

МИНОБРНАУКИ РОССИИ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»  
(НИТУ «МИСиС»)

119049, Москва, Ленинский проспект, 4  
Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05  
<http://www.misis.ru>  
E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)  
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749  
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям

НИТУ «МИСиС», доктор технических  
наук, профессор

М. Р. Филонов

\_\_\_\_\_ 2018 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической ценности диссертации

Яценко Игоря Владимировича

на тему: «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез  
керамико-металлических композиционных порошков на основе  
карбида титана и железа»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика  
экстремальных состояний вещества.

**Актуальность темы.** В настоящее время композиционные порошки на основе тугоплавкой составляющей с металлической связкой находят широкое применение в различных сферах промышленности в качестве износостойких покрытий, абразивов, материала для получения изделий методами порошковой металлургии. Наиболее широкое распространение получили композиционные порошки на основе карбида вольфрама и кобальта. Их использование обосновано полезными свойствами карбида вольфрама и хорошей смачиваемостью его кобальтом. Однако в виду дефицита вольфрамового сырья и его постоянно растущей стоимости многими исследователями ведется разработка безвольфрамовых аналогов твердых сплавов. Наиболее перспективными выглядят материалы на основе карбида титана. Для дополнительного

удешевления продукта автор предлагает в качестве связующего материала использовать железо, а в качестве способа получения - энергосберегающий метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Получению материалов на основе Fe-TiC методами СВС посвящены исследования многих ученых, однако продуктами горения являются спеки и слитки, размол которых для получения керамико-металлического порошка требует длительного времени и значительных энергозатрат. Актуальным является вопрос удешевления и упрощения получения керамико-металлического порошка за счет синтеза продукта в виде легкоразмольной массы. Также актуальной является задача использования дешевого оксидного сырья и наиболее дешевых восстановителей в процессе синтеза материала методом СВС.

Таким образом, тема диссертационной работы Яценко И.В. является актуальной, поскольку освещает вопросы исследования закономерностей и продуктов СВС керамико-металлических композиционных материалов из гранулированных и негранулированных исходных порошковых шихт, имеющих важное технологическое значение.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в том, что Яценко И.В. были установлены основные закономерности горения гранулированной системы  $(Ti+C)+x(Fe_2O_3+2Al)$  и порошковой системы  $(Ti+C)+x(Fe_2O_3+3C)$ , определены температуры, скорости и пределы горения, исследованы продукты синтеза.

Установлено, что скорость горения гранулированной шихты  $(Ti+C)+x(Fe_2O_3+2Al)$  возрастает с увеличением в шихте количества термитных гранул, а также с увеличением размера гранул. В случае содержания гранул термитной смеси до 50 % продукт реакции образуется в виде легкоразрушимого спека из отдельных гранул композита состава Fe-Al-Fe<sub>3</sub>Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC путем пропитки гранул TiC жидкими продуктами термитной реакции.

Теоретически (путем выполнения термодинамических расчетов) и экспериментально подтверждена возможность осуществления эндотермической реакции восстановления железа из его оксида углеродом (в виде графита или

сажи) в режиме термического сопряжения с высокоэкзотермическим процессом образования карбида титана. Оптимальное содержание ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+3\text{C}$ ) в исходной шихте для получения чистого продукта ( $\text{Fe-TiC}$ ) составляет 25 %. Продукт горения реакционной шихты  $(\text{Ti}+\text{C})+x(\text{Fe}_2\text{O}_3+3\text{C})$  образуется в виде высокопористой легкоразмольной массы композиционного порошка на основе  $\text{Fe-TiC}$ .

**Практическая значимость.** На учебно-опытной базе «Петра-Дубрава» СамГТУ организован участок по изготовлению керамико-металлических композиционных порошков на основе карбида титана и железа методом СВС. Синтезированные композиционные порошки использованы ООО «Технологические покрытия» в процессе производства защитных износостойких покрытий деталей машин. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс СамГТУ. Научная и практическая ценность диссертационной работы подтверждена актами внедрения.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в научных организациях, проводящих исследования и разработки процессов СВС (ИСМАН, г. Черноголовка, Московская обл., Отдел структурной макрокинетики Томского научного центра СО РАН, Институт химической кинетики и горения имени В. В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск), на промышленных предприятиях и организациях, производящих и применяющих материалы для газотермического напыления покрытий (ООО «Технологические покрытия», г. Самара, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара), на промышленных предприятиях и организациях, производящих изделия из твердых сплавов (в т.ч. безвольфрамовых) (АО «Волгабурмаш», г. Самара, ОАО «Уралбурмаш», п. Верхние Серги (Свердловская область)), а также в учебных целях в вузах (ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» г. Москва, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» г. Москва, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени

академика С.П. Королева», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет» и др.) при подготовке бакалавров и магистров.

**Основные результаты диссертации опубликованы** в 10 печатных работах, включая 2 статьи в научных изданиях из перечня, утвержденного ВАК РФ, 1 статья в журнале из базы Scopus, 1 статья в журнале из базы РИНЦ, 5 тезисов докладов на конференциях разного уровня, а также получен 1 патент на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованных источников, и полностью соответствует решению поставленных целей и задач.

**Во введении** приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлена структура диссертации.

**В главе 1** диссертантом на высоком научном уровне выполнен литературный обзор, посвященный составу и свойствам композиционных порошков на основе карбида титана, методам их получения и применения. Описаны теоретические основы, преимущества и применение СВС, приведены закономерности протекания СВС в системе Ti-C. Рассмотрены способы восстановления железа из его оксидных соединений.

**В главе 2** изложены сведения о характеристике исходных компонентов и методиках подготовки шихт, экспериментальные методики и методы исследования синтезированных образцов.

**В главе 3** выполнены термодинамические расчеты адиабатических температур горения и состава конечных продуктов горения выбранных гранулированных и порошковых смесей.

Сделаны вывод о том, что для гранулированной смеси  $(Ti+C)+x(Fe_2O_3+2Al)$  введение связующего не оказывает существенного влияния на температуру горения. Для порошковой шихты  $(Ti+C)+x(Fe_2O_3+3C)$  сделан вывод о возможности осуществления эндотермической реакции

восстановления железа из его оксида углеродом в режиме термического сопряжения с высокоэкзотермическим процессом образования карбида титана.

Выполненные термодинамические расчеты были дополнительно проверены при помощи программы Thermo, разработанной в Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН. Результаты расчетов показали высокую сходимость, что говорит о достоверности полученных результатов.

**В главе 4** представлены результаты исследования процесса получения порошка композита на основе железа и карбида титана с использованием реакции восстановления железа алюминием из гранулированной шихты.

Отработаны режимы сжигания и исследованы основные закономерности процесса горения (скорость и пределы горения) гранулированной шихты. Проведены исследования влияния различных параметров (размер гранул и соотношение гранул) на формирование продуктов горения. Исследованы микроструктура, химический и фазовый состав синтезированных образцов. Показана динамика измельчения материала для получения порошка, представлена структура частиц порошка после размола.

Показана перспективность использования гранулирования исходной шихты системы  $(\text{Ti}+\text{C})$  и  $(\text{Fe}_2\text{O}_3+2\text{Al})$  в технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения продукта горения в виде гранул определенного размера. При этом продукт реакции образуется в виде легкоразрушимого спека из отдельных гранул при содержании гранул термитной смеси в исходной шихте до 50 %. Содержание термитных гранул, при котором все гранулы продукта реакции проявляют магнитные свойства (при взаимодействии с постоянным магнитом), также составляет 50 %. Показано, что оптимальный размер гранул в условиях эксперимента составляет 5-6 мм. Определены режим размола и оптимальное время размола для получения различных фракций композиционного порошка.

**В главе 5** представлены результаты исследования процесса получения порошка композита на основе железа и карбида титана с использованием реакции восстановления железа углеродом из порошковой шихты.

Отработаны режимы сжигания и исследованы основные закономерности процесса горения (температура, скорость и пределы горения) порошковой шихты. Проведены исследования влияния различных параметров (соотношение компонентов, дисперсность порошка титана, тип модификации углерода, давление) на протекание процесса горения формирование продуктов. Исследованы микроструктура, химический и фазовый состав синтезированных образцов. Показана возможность использования железной окалины вместо  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в качестве источника железа.

В результате исследований показано, что предел горения в зависимости от типа исходных веществ наступает при содержании ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+3\text{C}$ ) от 35 до 45 %, а температуры горения согласуются с расчетными значениями и составляют 1510-1990 К (при содержании ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+3\text{C}$ ) в количестве 25 %) в зависимости от дисперсности порошка титана. За счет газовыделения в процессе синтеза продукт реакции представляет собой высокопористую легкоразмольную массу композиционного порошка. При этом отсутствует необходимость в дополнительной операции гранулирования шихты для исключения спекания продукта.

**В главе 6** представлены результаты исследования возможности практического применения синтезируемых порошков.

Приведены исследования абразивной и магнитной способностей, показано сравнение синтезированных порошковых материалов между собой и с известными материалами. Представлены результаты напыления порошков для получения износостойких покрытий газотермическим методом.

Сделан вывод о перспективе использования синтезируемых порошков в качестве защитных покрытий, наносимых газотермическими методами и в качестве магнитно-абразивных материалов.

В итоге автору диссертации удалось получить методом СВС легкоразмольные композиционные керамико-металлические материалы на основе карбида титана и железа с использованием в качестве источника железа оксидного сырья, а в качестве восстановителей – алюминия и углерода.

Полученные после размола порошковые материалы могут быть использованы в различных сферах промышленности.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в данной работе. Список литературы содержит 118 источников.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и заключений подтверждается большим объемом полученных экспериментальных данных, применением современного оборудования и использованием современных аттестованных методов и методик.

**По диссертационной работе Яценко И.В. имеются следующие замечания:**

1. Измерение температуры горения выполнялось только для порошковой шихты  $(Fe_2O_3+3C)+(Ti+C)$ . Следовало также привести температуры горения гранулированной шихты.

2. Не сказано, выполнялась ли промывка синтезируемых порошков перед напылением.

3. Не представлены характеристики полученных покрытий.

4. Большое количество выводов. Некоторые из них можно было бы сократить и обобщить.

Вместе с тем указанные замечания не снижают значимость диссертационной работы, которая представляет собой законченное исследование, выполненное Яценко И.В. на высоком научном уровне.

По научной значимости и объему полученных результатов представленная работа удовлетворяет требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. В целом диссертация и автореферат аккуратно оформлены, основные выводы логически вытекают из поставленных задач. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация Яценко Игоря Владимировича является научно-квалификационной работой, содержащей важные для развития науки и промышленности знания, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к

диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Яценко Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – «химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций соискателя, обсуждения доклада Яценко И.В. на объединенном семинаре кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) и Научно-учебного центра СВС (НУЦ СВС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (протокол № 6 от «24» января 2018 г.).

Заведующий кафедрой ПМиФП,  
директор НУЦ СВС,  
д.т.н., профессор

  
Евгений Александрович Левашов

Ученый секретарь кафедры ПМиФП,  
доцент каф. ПМиФП, к.т.н.

  
Владимир Юрьевич Лопатин

Ученый секретарь НУЦ СВС,  
в.н.с. НУЦ СВС, доцент каф. ПМиФП,  
к.т.н.

  
Виктория Владимировна Курбаткина

«Подпись рецензентов заверяю»

**Проректор**

**И.М. ИСАЕВ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4.  
тел.: (495) 638-45-00, факс: (499) 236-52-98, e-mail: [levashov@shs.misis.ru](mailto:levashov@shs.misis.ru)