

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

Мартынова Романа Сергеевича

«Синтез карбида бора в дуговом разряде постоянного тока в открытой воздушной среде»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

**Цель работы заключается** в модернизации плазменного метода и оборудования для синтеза порошка карбида бора, реализуемого воздействием дугового разряда постоянного тока на сырье, содержащее бор и углерод в воздушной среде.

**Актуальность диссертационной работы** заключается в выявлении закономерностей влияния параметров синтеза порошков карбида бора воздействием дугового разряда постоянного тока на структуру и свойства получаемых целевых продуктов. Соединения бора сегодня являются предметом исследований множества научных групп во всем мире, они используются во многих отраслях как сырьевая основа для производства сверхтвердых и тугоплавких материалов. В этом смысле ценными материалами являются карбид бора, а также бориды металлов. Одним из перспективных направлений получения сверхтвердых материалов является их синтез с применением природных источников углерода. В настоящее время перспективен синтез углеродных наноструктур и карбида бора методом воздействия плазмы дугового разряда постоянного тока на открытом воздухе. Данный метод не предполагает наличия специальной защитной среды или вакуума для проведения синтеза, что значительно его упрощает, а также позволяет снизить расход электроэнергии на вакуумное и газораспределительное оборудование.

### **Научная новизна результатов исследований.**

Предложено и реализовано техническое решение, заключающееся в разделении зоны горения дугового разряда и области расположения исходного сырья, которое позволяет проводить экспериментальные исследования в области плазменной обработки материалов с низкой электрической проводимостью, в частности, на основе бора и оксида бора.

Установлен состав газовой среды, формирующейся при горении дугового разряда в атмосфере воздуха в присутствии бора и углерода в объеме графитового тигля, что было использовано для создания принципиально нового плазменного реактора для исследования процессов синтеза карбида бора.

Выявлены параметры процесса плазменной обработки и конфигурация плазменного реактора, которые обеспечивают условия для формирования кристаллических фаз карбида бора при горении дугового разряда в воздушной атмосфере.

Показана возможность реализации синтеза материалов на основе карбида бора в углеродной матрице различной морфологии (чешуйчатый графит, углеродные волокна, пиролизированные отходы растительного происхождения: сосновые опилки, шелуха кедрового ореха) с использованием разработанного плазменного безвакуумного реактора.

Предложено техническое решение задачи минимизации доли эрозионного графита в продуктах синтеза, заключающееся в использовании двойной стенки и двойного дна графитового тигля, в полости которого происходит горение дуги, что позволило обеспечить доминирование фазы карбида бора.

Установлено, что полученные безвакуумным плазменным методом порошки карбида бора характеризуются повышенной окислительной стойкостью при нагревании в воздушной среде, что обеспечивается наличием графитовой оболочки частиц.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации Мартынова Р. С., подтверждаются применением комплексных подходов к решению поставленных задач, использованием современного оборудования, апробированных и стандартизированных методик и методов исследования и испытаний, а также корректностью постановки решаемых задач и их физической обоснованностью.

**Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования** определяется тем, что установлены закономерности формирования структурно-фазового состояния порошковых частиц карбида бора, полученных по впервые разработанным научно-технологическим подходам безвакуумного электродугового синтеза порошков карбида бора.

**Практическая значимость диссертационной работы** определяется тем, что порошковый карбид бора с дисперсностью частиц 200–300 нм, методика получения которого разработана в диссертационной работе, был апробирован в качестве абразивного материала для притирки; результаты апробации подтверждены актом внедрения. На научно-технические принципы, разработанные в диссертационном исследовании получены патенты РФ 210733 и 2700596.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 120 страницах машинописного текста и содержит введение, четыре главы, выводы, заключение, список используемой литературы из 154 наименований и 1 приложение. Иллюстрационный материал содержит 57 рисунков и 6 таблиц.

#### **Общая характеристика диссертационной работы.**

Диссертация является законченным научным исследованием, изложена в логической последовательности с анализом полученных результатов.

**В первой главе** соискатель провел анализ научной литературы по теме диссертации. **Во второй главе** приведена характеристика исходных материалов, рассмотрен объект и методы исследований. Результаты исследований соискателя приведены в **главах 3 и 4**. Заключение содержит основные результаты и выводы. Научные положения и выводы соответствуют ее содержанию. Представляют интерес для науки и практики установленные эффекты и зависимости такие как:

- при воздействии дугового разряда постоянного тока на смесь оксида бора и ультрадисперсного углерода при силе тока не менее  $160 \text{ A} \pm 10 \text{ A}$  и продолжительности воздействия  $20 \text{ с} \pm 1 \text{ с}$ , расстоянии от зоны инициирования дуги до исходной смеси  $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$  можно добиться отсутствия оксида бора в продукте синтеза, при этом полученные порошки состоят из фаз карбида бора и графита.

- при использовании смеси аморфного бора и углерода в атомном соотношении 4:1 и разработанной конструкции электродной системы с составным графитовым тиглем со съемными внутренними стенкой и дном удастся повысить содержание карбида бора в продуктах синтеза до 73 масс. % при следующих рабочих параметрах: масса исходной смеси – 1,5 г, сила тока – 200 А, продолжительность поддержания дуги – 50.

#### **Соответствие содержания диссертации указанной специальности**

По теме диссертационной работы опубликовано 14 работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий из списка

ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Кроме того, в рамках диссертационной работы получено 2 патента Российской Федерации. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание, основные идеи и выводы диссертационной работы. Работа выполнена автором на высоком научном и методическом уровне. Полученные автором работы результаты надежно обоснованы. Результаты работы наряду с очевидной научной новизной имеют практическую направленность.

**Личный вклад автора** состоит в модернизации методики, разработке устройства для синтеза порошкового карбида бора, а также в планировании, постановке и проведении экспериментальных исследований, в проведении аналитических исследований, анализе и обработке данных; в оценке систематических и случайных погрешностей; в совместной с научным руководителем и научным консультантом формулировке выводов и основных выносимых на защиту положений диссертационной работы.

**Замечания и вопросы по диссертационной работе.**

1. Приведенные дифрактограммы в диссертационной работе и автореферате, например, рисунок 3.12 (стр. 77 диссертации, стр. 14 автореферата) зачастую не расшифрованы – не приведены обозначения рефлексов соответствующих фаз, не указаны индексы Миллера, не приведено данных о межплоскостных расстояниях, что затрудняет оценку полученных данных.

2. На странице 85 диссертации приводится утверждение «...согласно полученным экспериментальным данным, синтезированные образцы характеризуются более высокой окислительной стойкостью по сравнению с промышленным карбидом бора...», при этом не приведено данных о степени окисления и расчетные реакции?

3. Чем объясняется эффект низких механических свойств (~в 1,5 раза ниже) полученных керамик из синтезированных порошков по сравнению с промышленно-выпускаемым карбидом бора при одних и тех же режимах получения образцов?

4. Проводилась ли технико-экономическая оценка предполагаемой технологии синтеза карбида бора по разработанным в диссертации научным основам для дальнейшего внедрения в промышленность и сравнение с существующими технологиями получения карбида бора?

5. Диссертация и автореферат содержит грамматические, синтаксические ошибки и опечатки.

Указанные замечания не ставят под сомнения научные и практические результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Мартынова Р. С. «Синтез карбида бора в дуговом разряде постоянного тока в открытой воздушной среде» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. 11.09.2021г.) и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а ее автор Мартынов Роман Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Даю согласие на обработку своих персональных данных, связанную с защитой Мартынова Романа Сергеевича.

Официальный оппонент, заведующий лабораторией нанотехнологий металлургии  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,  
доктор технических наук (специальность 05.16.09 – Материаловедение (химическая  
технология)); 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; (3822) 52-98-52; rector@tsu.ru;  
<http://www.tsu.ru>.

«28» сентября 2023 г.

 Жуков Илья Александрович

Подпись И. А. Жукова удостоверяю  
Ученый секретарь ученого совета  
ФГАОУ ВО НИ ТГУ 

 Сазонтова Наталья Анатольевна

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»;  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36; (3822) 52-98-52; [rector@tsu.ru](mailto:rector@tsu.ru); <http://www.tsu.ru>.