

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертацию Шустова Вадима Сергеевича «Разработка технологии получения градиентных пористых материалов на основе порошков карбида титана для фильтрации газов и жидкостей», предоставленную на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

### **Актуальность темы исследования**

Для разработки новых и совершенствования уже существующих технических устройств и процессов требуется создание новых материалов с улучшенными свойствами. Решению данной задачи способствуют, в том числе, высокопористые керамические материалы. Интерес к их исследованию обусловлен сочетанием комплекса высоких функциональных свойств керамики с возможностями пористых материалов при их использовании в качестве фильтров, теплоизоляции, теплозащиты, носителей, мембран. При создании пористой керамики на основе карбидов переходных металлов могут быть существенно повышены температуры эксплуатации, а также твёрдость, химическая и износостойкость конечного изделия. Существенные преимущества данные материалы имеют с точки зрения возможности их регенерации с помощью термообработки или промывки агрессивными реагентами. Соответственно, пористые карбидные материалы, в частности, фильтры весьма перспективны для применения в различных областях человеческой деятельности.

Однако однородные пористые материалы довольно быстро теряют проницаемость, а их регенерация представляет определённые трудности. С этой точки зрения достаточно эффективными проявили себя фильтры из, так называемых, градиентных материалов. Создание двух- или многослойных фильтров с различной величиной пористости и размеров пор в каждом из слоёв позволяет увеличить степень очистки газов от твёрдых частиц, в том числе в агрессивных и высокотемпературных условиях. Появляется также возможность более простой регенерации данных материалов – методом обратного тока жидкости или газа.

В свою очередь, создание новых материалов требует разработки и применения новых технологических процессов и приёмов.

Таким образом, выбранное Шустовым В.С. направление диссертационного исследования, посвященное определению режимов консолидации порошков карбида титана различной дисперсности для получения изделий с заданными значениями пористости и исследованию их механических свойств является весьма актуальным.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Достоверность результатов и положений, выносимых на защиту, диссертационной работы Шустова В.С. базируется на корректном выборе исходных материалов и способов получения пористых образцов, использовании современных технических средств измерений и методов исследования, воспроизводимости результатов, согласованностью с данными других исследований. Соискатель грамотно использует математическое описание процесса спекания для построения диаграмм спекания порошков карбида титана различной крупности.

Проведённое исследование обладает чёткой структурой, логической последовательностью, обусловленной решаемыми задачами, иллюстративный и фактологический материал является убедительным.

Таким образом, научные выводы по диссертационной работе строго аргументированы, математически и логически обоснованы.

Достоверность защищаемых положений, выводов, результатов подтверждается значительным количеством опубликованных по теме диссертации научных статей и апробацией работы на научных конференциях.

## **Научная новизна и практическая значимость работы**

Все защищаемые автором диссертации положения являются новыми.

Важнейшим результатом диссертационной работы является определение режимов консолидации порошков карбида титана различной дисперсности, позволяющих получать изделия различной формы с открытой пористостью до 50 %. Особую практическую значимость имеет получение пористого проницаемого материала с градиентной структурой на основе карбида титана различной крупности с общей пористостью 39 % и максимальным размером пор 320 нм, позволяющий достичь повышенной степени очистки технологической среды при незначительном снижении пропускной способности всего изделия.

Научная составляющая представленной диссертационной работы заключается в экспериментальном установлении механических свойств и характеристик пористости полученных образцов и отработка на основе этих знаний технологических режимов прессования и спекания порошков карбида титана. В результате проведённых исследований установлено, что предел прочности на изгиб пористого материала из карбида титана находится в интервале 66 – 95 МПа и имеет тенденцию к уменьшению с

ростом температуры спекания, что вызвано развитием дефектов в виде трещин на поверхности образцов с увеличением интенсивности термообработки. Экспериментально показано, что прочность пористых материалов из карбида титана, полученных из высокодисперсных исходных порошков, выше, чем у крупнозернистых аналогов. Рассчитаны диаграммы спекания порошков карбида титана различной крупности, качественно показывающие превалирующий механизм спекания материала при данной температуре.

### **Замечания по диссертации**

Замечания и вопросы к работе не носят принципиального характера, а относятся скорее к форме представления полученных результатов.

1. На дифрактограмме (рисунок 11а) нет фазы графита, однако в тексте указано (страница 45), что «содержание графита – 1,13 объёмной доли». Выборка из 50 частиц для определения среднего размера и построения гистограммы (рисунок 12) не является репрезентативной (ГОСТ 23402-78. Порошки металлические. Микроскопический метод определения размеров частиц).
2. Проведённый расчёт погрешности определения плотности и пористости включает в себя только инструментальную составляющую систематической погрешности. Случайная погрешность не определена. Рассчитанные (страница 56) относительные погрешности не являются результирующими.
3. В работе не проведена характеристика спечённых однослойных и градиентных материалов: нет данных по их элементному и фазовому составам, дисперсность только визуально оценена по данным электронной микроскопии, не изучено структурное состояние фаз, содержащихся в образцах.
4. Не объяснено, как влияет присутствие оксида никеля в исходном порошке никеля (рисунок 32а) на процесс получения градиентных материалов.
5. Не предложено объяснение линейной зависимости плотности и открытой пористости спечённого карбида титана от температуры спекания.

Перечисленные выше вопросы носят дискуссионный характер, не оказывают существенного влияния на научное содержание работы и не меняют высокой оценки диссертации Шустова В.С.

## Заключение

Считаю, что работа Шустова В.С. выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне и представляет собой самостоятельное законченное исследование, в котором содержится решение важной научной задачи: определение режимов консолидации порошков карбида титана различной дисперсности. Необходимо отметить практическую перспективу полученных соискателем результатов, заключающуюся в получении изделий на основе карбида титана с градиентной пористой структурой.

Автореферат полностью отражает содержание работы. Работа многократно апробирована на научных конференциях, основные результаты исследований опубликованы в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемый ВАК при Минобрнауки. Печатные работы полно и адекватно отражают содержание диссертации.

Диссертация Шустова В.С. соответствует научной специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и требованиям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Шустов Вадим Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Доцент кафедры Функциональных наносистем и высокотемпературных материалов  
НИТУ «МИСиС», к.т.н  
119049 Москва, Ленинский пр-т, д.4.,  
НИТУ «МИСиС», каф. ФНСиВТМ;  
тел. (499) 237-22-26;  
[avrore@gmail.com](mailto:avrore@gmail.com)



Дзидзигури Э.Л.

Подпись Дзидзигури Э.Л. заверяю

ПОДПИСЬ \_\_\_\_\_ ЗАВЕРЯЮ \_\_\_\_\_  
Проректор по общим вопросам \_\_\_\_\_  
НИТУ «МИСиС» \_\_\_\_\_ И.М. ИСАЕВ

