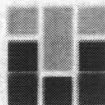


TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ


Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
"National Research Tomsk Polytechnic University" (TPU)  
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia  
Tel. (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,  
Fax (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru  
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):  
02069303,  
Company Number: 1027000890168,  
VAT / KPP (Code of Reason for Registration):  
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет» (ТПУ)  
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия  
тел.: (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,  
факс: (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru  
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,  
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и  
инновациям Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета,  
д.т.н., профессор

 А.Н. Дьяченко  
«07» // 2016 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Ушакова Анатолия Васильевича на тему «Плазмохимический синтез нанодисперсных и нанокпозиционных материалов в плазме дугового разряда низкого давления» по специальности «05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы» на соискание ученой степени доктора технических наук.

**Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.** Дуговой разряд сопровождается эрозионным распылением материала электрода, что в локальной области разряда можно отнести к действию энергии высокой плотности мощности на металлы. Это действие приводит к формированию фракции частиц наноразмерного размерного диапазона. Объект исследований – плазмохимический синтез нанопорошков тугоплавких соединений и дуговой разряд при низком давлении газов.

**Предмет использований** – нанопорошки  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrN}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiN}$  и другие, полученные в плазме дугового разряда и их характеристики: структурные (размер областей когерентного рассеяния, площадь удельной поверхности, распределение полученных частиц по диаметру).

**Цель и задачи исследований.** Согласно представленным в диссертационной работе и в автореферате экспериментальным и теоретическим результатам поставленная цель и задачи выполнены в полном объеме, что



- отражено в выводах: - 1- ой задаче соответствуют выводы 1 и 8; - 2 – ой задаче соответствуют выводы 1-3 и 6, 8-10;
- 3 – ей задаче – выводы 3, 5 – 8;
  - 4 – ой задаче – выводы 1, 8 – 10;
  - 5 – ой задаче – выводы 1, 2, 8 – 10;
  - 6 – ой задаче – выводы 8 – 10.

**Значимость для науки.** Полученные в работе экспериментальные результаты, расчеты и результаты физического и компьютерного моделирования позволили установить новые закономерности формирования нанодисперсных порошков тугоплавких соединений в условиях дугового разряда в газовых средах при пониженном давлении. Установлено, что основным продуктом эрозии в катодном пятне дугового разряда низкого давления является микрокапельная фракция, которая интенсивно испаряется в прикатодной области за счет теплообмена с окружающим нагретым газом при оптимальном давлении 100 Па. Показано, дуговой разряд представляет собой серию искровых с образованием электронной лавины и стримерного канала. На основании теории подобия для дугового разряда низкого давления предложен параметр  $rd$ , упрощающий обоснование параметров получения нанопорошков в плазме дугового разряда.

**Значимость для производства** полученных диссертантом результатов заключается в создании плазмохимического комплекса для синтеза нанодисперсных и нанокomпозиционных материалов на основе тугоплавких неорганических соединений в плазме дугового разряда низкого давления, на что выданы 6 патентов РФ. На основе полученных автором результатов может быть развернуто промышленное производство нанопорошков тугоплавких соединений для развития материаловедения в РФ. Опытное производство в СФУ необходимо для подготовки квалифицированных специалистов для производства нанопорошков и материалов.

**Выводы.** Диссертационная работа А.В. Ушакова содержит все необходимые разделы: введение, состоит из 6 глав, выводов и приложений. Работа изложена на 288 страницах, включает более 67 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 215 наименований. Автореферат также содержит все необходимые разделы и отражает основное содержание диссертационной работы. Ушаков А.В. широко известен среди специалистов по порошковой металлургии: его материалы прошли апробацию на конференциях различного уровня: опубликована 1 монография, 41 статья в изданиях из списка ВАК, получено 6 патентов РФ и 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Наряду с положительными характеристиками диссертационной работы в ней есть ряд недостатков.



1. Почему в диссертации автор не различает малые частицы: кластеры и наночастицы, которые обозначил Оствальд в конце 19 – го века в своей классификации коллоидных систем?

2. В разработанной в Национальном исследовательском Томском политехническом университете электровзрывной технологии получения нанопорошков используется быстрый взрыв проволок, но на стр. 27 – 28 диссертации приведены параметры не соответствующие этому режиму. Особенно занижена температура плазмы –  $10^3$  К. Откуда эти данные?

3. В случае запыленной плазмы – продуктов дугового разряда необходимо различать температуру электронной и атомной подсистем плазмы, которые в неравновесных процессах различаются на порядки. К тому же автор не учитывает, что нижний температурный предел существования плазмы – это  $(4 – 5) 10^3$  К. Какая температура измерялась в диссертации?

4. Автор не привел характеристики всех продуктов после действия дугового разряда на металлы, что необходимо для характеристики технологии. Почему?

5. В диссертации (рис. 2.1, 2.2, 4.4 – 4.13, 5.10, 5.12 и др.), и в автореферате (рис. 1,2,3,4,8,9,10,13,14,16,17,18) подрисуночные подписи не соответствуют содержанию, например, Рис. 1. Плазмохимический реактор.....вместо Схемы плазмохимического реактора.

6. Автор использует некоторые термины не по их прямому назначению:

- удельная поверхность вместо площади удельной поверхности;
- профиль линии рентгеноструктурного анализа вместо рефлексов на рентгенограмме;
- средний размер частиц в природе не существует: есть среднеповерхностный, среднемассовый и среднечисловой размер и др.;
- пик и пики основных линий на рентгенограмме называют рефлексами, что соответствует природе рентгенофазового анализа ( рис. 13,14 автореферата и рис. 5.15 диссертации);
- в рентгенофазовом анализе спектры не используются никогда.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы Ушакова Анатолия Васильевича, диссертация имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические, технологические результаты, оптимальные параметры и характеристики нанопорошков тугоплавких соединений и композитов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие РФ и в создание материальной базы порошковой металлургии.



Диссертационная работа соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор Ушаков Анатолий Васильевич достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности «05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Отзыв на диссертацию и на автореферат рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Общей химии и химической технологии Национального исследовательского Томского политехнического университета 1 ноября 2016 г., протокол № 26.

#### ОТЗЫВ СОСТАВИЛ:

Профессор кафедры Общей химии и  
химической технологии  
Национального исследовательского  
Томского политехнического  
университета,  
д.ф.-м.н., профессор

 Александр Петрович Ильин

634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 43а,  
ауд. 202.  
e-mail: [ilyin@tpu.ru](mailto:ilyin@tpu.ru)  
Тел.: +7 (3822) 60 61 69