

## О Т З Ы В

на автореферат диссертационной работы Каченюка Максима Николаевича «Формирование структуры и свойств керамических материалов на основе соединений титана, циркония, кремния при консолидации искровым плазменным спеканием», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

**Актуальность проблемы.** Современное машиностроение предъявляет высокие требования к увеличению износостойкости и длительности межремонтного периода материалов для триботехнических сопряжений, применяемых для узлов и механизмов машин нефте- и горнодобывающей промышленности, химической промышленности, машиностроения. Повышение износостойкости узлов трения может быть достигнуто за счет различных методов поверхностного упрочнения, а также путем использования композиционных материалов. В диссертационной работе поставлена и решена актуальная задача по управляемому синтезу износостойких композиционных материалов, содержащих износо- и абразивостойкие карбиды титана и кремния в сочетании с новым перспективным тройным соединением - карбосилицидом титана, обладающим слоистой структурой, подобной структуре графита. Одним из основных требований к свойствам керамических материалов является их высокая плотность, обеспечивающая уровень физико-механических свойств, поэтому для консолидации керамических порошков автором обоснованно выбран относительно новый и недостаточно изученный метод искрового плазменного спекания (ИПС).

**Новизна результатов** заключается в построении тройной диаграммы фазовых состояний, позволяющая прогнозировать фазовый состав в системе «титан-кремний-углерод». Достоверность подтверждена экспериментальными результатами формирования фазового состава при различных видах реакционного синтеза.

Впервые установлен механизм образования соединений в системе Ti-SiC-C при механоактивации (МА), заключающийся в протекании экзотермической лавинообразной реакции при превышении порогового значения энергонасыщенности; установлена последовательность реакций синтеза карбосилицида и карбида титана при МА.

Определен механизм формирования структуры при искровом плазменном спекании системы «Ti-SiC-C», показано каталитическое влияние оксида алюминия в количестве 3-7 мас. % при температуре 1400°C на синтез карбосилицида титана.

Новыми являются результаты по получению экспериментальных закономерностей формирования фаз в системе «Ti-SiC-C» в сравнении различных видов консолидации (спекание, ИПС, горячее прессование), позволяющие прогнозировать фазовый состав материала от параметров синтеза. Предложены физические модели, связывающие фазовый состав, пористость и параметры реакционного синтеза фаз в условиях консолидации методами ГП и ИПС.

Обнаружены особенности формирования микроструктуры в соединениях титана с кислородом при ИПС, заключающиеся в образовании ламеллярных элементов структуры нестехиометрического состава.

Разработана серия новых композиционных материалов «Ti-SiC-C», полученных методом ИПС, обладающих повышенной износостойкостью по

сравнению с карбидом титана за счет высокой плотности, формирования карбидов и слоистых квазипластичных ламеллярных фаз, подавления синтеза силицидов по границам зерен.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке новых износостойких материалов на основе карбида титана, полученных методами ИПС, обладающих не менее чем в 10 раз большей износостойкостью по сравнению с карбидом кремния; разработке технологических рекомендаций для производства износостойких материалов на основе карбосилицида титана более высокопроизводительным методом ИПС, обеспечивающих повышенный ресурс работы по сравнению с горячим прессованием (ГП). Разработана технологическая оснастка и технологические рекомендации для производства детали «Торцевое уплотнение» на детали торцевого уплотнения центробежных насосов системы охлаждения дизельного двигателя ДТ-50. Разработан способ получения композиционного керамического материала на основе карбосилицида титана методом ГП, позволяющий в 7-10 раз повысить ресурс работы пар трения по сравнению с карбидом кремния, полученного ГП. Показана возможность использования карбосилицида титана для изготовления композиционных электродов-инструментов на основе меди для электроэрозионной обработки металлов с пониженным относительным электроэрозионным износом. Методом ИПС получен градиентный материал с теплозащитным покрытием системы "металл-керамика" и предложена его архитектура. Разработана и изготовлена установка ГП для проведения экспериментальных работ по исследованию влияния параметров консолидации на структуру и свойства керамических материалов на основе тугоплавких соединений. Практическая значимость подтверждается 9 патентами, актами испытаний, лабораторным регламентом на производство.

**Достоверность результатов и обоснованность выводов диссертационной работы** обеспечена большим объемом эксперимента, использованием современных методик эксперимента и исследования на основе ГОСТов, экспериментальной верификацией расчетов.

Результаты опубликованы в 20 научно-технических периодических изданиях, рекомендованных ВАК и 16 входящих в Международные библиографические базы цитирования. Представленная к защите работа прошла достаточную апробацию на научно-практических конференциях. Материалы диссертации в автореферате изложены логично и ясно.

**Замечания:** 1. Объяснение ускорения усадки при 300-350°C на основе рекристаллизации (С.16, рис. 11 автореферата) вызывает сомнения, поскольку все компоненты исследуемого материала являются тугоплавкими; из них минимальная  $T_{пл.}$  у Ti и составляет 1665°C, поэтому даже у химически чистого Ti:  $T_{рек.} \geq 500^\circ\text{C}$ ).

2. Соискатель демонстрирует широкую эрудицию в своей научной сфере и упоминает о важности роли контактной поверхности при синтезе порошковых композитов (С.8 автореферата), однако в диссертации вопросам срачивания частиц и вопросам влияния межчастичных зон на свойства уделено недостаточно внимания.

3. Вызывает вопрос возможность широкого использования технологии ИПС в отечественной индустрии, поскольку все экспериментальные работы выполнены автором на установке SPS-1050b японского производства.

Высказанные замечания не снижают научной и практической ценности работы. Представленная диссертация отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора наук, и её автор, Каченюк Максим Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

*Сведения об организации*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»  
Почтовый адрес: 344000, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,  
Тел.: (863) 273-85-25  
E-mail: [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

*Сведения о лице, подписавшем отзыв*

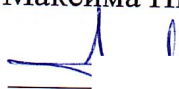
Доктор технических наук по специальности 2.6.17 (05.16.09) – Материаловедение (машиностроение), профессор, профессор кафедры «Материаловедение и технология металлов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»  
тел. служ: (863) 273-85-19  
E-mail: [kudryakov@mail.ru](mailto:kudryakov@mail.ru)

« 10 » февраля 2023 г.



— Кудряков Олег Вячеславович

Даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Каченюка Максима Николаевича.



Кудряков Олег Вячеславович

Подпись проф. Кудрякова О.В. заверя

Ученый секретарь Ученого Совета

« 10 » февраля 2023 г.



В.Н. Анисимов