

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Породинского Игоря Александровича «Высокоплотные карбидкремниевые материалы с регулируемым фазовым составом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Диссертационная работа И.А. Породинского посвящена исследованию процесса получения различных классов карбидкремниевых материалов, а также отработки технологии формования изделий сложной формы из них. Экспериментально выяснено влияние технологических факторов на фазовый состав и свойства получаемых изделий.

Интерес к карбиду кремния обусловлен уникальными свойствами материала и, соответственно, перспективами технических применений изделий на его основе, таких как детали узлов трения и рабочие части насосов, форсунки и горелки, печная оснастка, химически стойкие детали трубопроводов, запорная арматура и теплообменники, работающие в агрессивной среде.

Кроме того, в настоящее время все более актуальным является возможность использования подобных материалов в ядерной энергетике. Это обусловлено тем, что по критериям минимума формоизменений и изменений прочности под воздействием нейтронного облучения при повышенных температурах, разрабатываемый материал не имеет аналогов среди известных материалов.

Однако, высокие показатели твердости подобных материалов обуславливают высокую стоимость механической обработки изделий из них, что приводит к необходимости и особой актуальности отработки технологии формования изделий сложной формы из них.

В силу выше сказанного и благодаря перспективам применения карбида кремния в различных областях современной промышленности, диссертационная работа И.А. Породинского является *актуальной*.

Поставленные в диссертации задачи и полученные результаты обладают *научной новизной*. Получены зависимости свойств карбидкремниевых материалов от его фазового состава. С применением компьютерного моделирования получены зависимости, позволяющие прогнозировать свойства конечного материала. Были сформулированы требования к размерам пор графита для силицирования, позволяющие достичь равномерной пропитки. Разработан способ получения изделий сложной формы из материала с высоким содержанием первичного карбида кремния в составе шихты (до 85 мас.%) и малым средним размером зерна наполнителя (3 мкм).

*Достоверность полученных результатов* обеспечивается применением широкого спектра современных методов исследования

(рентгеновский дифракционный анализ, лазерный дифракционный анализ, сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская дефектоскопия) и подтверждается согласованием полученных в работе данных с соответствующими данными экспериментальных и теоретических работ других отечественных и зарубежных специалистов, таких как Виргильев Ю.С., Воеводин В.М., Дыбань Ю.П., Margiotta J.C.

В диссертации предложены технологические схемы получения карбидкремниевой керамики различных марок с высокими показателями физико-механических и теплофизических свойств, разработаны технические условия и директивный технологический процесс на выпуск реакционносвязанного карбида кремния, а также разработана технология получения изделий сложной формы из карбидкремниевой керамики. Вышесказанное указывает на *практическую значимость* полученных в работе результатов.

Во *введении* обосновывается актуальность и выбор темы исследований, дается формулировка цели и решаемых в диссертационной работе основных задач. Обоснована научная новизна диссертационной работы и практическая значимость проведенных исследований. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и публикации результатов работы.

В *первой главе* представлен обзор литературы, тематика которой близка к теме диссертационной работы. Подробно рассматриваются работы, посвященные изучению технологий получения различных классов карбидкремниевых материалов, рассмотрены возможные области применения изделий из них. Особое внимание уделено научным трудам, в которых изучаются такие свойства различных классов карбидкремниевых материалов, как радиационная и химическая стойкость, теплофизические и физико-механические характеристики.

Во *второй главе* приведены свойства исходных материалов, подробное описание используемого лабораторного и промышленного оборудования, а так же рассмотрены такие методы исследования, как рентгенографический контроль, рентгенофазовый анализ, лазерный дифракционный анализ, сканирующая электронная микроскопия, термогравиметрический анализ и другие.

В *третьей главе* приведены данные о влиянии содержания фазы SiC в различных классах карбидкремниевых материалах на их физико-механические и теплофизические свойства. Получена зависимость между размерами пор графита для силицирования и плотностью силицированного материала.

На основании расчетных и экспериментальных данных изучено влияние фазового состава и свойств исходных заготовок для силицирования на фазовый состав и свойства силицированного графита, полученного по технологии силицированного графита и реакционносвязанного карбида кремния.

В *четвертой главе* предложены и сопоставлены две технологические схемы получения пористого графита для силицирования на основе новой отечественной сырьевой базы, одна – на основе пекового кокса, высокотемпературного каменноугольного пека и NaCl, вторая – на основе искусственного графита и фенольной смолы. Используя данные главы 3, был подобран оптимальный гранулометрический состав шихты. Обе технологические схемы позволили получить силицированный графит с высокими физико-механическими свойствами.

В *пятой главе* приведена технологическая схема получения образцов карбидкремниевой керамики по технологии РСКК. Основываясь на смоделированных в главе 3 гистограммах, были подобраны оптимальный компонентный состав шихты и параметры технологических процессов, что позволило получить материал с плотностью, близкой к теоретической для карбида кремния ( $3,05 \text{ г/см}^3$ ).

В *заключительной главе* описан метод получения изделий сложной формы по технологии реакционносвязанного карбида кремния, включающий получение формовочной массы, формование изделия, его термообработку и силицирование. Подробно рассмотрены влияния параметров каждого процесса на структуру и свойства полученных изделий.

В диссертации И.А. Породзинского имеются экспериментальные исследования силикатных неметаллических углеродсодержащих материалов, физико-химических принципы технологии материалов и изделий из SiТНМ, решение проблемы «состав-структура-свойство» для полидисперсных систем. Это обеспечивает *соответствие диссертации специальности 05.17.11.*

**По содержанию диссертации можно сделать ряд замечаний.**

1. В представленной работе не использован прямой метод оценки размеров пор в графите для силицирования (например, ртутная порометрия).
2. Пункт 5 научной новизны относится к практической значимости работы.
3. В автореферате на стр.13 под рисунком 9 отсутствует расшифровка рентгеновской дефектоскопии под маркировкой а, б и в.
4. В главе 6 при обсуждении технологии получения тонкостенных длинномерных труб из карбида кремния отсутствуют примеры практического применения представленной технологии.

Указанные замечания не снижают ценность полученных в диссертации результатов. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком уровне. Достоверность результатов не вызывает сомнений. Положения, выносимые на защиту, и основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, прошли апробацию на российских и международных конференциях. Диссертация правильно отражает содержание

опубликованных работ, а автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

### **Заключение**

Диссертационная работа И.А. Породзинского «Высокоплотные карбидкремниевые материалы с регулируемым фазовым составом» по объему, научной и практической значимости полученных результатов соответствует пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г № 842) и рекомендуется к защите по специальности 05.17.11 - Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а Породзинский И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

### **Официальный оппонент**

Доктор технических наук, доцент кафедры  
порошковой металлургии и функциональных  
покрытий НИТУ «МИСиС»

Юридический (фактический) адрес: 119049, г.

Москва, Ленинский проспект, д.4

тел.: 8 (495)638-44-09

e-mail: Eremeeva-shanna@yandex.ru

**Ж.В. Еремеева**



08.15  
ЗАВЕРЯЮ  
И.М. ИСАЕВ