

## ОТЗЫВ

официального оппонента Красикова Сергея Анатольевича на диссертацию  
Крыжанова Михаила Валентиновича  
**«Исследование восстановления оксидных соединений тантала магнием»**,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких  
металлов»

Предметом исследования диссертационной работы является получение порошков тантала с развитой поверхностью, которые востребованы как в производстве высокочастотных танталовых конденсаторов, так и для создания новых функциональных материалов. Автором впервые выполнено комплексное исследование четырех вариантов восстановления оксидных соединений тантала магнием. Определены основные закономерности исследованных способов восстановления и влияние их параметров на характеристики получаемых порошков тантала.

**Актуальность** выбранной соискателем темы не вызывает сомнений. Отсутствие промышленного производства танталовых порошков в России только подчёркивает значимость работы.

**Обоснованность и достоверность защищаемых положений и выводов.** Для анализа характеристик полученных продуктов автором использован набор современных методик – исследование пористости методом ВЖН на приборе Micromeritics TriStar II 3020, рентгенофазовый и химический анализы, атомно-эмиссионная масс-спектрометрия, электронная микроскопия, газоадсорбционная хроматография. Также в работе применялись стандартные методы определения характеристик порошков (гранулометрического состава, удельной поверхности (метод BET), насыпной плотности) и изготовленных из них анодов конденсаторов.

Широкий спектр используемых взаимодополняющих методик, большой объём экспериментального материала и критическое сравнение диссертантом полученных результатов с известными результатами других авторов подтверждают достоверность полученных данных и подчёркивают обоснованность представленных им положений.

**Научная новизна работы:** диссертантом выполнен расчёт отсутствующих в литературе стандартных энтальпий образования и энтропий танталатов магния различного состава, определена зависимость

адиабатической температуры взаимодействия оксидных соединений тантала с магнием от температуры и состава шихты. Впервые определены параметры процесса горения при взаимодействии пентаоксида тантала с магнием в режиме СВС при давлении 0.1 МПа в зависимости от плотности, состава и температуры шихты. Показана возможность существенного увеличения удельной поверхности порошков тантала при использовании в качестве прекурсора для магниетермического восстановления танталатов магния; определена зависимость удельной поверхности порошков от состава танталатов и скорости поступления паров магния в зону реакции, установлена их мезопористая структура.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в разработке условий получения мезопористых порошков тантала с удельной поверхностью до  $80 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$  с насыпной плотностью на уровне  $1.5 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , не имеющих аналогов в мировой практике, что открывает пути к созданию нового класса материалов – мезопористых порошков тугоплавких редких металлов; а также получение порошков тантала, позволяющих изготавливать аноды конденсаторов с удельным зарядом до  $180000 \text{ мкКл} \cdot \text{г}^{-1}$ .

**Общая характеристика диссертационной работы.** Диссертационная работа Крыжанова Михаила Валентиновича состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка использованных источников из 75 наименований. В конце каждой главы автором составлены краткие обобщающие выводы, в основных выводах отражены итоговые результаты работы. Диссертация изложена на 116 страницах, содержит 21 рисунок и 27 таблиц, написана доходчиво и грамотно.

Материалы диссертации отражены в 8 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, а также широко апробированы на всероссийских и международных научных мероприятиях, получен патент Российской Федерации.

Автореферат грамотно написан, аккуратно оформлен, снабжен необходимым количеством иллюстраций и соответствует содержанию диссертации. Полученные соискателем результаты соответствуют цели диссертационной работы – исследование влияния условий различных вариантов магниетермического восстановления оксидных соединений тантала на характеристики танталовых порошков; содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных автором работах.



**По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:**

1. При оценке влияния условий восстановления пентаоксида тантала на характеристики танталовых порошков (табл. 4, стр. 12 автореферата и табл. 7, стр. 62 диссертации) время опытов в атмосфере разреженного аргона и вакууме существенно различается, что должно отразиться на интерпретации полученных результатов. Следовало бы также пояснить, какой смысл автор вкладывает в термин «естественный поверхностный слой» (стр. 63 диссертации) и какие размеры этого слоя?
2. Из содержания диссертации следует, что восстановление оксидов тантала магнием имеет взрывной характер. Однако, в окончательных выводах нет четких рекомендаций о возможности регулирования этого процесса.
3. Отсутствует окончательная точка зрения автора на перспективность использования в качестве прекурсора при магнийтермическом восстановлении пентаоксида тантала или танталатов магния.
4. Нет сравнительного экономического обоснования по перспективности использования магнийтермического восстановления при получении танталовых конденсаторных порошков в сравнении с другими промышленно апробированными способами.
5. Для практического использования предлагаемого магнийтермического процесса отсутствуют укрупненные испытания технологии и, соответственно, рекомендации по используемой аппаратуре в промышленных условиях.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и общей положительной оценки диссертации М.В. Крыжанова.

**Заключение.** Диссертационная работа Крыжанова Михаила Валентиновича «Исследование восстановления оксидных соединений тантала магнием» является законченной научной работой, содержащей новые обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение результаты. Она полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.13 г. № 842. Её автор – Крыжанов М.В. – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий лабораторией электротермии восстановительных  
процессов Института металлургии УрО РАН  
Красиков Сергей Анатольевич *Краси* С. А. Красиков  
Почтовый адрес: 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101, Институт  
металлургии УрО РАН;  
Телефон: 8(343)232-90-53; e-mail: sankr@mail.ru  
Подпись Красикова С.А. удостоверяю:

Ученый секретарь Института  
металлургии УрО РАН, к.х.н.  
30.03.2016



В.И. Пономарев