

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Беляева Ильи Михайловича** «Химическое модифицирование порошков карбидов переходных металлов монооксидом кремния», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

**Актуальность проблемы.** Бескислородные тугоплавкие материалы широко применяются в технике в связи со своими уникальными свойствами: высокой температурой плавления, высокой твёрдостью и стойкостью к воздействию агрессивных сред. Благодаря способности сохранять эксплуатационные характеристики до температур 2000 °С и выше такие материалы используют в авиационной промышленности, ракетостроении, атомной энергетике, металлургии и металлообработке.

Однако, вследствие высокой температуры плавления, существует проблема получения изделий из таких материалов. Один из путей решения этой проблемы — использование спекающих добавок. В качестве таких добавок применяют введение химических элементов, образующих с карбидами менее тугоплавкие соединения. Характер воздействия спекающих добавок на консолидируемый материал значительно зависит от способа введения. Исследование получения материалов со спекающими добавками и их влияния на свойства тугоплавких соединений является актуальной научной задачей.

**Научная новизна** представленной автором работы заключается в том, что получены закономерности протекания химических реакций высокотемпературного силицирования порошков карбидов TiC, ZrC, TaC газом SiO, сопровождающихся образованием бескислородных кремнийсодержащих соединений – MAX фазы Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> в случае силицирования TiC, ZrSi в случае силицирования ZrC, Ta<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> и TaSi<sub>2</sub> в случае силицирования TaC; выявлен селективный характер силицирования газом SiO твердых растворов (Zr,Ti)C и (Ta,Ti)C, проявляющийся в преимущественном силицировании, соответственно, либо циркония, либо тантала, с образованием соответствующих силицидов; при этом силицирование титана не происходит, и его кремнийсодержащих соединений в продуктах не обнаруживается; установлено, что химическое модифицирование порошков карбидов TiC, ZrC, TaC и их твердых растворов путем силицирования газом SiO улучшает термомеханические характеристики этих порошков, что обеспечивает их спекание методом горячего прессования до беспористого состояния при относительно низком уровне термобарического воздействия (1600 – 1900°С, 25-30 МПа).

Также установлено, что при высокотемпературном силицировании металлического титана в газовой атмосфере SiO происходит формирование на поверхности титана слоя силицида титана Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>x</sub> (0.4 ≤ x ≤ 1). Одновременно с этим происходит внедрение атомов кислорода в кристаллическую решетку α - титана с образованием твердого раствора α-Ti(O<sub>y</sub>) (0.1 ≤ y ≤ 0.5).

В процессе выполнения работы впервые исследованы закономерности процесса самопроизвольной инфильтрации приготовленных заранее расплавов металлов в неостывшие пористые СВС-каркасы, исследованы структура и фазовый состав полученных новых СВС-керметов, а также их физико-механические свойства.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке специализированного лабораторного химического реактор для высокотемпературной силицирующей обработки порошковых материалов в газовой атмосфере SiO; разработке методики и оптимизации режимов проведения высокотемпературного силицирования карбидных порошковых материалов газом SiO; предложен способ получения плотноспеченной керамики на основе карбидов переходных металлов 4-5 групп (TiC, ZrC, TaC) путем горячего прессования карбидных порошков, предварительно подвергнутых химическому модифицированию кремнием; разработке способа использования металлического титана в качестве химического поглотителя газа SiO. Также предложен способ формирования на титановых изделиях функциональных покрытий  $Ti_5Si_3O_x$ , характеризующихся хорошей адгезией к субстрату.

**Достоверность результатов и обоснованность выводов диссертационной работы.**

Достоверность результатов, представленных в работе, подтверждается согласующимися между собой данными, полученными комплексом современных физико-химических методов анализа и воспроизводимостью результатов.

Сформулированные выводы и результаты научно-обоснованы и соответствуют современным научным химическим представлениям.

Представленная работа прошла достаточную апробацию на научно-практических конференциях различного уровня, результаты опубликованы в 18 печатных работах, в том числе в 4 изданиях, рекомендованных ВАК.

**Замечания:**

1. На странице 8 автореферата указано, что титановые полоски улавливают газ SiO с образованием кристаллической фазы  $Ti_5Si_3$  без образования побочных газообразных продуктов. Непонятно, куда уходит кислород, содержащийся в SiO.

2. В практической значимости указано, что титан способен химически связать газ SiO в количестве до 30-31% от своей массы. Однако далее по тексту автореферата максимальное зарегистрированное поглощение кислорода соответствует 25-27%. Неясно, чем обусловлено расхождение данных.

3. На странице 11 в 5 строке автореферата предполагалось указание массы, которое пропущено.

4. Не указано каким методом и с помощью какого программного обеспечения проводились количественные расчёты по рентгенограммам.

5. Не указана методика определения трещиностойкости, а её выбор является определяющим для оценки данной характеристики у керамических материалов.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой в области материаловедения. По научной новизне, актуальности и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а её автор, Беляев Илья Михайлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Профессор кафедры «Механика  
композиционных материалов и конструкций»  
ФГАОУ ВО ПНИПУ  
д.т.н.

*Каф*

Каченюк М.Н.

*Сведения об организации:*

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

**Телефон/факс:** +7 (342) 219-80-67, +7 (342) 212-39-27

**E-mail:** [rector@pstu.ru](mailto:rector@pstu.ru)

Я, Каченюк Максим Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Беляева Илья Михайловича, и их дальнейшую обработку.

Дата: *24 января 2024 г.* *Каф* Каченюк М.Н.

Подпись Каченюка М.Н. заверяю,  
Учёный секретарь Ученого совета ФГАОУ ВО  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»  
канд. ист. наук, доцент



*Макаревич В. И.*