

**Отзыв на автореферат Яцюк Ивана Валерьевича**  
**«Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе**  
**боридов, силицидов циркония и карбида кремния», выполненной на соискание**  
**учёной степени кандидата технических наук (специальность 05.16.06 – Порошковая**  
**металлургия и композиционные материалы)**

Исследована актуальная проблема получения перспективных керамических материалов с контролируемой структурой и свойствами методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза твердых химических соединений – боридов, силицидов, карбидов и оксидов. До настоящего времени мало исследовали механизм и динамику структурообразования конечных продуктов. Наибольшее значение имеет информация об изменении микроструктуры образующегося материала непосредственно в волнах СВС. В данной работе впервые определена стадийность фазовых превращений в волне горения методом динамического рентгенофазового анализа. Кроме этого проводился электронно-микроскопический и локально микрорентгеноспектральный анализ характерных участков остановленного фронта горения.

В результате были получены мишени-катоды определенных составов для магнетронного напыления тонких многослойных пленок с наноразмерными слоями. Разработана технология силового СВС-компактирования, использованы гибридные технологии СВС+ГП и СВС+ИПС и получена керамика борида циркония, карбида кремния, в том числе легированная дисилицидом молибдена. Разработаны технологические инструкции и технические условия. Получены результаты испытаний полученной керамики на жаростойкость, образцы демонстрировали высокую стойкость к воздействию высокотемпературного газового потока. Это связано с минимальной остаточной пористостью образца, большой долей кремнийсодержащих фаз и наличие плотной защитной пленки. Главная задача исследований – определить характеристики новых материалов и возможность их практического использования.

Так как главный принцип СВС «не греть исходные порошки, а сжигать их» отличает технологию СВС от технологии традиционной порошковой технологии. Однако это не просто «горение», а «горение», связанное со структурообразованием. Это позволит глубже понять автоволновой характер процесса в формировании структуры продуктов горения и роль структурных превращений в самом механизме твердопламенного горения.

Однако не раскрыты важные задачи диагностики и прогнозирования неустойчивых процессов горения, кинетики тепловыделения. Кроме того, СВС-системы, в большинстве случаев, гетерогенны, а гетерогенные элементарные ячейки представляют собой точечные источники тепла. Поэтому рассматривался ли в диссертации эстафетный режим, при котором гетерогенные элементарные ячейки и контактное термическое сопротивление между ними играют важную роль. Достаточно ли по экспериментальным линейным зависимостям температуры и скорости горения от начальной температуры свидетельствовать о едином механизме горения и неизменной стадийности химических превращений через жидкую фазу. Нужна хорошая автоматизированная экспериментальная база. По материалу автореферата достаточно трудно найти решения этих задач, если они были действительно представлены в самой диссертационной работе.

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Яцюк Ивана Валерьевича может быть представлена к защите на специализированном диссертационном Совете, а сам соискатель заслуживает присвоение ему степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Выражаем согласие на включение наших персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата технических наук Яцюк Ивана Валерьевича и их дальнейшую обработку.


Академик РАН, доктор технических наук,  
заведующий кафедрой обработки металлов  
давлением федерального государственного  
автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Самарский национальный  
исследовательский университет имени  
академика С. П. Королева», профессор

 Ф.В. Гречников

Доктор технических наук,  
профессор кафедры обработки металлов  
давлением федерального государственного  
автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Самарский национальный  
исследовательский университет имени  
академика С. П. Королева»

 В.А. Михеев



Подпись	Гречников Ф.В., Михеев В.А.
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета	
	 Васильева И.П.
_____ 20 ____ г.	

Гречников Федор Васильевич E-mail: [fvgr48@mail.ru](mailto:fvgr48@mail.ru)

Михеев Владимир Александрович E-mail: [vamicheev@rambler.ru](mailto:vamicheev@rambler.ru)

Служебный телефон: 8(846)2674601

Служебный адрес:

443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, пятый корпус  
кафедра обработки металлов давлением



### Отзыв

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича  
«Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные покрытия»

В настоящее время одной из проблем развития аэрокосмической техники является повышение надежности и долговечности деталей ответственного назначения, работающих в условиях экстремальных термических воздействий. В этой связи возникает проблема выбора материала для изготовления этих деталей. Одними из перспективных материалов являются керамические материалы на основе боридов, силицидов циркония, молибдена, гафния, карбида кремния, в том числе с добавками кремнийсодержащих оксидов, обладающие высокой прочностью химических связей, теплопроводностью, электрической проводимостью, химической стойкостью, которые способны работать в окислительной среде при температурах. Для получения таких материалов в последнее время находит применение метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Важной задачей при получении СВС-методом новых материалов является поиск закономерностей и механизмов процессов структурообразования продуктов синтеза в волне горения. Таким образом, представленная диссертация является актуальной, так как в ней поставлены и решены задачи установления закономерностей и механизмов горения, стадийности структурообразования в волне горения систем  $\text{Zr-Si-B-C}$  и  $\text{Zr-Si-B-Al}$ .

И.В. Яцюком с помощью современных методов порошковой металлургии установлено определяющее влияние жидкофазных процессов химического взаимодействия на кинетику процесса горения элементных реакционных смесей в системах  $\text{Zr-Si-B-(Al)}$  и  $\text{Zr-Si-B-C}$ . Показана взаимосвязь физико-механических свойств керамических материалов в системе  $\text{Zr-Si-B-Al}$  от соотношения компонентов в реакционных смесях, проявляющаяся в том, что рост концентрации Si и Al приводит к увеличению доли легкоплавких эвтектик  $\text{Zr-Si}$ ,  $\text{Zr-Al}$  и  $\text{Al-Si}$ . Это способствует снижению остаточной пористости керамики  $\text{ZrB}_2\text{-ZrSi}_2\text{-ZrSi-ZrSiAl}_2$  и позволяет использовать ее в качестве мишеней-катодов для магнетронного напыления защитных покрытий, а также конструкционного материала для теплонагруженных узлов. Найдены оптимальные технологические режимы силового СВС-компактирования и изготовлены керамические мишени-катоды на основе  $\text{ZrB}_2\text{-ZrSi/ZrSi}_2(\text{ZrSiAl}_2)$ . Разработана технологическая инструкция на производство дисковых керамических мишеней-катодов на основе борида и силицида циркония для ионно-плазменного осаждения многокомпонентных высокотемпературных покрытий.

Достоверность результатов диссертации И.В. Яцюка не вызывает сомнения. Она обеспечена применением современного оборудования и аттестованных методик исследований, большим объемом экспериментальных данных и их статистической обработкой, а также критическим сопоставлением результатов работы с результатами других исследователей.

Исходя из вышеизложенного, следует заключить, что диссертация И.В. Яцюка является законченным научным исследованием. Она удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а соискатель заслуживает присуждения искомой степени.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин  
им. профессора В.М. Финкеля,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники,  
лауреат премии РАН им. И.П. Бардина,  
д.ф.-м.н., профессор  
(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

6.04.2018

К.т.н., доцент,

доцент

кафедры естественнонаучных дисциплин

им. профессора В.М. Финкеля

(специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

6.04.2018

Подписи В.Е. Громова и

С.А. Невского удостоверяю

Начальник ОК ФГБОУ ВО «СибГИУ»



Громов  
Виктор Евгеньевич



Невский  
Сергей Андреевич



Дрепина  
Татьяна Анатольевна

Адрес: 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова 42, СибГИУ, каф. естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля. Телефон (3843) 46-22-77, факс (3843) 46-57-92, E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru nevskiy\_sa@physics.sibsiu.ru

Настоящим, даем свое согласие на обработку своих персональных данных и включение их в аттестационное дело И.В. Яцюка



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы

Керамика на основе боридов, силицидов и карбида кремния занимает всё более значимое место в развитии новых материалов для различных отраслей промышленности. Керамические материалы на основе бескислородных соединений используются в качестве абразивных, высокотемпературных, коррозионно- и жаростойких материалов, что позволяет использовать их в качестве чехлов и электродов термопар, тиглей для прецизионной металлургии, труб для перекачки металлических расплавов, теплонагруженных элементов ракетно-космической техники и др. Разработка новых материалов более экономически и энергетически выгодными методами, такими как самораспространяющийся высокотемпературный синтез, несомненно, является актуальной задачей.

Необходимо отметить, что несмотря на значительное число исследований, относящихся к разработке материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния, полученных как спеканием в высокотемпературной печи, так и горячим прессованием, в технической литературе мало работ, посвящённых спеканию материалов методом искрового плазменного спекания, анализу влияния условий СВС процесса на фазовый состав и структуру материалов, отсутствуют сведения о стойкости материалов различного состава и условий получения (ГП и ИПС) к окислению при высокой температуре. Таким образом, несомненная **актуальность** рассматриваемой работы И.В. Яцюка определяется как потребностью современной науки в материалах, способных работать в экстремальных условиях, так и острой необходимостью в разработке практических решений создания высокоплотных, высокопрочных материалов, работающих при высокой температуре, полученных при сочетании методов СВС технологии, ГП и ИПС.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации базируются на объемном, проанализированном и корректно обобщенном экспериментальном материале, полученном с применением оригинальных приёмов и с привлечением современных физико-химических исследований, и являются полностью научно обоснованными.

**Научная новизна** диссертационной работа несомненна и включает в себя установление влияния жидкофазных процессов химического взаимодействия на кинетику процесса горения смесей в системах  $\text{Zr-Si-B-(Al)}$  и  $\text{Zr-Si-B-C}$ , определение стадийности химических превращений в волне горения, определение физико-механических свойств керамических материалов в системе  $\text{Zr-Si-B-Al}$ , установление наибольшей жаростойкости в смесях систем  $\text{Zr-Si-B-(Al)}$  и  $\text{Zr-Si-B-C}$  (Mo), выявление взаимосвязи между соотношением фаз  $\text{ZrB}_2/\text{SiC}$  и теплопроводностью керамики  $\text{ZrB}_2\text{-SiC-MoSi}_2$ .

Высокая **практическая значимость** рассмотренной работы связана не только с установлением оптимальных технологических режимов силового СВС-компактирования, но и с изготовлением керамических мишеней-катодов на основе  $\text{ZrB}_2\text{-ZrSi/ZrSi}_2(\text{ZrSiAl}_2)$ , апробацией новых составов мишеней-катодов, проведением стендовых газодинамических испытаний консолидированной керамики на основе  $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ . На основании полученных результатов автором разработана техническая документация: технологические инструкции, технические условия и др.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных методов исследования, не противоречивостью полученных различными методами данных.

Публикации отражают основное содержание работы, статьи опубликованы в авторитетных научных изданиях, рекомендованных ВАК. Результаты работы доложены и обсуждены на многих Международных и Российских научных конференциях.

При общей положительной оценке диссертации И.В. Яцюка после ознакомления с авторефератом возникли следующие вопросы:

1. Автор не поясняет, как определяли размер зерен материалов составов 1–4, микроструктура которых представлена на рисунке 4?
2. Проводил ли автор анализ распределения зерен по размерам?
3. Как было подтверждено наличие именно наночастиц  $\text{ZrO}_2$  в окисленном магнетронном покрытии?

Заданные вопросы не ставят под сомнение достоверность полученных экспериментальных данных, научную значимость и корректность сделанных выводов.



Диссертационная работа И.В. Яцюка соответствует паспорту специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы, представляет собой законченную целостную научно-квалифицированную работу, в которой поставлены и решены актуальные и практически важные научные задачи, вносящие значительный вклад в развитие материаловедения композиционных материалов.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Яцюк Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заведующий кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» доктор технических наук, профессор по специальности 05.17.11 – технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Игорь Борисович Пантелеев

Адрес ФГБОУ ВО СПбГТИ(ТУ): 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26  
E-mail: [panteleev@inbox.ru](mailto:panteleev@inbox.ru)  
Тел.: 8(952) 354-82-77.





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 06.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы

Работа Яцюка И.В. направлена на решение актуальной задачи синтеза методом СВС и изучение свойств высокотемпературных конструкционных керамических материалов на основе силицидов и боридов циркония и карбида кремния, которые могут найти практическое применение в различных отраслях техники. Автором получен ряд новых научных результатов, среди которых можно отметить установление стадийности превращений в волне горения смесей Zr-Si-B-C(Mo) и Zr-Si-B-Al, установление зависимости показателей свойств от состава синтезированных материалов и др. Практическая ценность заключается в установлении режимов СВС синтеза ряда материалов. Автором выполнен большой объем экспериментальной работы, При исследовании материалов использованы взаимодополняющие методы и статистический анализ результатов, что обеспечивает их достоверность. Работа прошла широкую апробацию. Результаты опубликованы в журналах перечня ВАК, а также в высокорейтинговых журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science первый квартиль Q1.

Считаю, что, судя по автореферату, работа Яцюка И.В. является научно-квалификационной работой, в которой получены новые научные результаты и результаты, имеющие практическую значимость. Она соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученой степени доктора, кандидата наук, и ее автор, Яцюк И.В., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Баринов Сергей Миронович

119334, Москва, Ленинский проспект 49, e-mail [barinov\\_s@mail.ru](mailto:barinov_s@mail.ru), тел. 499-1358510

ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), главный научный сотрудник, доктор технических наук профессор, член-корреспондент РАН

Подпись Баринова С.М. удостоверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, кандидат технических наук

Фомина О.Н.





## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Получение новых высокотемпературных материалов для использования в качестве теплозащитных покрытий по-прежнему считается актуальным направлением современных исследований в России и мире. Подтверждением актуальности выбранного автором направления исследований служат проекты РФФИ, РНФ и госзадание, которые судя по их заголовкам, реализовывались в рамках тематики диссертационной работы.

Наибольший интерес из положений о научной новизне вызывает установление автором ведущей роли жидкофазных процессов химического взаимодействия влияющих на кинетические параметры процесса горения в системах Zr-Si-B-(Al) и Zr-Si-B-(C).

С точки зрения практической значимости наиболее существенное значение имеет технология получения мишеней-катодов из Zr-Si-B-(Al) для использования в технологии магнетронного напыления покрытий.

Необходимо отметить, что интерес к получению покрытий с рентгеноаморфной структурой в мире обусловлен перспективой использования их в будущем для повышения коррозионной стойкости в агрессивных средах.

По тексту автореферата имеется два вопроса.

1. В автореферате (стр. 16) не объяснена причина, по которой микроструктура покрытий имеет структуру «без столбчатых элементов», может быть такой характер затвердевания вызван наличием рентгеноаморфной составляющей в материале мишеней катодов?

2. Автором не объяснена роль азота в формировании рентгеноаморфной структуры покрытия.

Приведенные вопросы не затрагивают основных защищаемых положений и больше относятся к расширению сферы использования полученных в работе материалов.

Результаты работы прошли достаточную апробацию и докладывались на Российских и международных научных конференциях, в том числе и за рубежом.

Диссертационная работа Яцкока И.В. является завершенной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научно-исследовательском уровне и отвечает всем требованиям ВАК РФ, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заведующий лабораторией  
«Конструкционные и инструментальные  
материалы» Института материаловедения  
Хабаровского научного центра  
Дальневосточного отделения Российской  
академии наук, д. т. н.

Химухин С.Н.

Контактные данные

Адрес: 680042 г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская д. 153

Тел. (4212) 22-69-56

Сот. Тел. 89242030609

Электронная почта: himukhin@yandex.ru

Подтверждаю свое согласие на  
обработку персональных данных

Химухин С.Н.

Согласен Химухин С.Н. заверено  
С.А. Яцкока





## О Т З Ы В

на автореферат диссертационной работы Яцюка Ивана Валерьевича  
«Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.16.06 –Порошковая металлургия и композиционные материалы

Керамические материалы на основе боридов, силицидов циркония, молибдена, гафния, карбида кремния являются перспективными в качестве новых высокотемпературных материалов для ответственных теплонагруженных деталей и узлов ракетно-космической техники, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Стоит отметить, что использование метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) дает возможность синтеза высокотемпературных керамических материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками. Другим преимуществом данной технологии является высокая производительность процесса при сравнительно низких энергозатратах и возможность получения беспористых материалов. Проблема повышения стойкости ответственных деталей и узлов к высокотемпературному окислению путем может быть решена также путем нанесения многокомпонентных наноструктурных покрытий (МНП) по технологии магнетронного напыления. С учетом вышеизложенного, **актуальность** выбранной соискателем темы не вызывает сомнений.

Основное внимание в диссертационной работе И.В.Яцюка уделено изучению СВС процессов в системах  $Zr-Si-B$  и  $Zr-Si-B-C$ , а также созданию перспективной керамики путем сочетания технологий СВС, горячего прессования и искрового плазменного спекания и изучение особенностей ее высокотемпературного окисления.

**Научная новизна** работы заключается в установлении зависимости физико-механических свойств керамических материалов в системе  $Zr-Si-B-Al$  от соотношения компонентов в реакционных смесях, закономерности кинетики горения в исследуемых системах. В процессе проведения исследований определены и научно обоснованы структурные составы керамических материалов в системах  $Zr-Si-B-(Al)$  и  $Zr-Si-B-C-(Mo)$ , обладающих максимальной жаростойкостью (свыше  $2000\text{ }^{\circ}C$ ), установлена зависимость роста коэффициента теплопроводности керамики  $ZrB_2-SiC-MoSi_2$  от доли  $SiC$ .

Достоверность проведенных исследований подтверждена богатым экспериментальным материалом и испытаниями компактных керамических материалов, разработанных в рамках данной работы.

**Практическое значение** работы определяется тем, что решенные задачи разработки и исследования керамических материалов в изученных системах нашли применение в ряде технологических процессов, благодаря этому:

- установлены оптимальные технологические режимы силового СВС-компактирования и изготовлены керамические мишени-катоды на основе  $ZrB_2-ZrSi/ZrSi_2(ZrSiAl_2)$ , что подтверждено технологической инструкцией.

- в ООО «НПО «МЕТАЛЛ» проведена апробация новых составов мишеней-катодов на основе  $ZrB_2-ZrSi/ZrSi_2(ZrSiAl_2)$  в технологии магнетронного распыления многокомпонентных высокотемпературных покрытий, зарегистрированы технические условия.

- разработана технологическая инструкция ТИ 46-11301236-2018 на производство гетерофазного порошкового полуфабриката на основе борида, силицида циркония и карбида кремния методом СВС.

#### **Замечание по диссертационной работе**

В списке публикаций не корректно указывать «ноу-хау», так как статус данного результата интеллектуальной деятельности исключает возможность его опубликования.

Данное замечание может быть учтено автором в дальнейших публикациях по теме исследования и не влияет на положительную оценку работы в целом.

#### **Заключение**

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Автореферат достаточно полно отражает суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Автор Яцюк Иван Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Ученый секретарь

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»

кандидат технических наук



Н.И.Ершова

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»

Государственный научный центр Российской Федерации

249031, г.Обнинск, Калужской области, Киевское шоссе, 15

E-mail: [info@technologiya.ru](mailto:info@technologiya.ru), факс (484) 396-45-75

Подпись ученого секретаря Н.И.Ершовой заверяю:

Начальник ОКА

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»



Е.А.Чуканова



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы диссертационной работы Яцюка И. В. обусловлена необходимостью создания новых высокотемпературных материалов для ответственных теплонагруженных деталей и узлов ракетно-космической техники. Высокими значениями характеристик тепло- и электропроводности, химической стойкости в условиях агрессивного воздействия окислительных сред обладают керамические материалы и покрытия на основе боридов, силицидов циркония, молибдена, гафния и карбида кремния. Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) обеспечивает возможность синтеза высокотемпературных керамических материалов с повышенными служебными характеристиками высокой химической чистотой. Метод характеризуется высокой производительностью при сравнительно низких энергозатратах. Это определяет актуальность рецензируемой работы, посвященной получению новых высокотемпературных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния методом СВС.

Рецензируемая работа имеет несомненную научную новизну. Среди наиболее значимых научных достижений автора следует назвать, прежде всего, установленные закономерности влияния жидкофазных процессов химического взаимодействия на кинетику горения элементарных реакционных смесей в системах  $Zr - Si - B - (Al)$  и  $Zr - Si - B - C$ . Определены значения эффективной энергии активации процесса горения. Автором показана стадийность химических превращений в волне горения смесей  $Zr - Si - B - (Al)$  и  $Zr - Si - B - C$ .

Немаловажными представляются также результаты, полученные автором при изучении зависимости физико-механических свойств керамических материалов в системе  $Zr - Si - B - Al$  от соотношения компонентов в реакционных смесях. Показано, что рост концентрации  $Si$  и  $Al$  приводит к увеличению доли легкоплавких эвтектик  $Zr - Si$ ,  $Zr - Al$  и  $Al - Si$  и к снижению остаточной пористости керамики  $ZrB_2 - ZrSi_2 - ZrSi - ZrSiAl_2$ . Данное обстоятельство имеет важное значение как в научном, так и в прикладном отношении, так как позволило использовать эвтектикосодержащую керамику в качестве мишеней-катодов для магнетронного напыления защитных покрытий, а также конструкционного материала для теплонагруженных узлов.

Положительной оценки заслуживает практическая часть работы, связанная с апробацией в ООО НПО «МЕТАЛЛ» разработанных составов мишеней-катодов на основе  $ZrB_2 - ZrSi/ZrSi_2(ZrSiAl_2)$  в технологии магнетронного распыления многокомпонентных высокотемпературных покрытий. Автором установлены оптимальные режимы синтеза гетерофазного порошкового полуфабриката, содержащего варьируемое количество диборида циркония и карбида кремния, и его последующей консолидации методами горячего прессования и искрового плазменного спекания.

Представленные результаты обоснованы и достоверны, поскольку теоретические исследования выполнялись с использованием базовых положений и фундаментальных основ современного порошкового материаловедения, а экспериментальные – с применением стандартных и оригинальных методик, современной технологической и аналитической аппаратуры.

### Замечания по автореферату:

1. На с. 13 указано, что в составе всех образцов присутствует примесный  $ZrO_2$  из исходного порошка  $Zr$ . Желательно было бы привести информацию по содержанию примесей в составе исходных порошков и их влиянию на кинетику протекания реакций синтеза.
2. На с. 15 автор констатирует влияние степени разбавления  $X$  на изменение фазового состава продуктов синтеза, однако механизм этого эффекта не рассматривается.



Указанные замечания не затрагивают основных положений рецензируемой работы и не сказываются на её общей положительной оценке. Считаю, что представленная работа содержит научную новизну, практическую ценность и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Яцюк Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

О составителе отзыва:

*Фамилия, имя, отчество:* Дорофеев Владимир Юрьевич;

*Место работы:* федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», профессор кафедры технологии машиностроения;

*Почтовый адрес:* 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д.132;

*Контактный телефон:* (8635) 255 486

*e-mail:* dvuu56.56@mail.ru

Выражаю свое согласие на обработку персональных данных

Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры  
«Технология машиностроения»  
Южно-Российского  
государственного политехнического  
университета (НПИ) имени  
М. И. Платова



Дорофеев Владимир Юрьевич

Подпись д. т. н., проф. Дорофеева Владимира Юрьевича заверяю:

1/ Учёный секретарь  
ученого совета  
ЮРГПУ (НПИ)




03.05.2018

Холодкова Нина Николаевна



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Яцюка Ивана Валерьевича**

«Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Диссертационная работа Яцюка И.В. посвящена созданию методом СВС новых керамических материалов на основе  $ZrB_2$ ,  $ZrC$  и  $SiC$ , которые относятся к высокотемпературной керамике, представляющей класс материалов, которые могут выдерживать экстремальные температуры, тепловые потоки, механические нагрузки, химическую реактивность и другие условия, выходящие за рамки возможностей существующих конструкционных материалов. Поэтому избранная тема диссертационного исследования, несомненно, является актуальной.

Автором проведена большая экспериментальная работа, в ходе которой проведено изучение кинетики и механизма горения смесей  $Zr-Si-B-(Al)$  и  $Zr-Si-B-C-(Mo)$ , определена стадийность химических превращений в волне горения. Установлено, что на кинетику процесса горения в данных системах определяющее влияние оказывает жидкофазное химическое взаимодействие между компонентами. При изучении жаростойкости покрытий и компактных материалов, полученных в данных системах, установлено, что наиболее высокой жаростойкостью обладают керамические материалы, содержащие соединения  $ZrSi$ ,  $ZrSi_2$ ,  $ZrSiAl_2$ ,  $SiC$  и отсутствует свободный кремний.

Полученные результаты являются новыми и базируются на теоретических положениях современного материаловедения. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается применением современных средств и методик проведения исследований.

Практическая значимость работы заключается в разработке оптимальных параметров силового СВС-компактирования для изготовления мишеней катодов, апробация которых проведена в ООО «НПО «МЕТАЛЛ» при нанесении высокотемпературных покрытий методом магнетронного распыления. Разработаны технологические инструкции и технические условия ТУ 1984-023-11301236-2016 «Мишени функционально-градиентные композиционные СВС-П».

Представленная к защите работа прошла апробацию на научно-практических конференциях различного уровня, результаты опубликованы в научно-технических периодических изданиях, рекомендованных ВАК.

Материалы диссертации в автореферате изложены логично и ясно.

При ознакомлении с авторефератом возникли следующие **замечания**:

1. Из автореферата не ясно, почему для проведения консолидации порошков методами ГП и ИПС выбран только один режим с параметрами: температура 1800 °С, давление 30 МПа и продолжительность выдержки 10 мин.


2. Вызывает сомнение объяснение уменьшения твердости керамики низкой пластичностью карбида кремния (автореферат, стр. 21).

3. Обычно окалиной принято называть окислы железа или меди, поэтому применение термина «окалина» к продуктам окисления керамики на основе циркония и кремния считаем не вполне корректным (автореферат, стр.5, 24).

Приведенные замечания не снижают ценность полученных результатов и тем самым не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

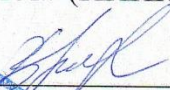
Указанное замечание не снижает ценности диссертационной работы. Представленная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в пп. 9 -14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и её автор, И.В. Яцюк, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры МТиКМ,  
научный руководитель Научного центра порошкового  
материаловедения ФГБОУ ВО  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет» (ПНИПУ)

 \_\_\_\_\_ Оглезнева Светлана Аркадьевна

614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 6  
Тел. 8(342)2391119, e-mail: director@pm.pstu.ac.ru

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры МТиКМ ФГБОУ ВО  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет» (ПНИПУ)

 \_\_\_\_\_ Кульметьева Валентина Борисовна

614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 6  
Тел. 8(342)2391127, e-mail: keramik@pm.pstu.ac.ru



*Воздеева С.А.*  
*Кульметьева В.Б.*  
Главный  
специалист УК  
И.А. Богданова



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

В современной промышленности большое внимание уделяется созданию новых высокотемпературных материалов для ответственных теплонагруженных деталей и узлов ракетно-космической техники, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Перспективными являются керамические материалы на основе боридов, силицидов циркония, молибдена, гафния, карбида кремния, в том числе с добавками кремнийсодержащих оксидов, обладающие высокой прочностью химических связей, теплопроводностью, электрической проводимостью, химической стойкостью, которые способны работать в окислительной среде при температурах свыше  $1800^{\circ}\text{C}$ . Актуальной проблемой является повышение стойкости ответственных деталей и узлов к высокотемпературному окислению путём нанесения многокомпонентных наноструктурных покрытий по технологии магнетронного напыления с использованием композиционных мишеней-катодов.

В связи с этим актуальность диссертационной работы Яцюка И.В., посвящённой созданию новых высокотемпературных СВС-керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния, предназначенных для изготовления и защиты поверхности теплонагруженных элементов и конструкций, не вызывает никаких сомнений. Актуальность работы подтверждается также выполнением её в соответствии с тематическими планами университета на НИР и ОКР.

**Научная новизна работы.** Для решения поставленных в работе задач Яцюком И. В. выполнен большой объём экспериментальных исследований, на основании которых показано определяющее влияние жидкофазных процессов химического взаимодействия на кинетику процесса горения элементных реакционных смесей в системах  $\text{Zr-Si-B-(Al)}$  и  $\text{Zr-Si-B-C}$ . Определена стадийность химических превращений в волне горения смесей  $\text{Zr-Si-B-(Al)}$  и  $\text{Zr-Si-B-C}$ . Показана взаимосвязь физико-механических свойств керамических материалов в изученных системах от соотношения компонентов в реакционных смесях. Обнаружена взаимосвязь между соотношением фаз  $\text{ZrB}_2/\text{SiC}$  и теплопроводностью керамики  $\text{ZrB}_2\text{-SiC-MoSi}_2$ , растущей с увеличением содержания  $\text{SiC}$ , что способствует быстрому отводу тепла из зоны контакта с высокоэнтальпийным потоком окислительного газа. Высокие значения теплопроводности керамических материалов крайне важны при использовании их в качестве конструкционного материала для изготовления теплонагруженных узлов в ракетно-космической технике и авиации.

Свидетельством **практической значимости** диссертации являются разработанные технологические инструкции:

ТИ 45-11301236-2018 на производство дисковых керамических мишеней-катодов на основе борида и силицида циркония для ионно-плазменного осаждения многокомпонентных высокотемпературных покрытий;



ТИ 46-11301236-2018 на производство гетерофазного порошкового полуфабриката на основе боридов, силицида циркония и карбида кремния СВС методом.

Зарегистрированные технические условия ТУ 1984-023-11301236-2016 на композиционные функционально-градиентные мишени-катоды.

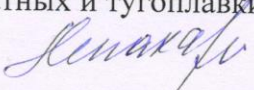
Свидетельство Ноу-хау НИТУ «МИСиС» № 38-164-2017 ОИС на состав и способ получения гетерофазного порошкового полуфабриката на основе боридов и силицидов циркония и молибдена для шликерного осаждения высокотемпературных покрытий.

Судя по автореферату, в целом диссертация Яцюка И.В. представляет собой важное исследование, которое выполнено на высоком научном уровне и имеет большую практическую значимость. Оно способствует решению важнейшей научно-технической проблемы, заключающейся в разработке новых высокотемпературных керамических материалов на основе боридов и силицидов Zr и Mo, а также SiC, способных работать в экстремальных условиях эксплуатации.

Отличительной чертой представленных в диссертации исследований является их комплексность и логическая завершенность. Новые результаты, полученные автором, достоверны, а выводы хорошо обоснованы. Судя по списку публикаций, основные результаты диссертационной работы представлены в печати в полном объеме.

Считаю, что по актуальности задач, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, а также количеству публикаций диссертационная работа Яцюка И.В. «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а Яцюк И.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Старший научный сотрудник ТНЦ СО РАН,  
кандидат технических наук (Специальность 05.17.11 –  
Технология силикатных и тугоплавких неметаллических  
материалов)



 Ольга Клавдеевна Лепакова

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Томский научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук (ТНЦ СО РАН)  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/4  
тел. 492-471, 492-702

E-mail: combustion2005@yandex.ru

Собственноручную подпись Лепаковой Ольги Клавдеевны заверяю.

Председатель ТНЦ СО РАН

  
 В.В. Колосов



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Яцюк И.В. по теме "Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния" на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Создание различных высокотемпературных материалов с высокими функциональными характеристиками и разработка рациональных технологий их производства является сегодня важнейшей проблемой. Среди большого многообразия высокотемпературных и жаростойких композиционных систем благодаря своим уникальным свойствам особое место занимают материалы на основе боридов, карбидов, силицидов, в этой связи тема диссертационной работы Яцюк И.В. является весьма актуальной.

В данной работе для получения новых высокотемпературных керамических материалов использован эффективный энергосберегающий метод СВС, позволяющий получать материалы с широким спектром необходимых эксплуатационных свойств, со структурой и свойствами, которые невозможно или трудно получить традиционными методами.

В работе Яцюк И.В. рассмотрены актуальные для материаловедения задачи создания перспективных материалов, изучены кинетика, механизм горения, фазо- и структурообразование в волне горения, свойства синтезированных керамических материалов и др. Полученные результаты отражают связь отдельных ее этапов. Наличие корреляционной связи между целью, решенными в работе задачами и проблемами, результатами и установленными закономерностями свидетельствует о внутреннем единстве, характерном для данной диссертационной работы.

Получены новые результаты по определению стадийности химических и структурных превращений в волне горения, которые играют решающую роль в формировании микроструктуры и фазового состава, что в свою очередь влияет на физико-механические свойства полученных керамических материалов.

Научная новизна результатов также подтверждается выполнением диссертации в соответствии с тематическими планами НИР и ОКР университета по проектам и зарегистрированным свидетельством «Ноу-хау».

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные в результате выполнения диссертационной работы имеют достаточно высокие эксплуатационные характеристики, предопределяющие возможность применения этих материалов для изготовления и защиты поверхности теплонагруженных элементов и конструкций. Разработанные технологические и технические

условия, перечисленные в автореферате, также подтверждают практическую значимость работы.

Работа Ящук И.В. выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов и установок, достоверность результатов не вызывает сомнений. Полученные результаты диссертационной работы опубликованы в 15 печатных работах и неоднократно обсуждались на различных конференциях

По автореферату имеется следующее замечание:

- из автореферата неясна роль предварительного механического активирования шихты на характеристики полученных материалов.

Однако, замечание не затрагивает основных положений и выводов, представленных в автореферате. На наш взгляд, результаты исследований достоверны и свидетельствуют о высокой научной квалификации соискателя.

В целом диссертационная работа Ящук И.В. по актуальности, теоретической и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

ГНС лаборатории СВС- новых материалов, д.х.н.

 Абдулкаримова Р.Г.

Генеральный директор РГП «Институт проблем горения», д.х.н., профессор



Мансуров З.А.

Абдулкаримова Роза Габдулловна, моб.телефон +77016671592, e-mail: [abdulkarimovaroza@mail.ru](mailto:abdulkarimovaroza@mail.ru), 050012, г.Алматы, ул.Богенбай батыра, 172, Институт проблем горения, главный научный сотрудник

Мансуров Зулхаир Аймухаметович, Генеральный директор РГП «Институт проблем горения», д.х.н., профессор  
e-mail: [ZMansurov@kaznu.kz](mailto:ZMansurov@kaznu.kz), 050012, г.Алматы, ул.Богенбай батыра, 172



## О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Проблема создания многокомпонентных керамических материалов на основе боридов и силицидов циркония, перспективных для изготовления и защиты поверхности элементов конструкций, способных работать в окислительной среде при температурах выше 1800°C, безусловно, является актуальной. Применение для ее решения СВС-технологий обеспечивает ряд преимуществ, таких как высокая производительность процесса, его экономичность, высокая чистота получаемых продуктов и т.д.

С использованием самых современных экспериментальных методов анализа фазового состава и структуры материалов и расчетных методов описания СВС-процессов диссертантом исследованы кинетика СВС-горения в системах Zr-Si-B-Al и Zr-Si-B-C, стадийность структурообразования в волне горения (в том числе в условиях подогрева от внешнего источника тепла и разбавления реакционной смеси конечным продуктом), физико-механические свойства полученных керамических материалов, особенности их высокотемпературного окисления и структура формирующихся при этом окисных пленок. Научный интерес представляет установленный факт определяющего влияния на кинетику горения в рассмотренных системах жидкофазного взаимодействия компонентов реакционных смесей, а также выявленные взаимосвязи физико-механических свойств и жаростойкости исследованных материалов с их фазовым составом и структурой.

Результаты исследований позволили разработать научно-обоснованные рекомендации по оптимизации составов и технологических режимов силового СВС-компактирования многокомпонентных керамических материалов на основе боридов и силицидов циркония и синтеза гетерофазного порошкового полуфабриката  $ZrB_2-SiC$ .


По работе имеется замечание: из автореферата не ясно, почему в качестве мишеней-катодов для магнетронного напыления использовались прессовки, полученные силовым СВС-компактированием, а не обычные прессовки исходных компонентов, имеющие тот же самый элементный состав.

Данное замечания не снижают научной и практической значимости полученных результатов.


### Заключение

Представленные в автореферате научные и практические результаты свидетельствуют о том, что диссертационная работа Яцюка Ивана Валерьевича является научным исследованием, направленным на решение актуальной научно-технической проблемы создания новых высокотемпературных материалов для ответственных тяжело нагруженных

деталей и узлов ракетно-космической техники, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК при Минобрнауки Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени по научной специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Декан факультета технологии конструкционных материалов,  
профессор кафедры «Технология материалов»,  
д-р техн. наук (05.16.09 – Материаловедение  
(машиностроение)), доцент  Крохалев Александр Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».  
Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28,  
Тел.: (8442) 24-80-13, e-mail: [kroch@vstu.ru](mailto:kroch@vstu.ru).

Ведущий инженер Центра коллективного пользования  
«Физико-химические методы исследования» ВолгГТУ,  
канд. техн. наук (05.16.09 – Материаловедение  
(машиностроение))  Харламов Валентин Олегович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».  
Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28,  
Тел.: (8442) 23-06-42, e-mail: [harlamov\\_vo@mail.ru](mailto:harlamov_vo@mail.ru)

Отзыв подготовлен 28.04.2018.

На обработку персональных данных согласны.





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы

Огромное значение для промышленности имеют материалы, работающие при высоких температурах, динамических нагрузках, в условиях агрессивных сред. Данные материалы должны характеризоваться комплексом свойств, таких как высокая теплопроводность, электрическая проводимость, химическая и коррозионная стойкость, высокая температура плавления и др., поэтому получение материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния технологически простым, надежным и производительным методом – самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, является перспективной и актуальной темой любого научного исследования, и, в частности, данной диссертационной работы.

Актуальность выбранной тематики подтверждается участием автора в ряде научных проектов: грантов РФФИ, ГосЗадания, гранта НИТУ «МИСиС» и др., что определяет большую значимость выбранной автором тематики в научном сообществе.

Работа хорошо апробирована автором участием с докладами на 9 Российских и Международных конференциях. Диссертант является автором 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК и 1 «Ноу-хау».

Работа выполнена на высоком уровне с использованием как научных подходов к анализу полученных результатов, исследованию фазового состава, микроструктуры, окислостойкости, так и практического применения результатов – при получении керамических мишеней-катодов. Практическая значимость работы также подтверждена разработкой в рамках диссертационного исследования технической документацией: технологической инструкцией на производство дисковых керамических мишеней-катодов; технологической инструкцией на производство гетерофазного порошкового полуфабриката на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния методом СВС; техническими условиями на композиционные функционально-градиентные мишени-катоды.

Автореферат написан простым научным языком. Поставленные автором задачи полностью выполнены в рамках диссертационного исследования.

В процессе прочтения автореферата диссертации возникли следующие вопросы:

1. Автор работы не поясняет, чем были обусловлены критерии выбора технологических режимов процессов горячего прессования и искрового плазменного спекания?

2. Почему у материалов, спеченных методом горячего прессования при более высокой плотности и низкой пористости, значения модуля упругости ниже чем у материалов, полученных искровым плазменным спеканием? А у некоторых материалов, полученных горячим прессованием при большей плотности пористость ниже, чем у материалов, полученных ИПС (таблица 7)?

Несмотря на возникшие вопросы диссертационная работа И.В. Яцюка соответствует паспорту специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы, представляет собой законченную целостную научно-квалифицированную работу, в которой поставлены и решены актуальные и практически важные научные задачи, вносящие значительный вклад в развитие науки.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Яцюк Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Начальник сектора отдела  
конструкционной керамики АО «ЦНИИМ»,  
к.т.н. по специальности 05.17.11 – технология  
силикатных и тугоплавких неметаллических материалов



Сергей Николаевич Перевислов

Адрес АО «ЦНИИМ»: 191014, г. Санкт-Петербург, ул. Парадная, д. 8.

Тел. сот.: 8(904) 551-49-55.

E-mail: [perevislov@mail.ru](mailto:perevislov@mail.ru).

Подпись Перевислова С.Н. заверяю  
Начальник Отдела кадров АО «ЦНИИМ»



Т.А. Чепикова



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яцюка Ивана Валерьевича «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы

На рубеже последних десятилетий активно развивается наука в области разработки и внедрения керамических материалов для изделий гражданского назначения, авиационной, космической и ракетной, а также военной техники. Активно ведутся работы по получению материалов на основе бескислородных соединений – карбидов, боридов и силицидов. Данные материалы обладают комплексом уникальных свойств: высокая твердость, коррозионная и жаростойкость, высокая теплопроводность и др., что делает изделия на их основе незаменимыми в качестве абразивов, футеровочных материалов, тиглей для прецизионной металлургии, сопел, узлов трения, труб для перекачки металлических расплавов и др.

Наиболее распространенными способами получения плотных материалов являются методы твердофазного и реакционного спекания и жидкофазного спекания имеющие как положительные, так и отрицательные особенности. Адаптация технологически новых методов получения плотных материалов, включающих спекание методом СВС с последующим уплотнением ГП и ИПС, изучение структуры, фазового состава, физико-механических свойств полученных материалов является **актуальной задачей** диссертационного исследования.

### **Научная новизна и практическая значимость.**

По технологии силового СВС-компактирования, получены мишени-катоды, по комбинированной технологии СВС-компактирования с использованием гибридных технологий СВС+ГП и СВС+ИПС получена керамика  $ZrB_2 + X \% SiC$  ( $X = 25, 50$  и  $75 \%$ ), в том числе легированная дисилицидом молибдена, изучена кинетика высокотемпературного окисления керамики  $ZrB_2-ZrSi/ZrSi_2(ZrSiAl_2)$  и  $ZrB_2-SiC$ . На основании представленных технологических и научных решений разработана техническая документация.

Достоинством работы является огромный объем экспериментальных исследований с привлечением большого количества современного оборудования и методик, таких как самораспространяющийся высокотемпературный синтез, искровое плазменное спекание, горячее прессование для спекания и получения высокоплотных материалов, высокоскоростная видеосъемка для определения скорости горения, динамический рентгенофазовый анализ, метод

закалки фронта горения в медном клине, электронно-микроскопический и локально-микрорентгеноспектральный анализ, рентгеноструктурный фазовый анализ, определены механические и теплофизические свойства разработанных материалов.

Сформулированные в работе научные положения, выводы и сделанные рекомендации являются обоснованными и базируются на большом объеме проведенных экспериментов, подтвержденных существующими теоретическими представлениями.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением адекватных и современных методов исследования. Выполненное исследование всесторонне апробировано на Всероссийских и Международных научных конференциях.

Тем не менее, к содержанию автореферата диссертации И.В. Яцюка возникли следующие вопросы и замечания, преимущественно дискуссионного характера, не отрицающие сделанные автором выводы и сформулированные научные положения:

1. Диссертант иногда путает изображение фрактограммы с микроструктурой, например, на рисунке 4.

2. В автореферате автор не пишет на скольких образцах проводились испытания механических свойств, например, модуля упругости и твердости по Виккерсу?

3. В работе автор, для сравнения свойств разработанных материалов, не приводит данные по механическим и теплофизическим свойствам материалов, полученных другими альтернативными методами, например, жидкофазным спеканием или только горячим прессованием?

4. Диссертант на рисунке 9 приводит кривые окисления материалов, разных составов, описывая возможные реакции образования оксидных пленок. В соответствии с реакцией 5 образуется твердый монооксид кремния, который существует только в газообразном виде, да и с учетом данного обстоятельства реакция термодинамически практически не осуществима.

Сделанные замечания, по мнению рецензента не влияют на общую положительную оценку работы. Ее актуальность, научная и практическая значимость не вызывают сомнений. Уровень выполненных экспериментальных и теоретических исследований обеспечивает надежность полученных результатов.

В числе основных научных трудов автором опубликовано 5 статей в авторитетных научных изданиях, рекомендованных ВАК, получен 1 «Ноу-хау».

Выполненное И.В. Яцюком исследование соответствует паспорту специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.



Работа представляет собой законченное и целостное научно-квалифицированное исследование, в котором поставлены и решены на высоком профессиональном уровне актуальные и практически важные научные задачи. Созданные автором научные подходы по спеканию материалов, повышению механических характеристик, дополнительному уплотнению методами горячего прессования и искрового плазменного спекания, и сделанные теоретические обобщения позволяют квалифицировать работу как научное достижение в области материаловедения, порошковой металлургии и композиционных материалов.

Таким образом, по актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует критериям, установленным п. 9–14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Яцок Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Ордена Трудового Красного  
Знамени Института химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук  
доктор химических наук (специальность 02.00.04-  
физическая химия)

Голубева Ольга Юрьевна

26.04.2018

На обработку персональных данных согласна.

Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д.2

Телефон: (812)325-21-11

E-mail: olga\_isc@mail.ru

Подпись Голубевой О. Ю.  
удостоверяю



О.В. Круглова

## Отзыв

об автореферате диссертации Яцюка И. В. на тему «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – порошковая металлургия и композиционные материалы

Разработанные А. Г. Мержановым физико-химические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-процесс) существенно упрощают создание планируемых керамических материалов для различных практических применений.

Рецензируемая работа посвящена исследованию кинетики и механизмов горения, структурообразования продуктов синтеза в системах  $Zr-Si-B$  и  $Zr-Si-B-C$ , лежащих в основе разработки важных для обеспечения ряда практических целей материалов – покрытий, натурных деталей и др.

Проведен аналитический обзор литературы, позволивший показать преимущество керамики на основе сложных систем ( $ZrB_2$ ,  $ZrSi_2$ ,  $MoSi_2$ ,  $SiC$ ), получаемой различными методами для применения в теплонагруженных узлах в ракетно-космической технике, изготовления мишеней катодов для получения покрытий с регулируемыми свойствами.

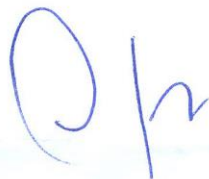
Используя порошки  $Zr$ ,  $Al$ ,  $B$ ,  $C$  (сажа и графит),  $SiC$ ,  $MoSi_2$ , оптимизированы методы смешения и диспергирования компонентов, входящих в используемую систему  $Zr-Si-B-C-Mo$ , выбор начальной температуры, оценки  $T_{пл}$  исследуемых систем, скорости горения и др. Изучены кинетика и механизм горения, проведен анализ микроструктуры в зависимости от состава и параметра горения, показано, что основной структурной составляющей является наиболее термодинамически стабильный  $ZrB_2$ . Для ряда композиций изучено высокотемпературное окисление, показано, что жаростойкость достигает  $1500\text{ }^{\circ}C$ .

Следует отметить разработку способа получения высокодисперсных порошков  $ZrB_2-SiC$ , что позволило получать в дальнейшем плотную керамику на их основе, изучить ее свойства. Разработаны приемы силового СВС-компактирования, по которым предложены промышленности ряд новых керамических материалов.



Считаю, что представленное диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно автором, в которой на основании проведенных экспериментов разработаны научно обоснованные параметры технологии композиционных высокотемпературных материалов, что имеет значение для материаловедения. Автор работы, Яцюк Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Доктор технических наук (специальность 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»), профессор, профессор кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».



Орданьян Сергей Семенович

Адрес: 1900013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 26

Тел.: +7 (812) 316-67-65 E-mail: ceramic-department@yandex.ru

Подпись	<i>Орданьян С.С.</i>
Начальник отдела кадров	<i>Т.Ю. Брыжова</i>



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации ЯЦЮКА ИВАНА ВАЛЕРЬЕВИЧА «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Диссертационная работа Яцюка И.В. посвящена актуальной проблеме современного порошкового материаловедения - созданию новых высокотемпературных материалов конструкционного назначения на боридной, силицидной и карбидной основе является.

Автор рассматривает различные процессы, позволяющие получить как компактные, так и поверхностные высокотемпературные материалы.

В диссертационной работе изучены кинетика и механизм горения порошковых смесей, фазовый состав, микроструктура и свойства компактных продуктов синтеза, а также структура и свойства покрытий, полученных распылением синтезированных катодов-мишеней.

Работа выполнялась в рамках госзаданий, грантов РФФИ и НИТУ «МИСиС», прошла хорошую апробацию на конференциях различного уровня. О несомненной научной новизне свидетельствует получение автором «Ноу-хау».

Научные исследования, выполненные Яцюком И.В., нашли практическое применение: проведены стендовые газодинамические испытания консолидированной керамики на основе  $ZrB_2$ -SiC на ОАО «Композит».

На основании информации, представленной в автореферате, замечаний по работе нет.

Диссертационная работа характеризуется завершенностью. Поставленные задачи решены на должном научно-теоретическом и экспериментальном уровнях.

Вышесказанное позволяет считать, что диссертационная работа «Получение методом СВС перспективных керамических материалов на основе боридов, силицидов циркония и карбида кремния» соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Яцюк Иван Валерьевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Матыгуллина Елена Вячеславовна  
докт. техн. наук, доцент, профессор  
кафедры «Материалы, технологии и  
конструирование машин», Федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Пермский  
национальный исследовательский  
политехнический университет» (ПНИПУ),  
614990, Пермь, Комсомольский пр., 29  
тел. +7(342)2198096, [kmcm@ya.ru](mailto:kmcm@ya.ru)

26.04.2018

Подпись Е.В. Матыгуллиной за  
секретарь, кандидат исторических



Е.В.Матыгуллина

Yup-

В.И. Макаревич