и композита  $\text{Hf}(\text{C},\text{N})\text{-SiC}$  энергоэффективными методами СВС и ИПС, а также комплексное исследование механических и теплофизических свойств полученных материалов. Для выявления особенностей фильтрационного горения механоактивированных смесей в среде азота были выбраны системы  $\text{Hf-C-N}$  и  $\text{Ta-Hf-C-N}$ . Модельные эксперименты, а также закалка фронта горения позволили установить, что ведущую роль в процессе фильтрационного горения МА смесей в среде азота играет карбидообразование. На основании полученных результатов автором предложен двухстадийный механизм фазообразования в системах  $\text{Hf-C-N}$  и  $\text{Ta-Hf-C-N}$ , заключающийся в формировании на первой стадии нестехиометрического карбида при недореагировании основного компонента с последующим азотированием в зоне догорания на второй стадии. Установлена зависимость фазового состава конечного продукта от давления азота и состава МА смеси. Также в работе экспериментально подтверждено, что внедрение атомов азота в решётку карбида гафния приводит к повышению температуры плавления и теплопроводности. Важное практическое значение имела оптимизация параметров ИПС, направленная на минимизацию остаточной пористости в спечённых керамиках. Карбонитриды, консолидированные в оптимальном режиме, характеризуются высокой плотностью (более 98 %), твёрдостью от 19,7 до 21,9 ГПа и трещиностойкостью порядка  $\sim 5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ . Введение  $\text{SiC}$  к  $\text{Hf}(\text{C},\text{N})$  позволило снизить температуру консолидации на 200 °С и повысить теплопроводность в 3 раза. Поскольку данные материалы планируется использовать в узлах конструкций, подверженных интенсивному



окислению, было проведено исследование окислительной стойкости  $\text{Hf}(\text{C},\text{N})$ ,  $(\text{Ta},\text{Hf})\text{CN}$ , а также  $\text{Hf}(\text{C},\text{N})\text{-SiC}$  в статических и динамических условиях. В работе изучены кинетика и механизмы окисления, показано, что введение SiC способствует снижению скорости окисления 3 раза. Наиболее высокую жаростойкость, в том числе под воздействием высокотемпературного воздушного потока мощностью  $2,8 \text{ МВт/м}^2$ , продемонстрировал  $(\text{Ta},\text{Hf})\text{CN}$  с высоким содержанием гафния за счёт формирования плотноупакованной суперструктуры  $\text{Hf}_6\text{Ta}_2\text{O}_{17}$  с низкой скоростью диффузии кислорода. Учитывая вышесказанное, научная новизна и практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений.

Автореферат изложен грамотным языком, включает в себя все необходимые разделы, однако необходимо отметить следующие замечания:

1)  $\text{T25H75CN}$  содержит 75 % жидкого гафния при СВС и имеет адиабатическую температуру горения  $3358^\circ\text{C}$ , в свою очередь  $\text{T50H50CN}$  содержит на 25 % меньше жидкого гафния и имеет адиабатическую температуру горения ниже на  $300^\circ\text{C}$ . С чем связан рост частиц с 1 мкм для  $\text{T25H75CN}$  и до 2-7 мкм для  $\text{T50H50CN}$ ? Как расплав основного компонента влияет на размер частиц?

2) Наличие оксида гафния объяснено пассивацией поверхности образцов ввиду высокого сродства Hf к кислороду, на какой стадии получения происходит данный процесс? И как он приводит к появлению оксидов микронного размера до 2-10 мкм?

Тем не менее, оценивая диссертационную работу Суворовой В.С. по значимости полученных результатов, можно заключить, что она является законченным научным исследованием, направленным на решение актуальной научно-технической задачи современного материаловедения, и выполнена на высоком уровне.

Диссертационная работа Суворовой В.С. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Суворова В.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Тихонова Ирина Васильевна,

доцент кафедры «Физика металлов и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» Министерства образования и науки России, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Тел.: +7 (4872) 35-21-55, e-mail: [info@tsu.tula.ru](mailto:info@tsu.tula.ru)

Data

Подпись

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

Всехин И.В. Тихонова



Тихоновой И.В. заверяю  
Специалист по кадровой работе  
Игорь / И.В. ПОЛТАВЕЦ /  
ОКТАБРЯ 20022 г.