

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Фадеева Андрея Андреевича на тему: «Формирование порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.09 – физика плазмы.

Экспериментальное изучение процесса формирования порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда является важной задачей современной физики плазмы. У этой задачи очевидное прикладное значение. Тяжелые сплавы на основе вольфрама имеют широкое применение в промышленности, и улучшение эксплуатационных характеристик изделий из таких сплавов напрямую связано с освоением способов производства изделий с субмикронной структурой. Одним из перспективных подходов для достижения субмикронной структуры в тяжелых вольфрамовых псевдосплавах является использование нанопорошков системы W-Ni-Fe, исследованию формирования которых в термической плазме электродугового разряда и посвящена диссертационная работа. Тема диссертационной работы, безусловно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка, пяти приложений. Работа выполнена на 194 страницах, содержит 86 рисунков и 23 таблицы. Библиографический список включает в себя 204 наименований.

В первой главе проведён аналитический обзор литературы, посвященной описанию свойств и применений тяжелых сплавов на основе вольфрама, способам получения мелкодисперсных порошков вольфрама с покрытием. Особое внимание уделяется описанию плазмохимическому методу получения нанопорошков. Также в первой главе проводится анализ литературы посвященной плазменной сфероидизации порошковых материалов.

Во второй главе подробно описываются основные узлы экспериментальной плазменной установки, описывается технологический процесс синтеза нанопорошков, описывается процесс сфероидизации порошков в плазме дугового разряда. Значительное внимание уделено описанию методики расчетов технологических характеристик процесса синтеза нанопорошков в дуговом плазмотроне. Далее во второй главе приводится описание методик измерения свойств получаемых порошков. Для характеристики порошков использовались: рентгенофазный анализ, определение удельной поверхности, сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, Оже—электронный микрозондовый анализ, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, измерение распределения частиц по размерам на основе лазерной дифракции и многие другие методики.

В третьей главе представлены результаты расчета параметров плазменного процесса получения наночастиц W-Ni-Fe. Расчеты проводятся при помощи стороннего программного комплекса ТЕРРА, который позволяет рассчитывать химическое и фазовое равновесие многокомпонентных систем методом минимизации потенциала Гиббса. В результате выполненных расчетов определены: состав и выход конечных продуктов, затраты энергии на их получение, а также необходимый уровень энтальпии потока плазмы для осуществления плазмохимического синтеза.

Четвёртая глава посвящена описанию результатов экспериментального исследования процесса плазмохимического синтеза нанопорошков W-Ni-Fe. Приводятся результаты оптимизации конструкции реактора, результаты оптимизации параметров технологического процесса, при которых получается добиться максимальной удельной поверхности. Для системы W-Ni-Fe продемонстрирована возможность получения нанопорошков с удельной поверхностью от 3,6 до 10,3 м²/г. Продemonстрирована возможность управления дисперсным составом. В четвертой главе также дается детальное обоснование механизма формирования композитных наночастиц со структурой «ядро-оболочка». Обсуждаются варианты снижения содержания кислорода в получаемых нанопорошках.

В пятой главе приводятся результаты экспериментов по сфероидизации нанопорошков системы W-Ni-Fe. Демонстрируется возможность получения порошков со сферической формой частиц со степенью сфероидизации не менее 99%. Также в разделе приводятся результаты исследования изменения структурного состава частиц при сфероидизации.

Главные результаты диссертационной работы сформулированы в разделе **Основные выводы**, отметим ключевые из них:

1. Экспериментально исследован процесс получения нанопорошков системы W-Ni-Fe состоящих из композитных частиц сферической формы, при восстановлении смеси оксидов металлов или смеси оксида вольфрама с металлами в потоке водородсодержащей термической плазмы электродугового разряда.
2. Показана возможность управления дисперсным составом получаемых нанопорошков в диапазоне изменения удельной поверхности от 0,6 до 10,3 м²/г.
3. Установлено, что структура получаемых композитных наночастиц характеризуется как «ядро-оболочка», где ядро – вольфрам, а оболочка, толщиной от 2 до 5 нм – трёхкомпонентный сплав W-Ni-Fe. Элементы никель и железо равномерно распределены по поверхности всех частиц вольфрама.
4. Разработан и обоснован механизм формирования композитных наночастиц со структурой «ядро-оболочка» при их получении в термической плазме электродугового разряда в результате химической соконденсации паров металлов из газовой фазы.

Отмечу, что диссертационная работа написана в очень хорошем научном стиле. Достаточно подробно описаны все важные детали, влияющие на получаемые результаты. Все промежуточные и окончательные выводы подробно обсуждаются и аргументируются. Все работа хорошо структурирована и логично построена.

Вместе с тем, диссертация не свободна от недостатков.

Замечания.

1. Во введении, на странице 18 впервые упоминается о соотношении никеля и железа в системе вольфрам-никель-железо. Соотношение Ni/Fe приводится без указания единиц измерения, а количество вольфрама не указано вовсе.
2. В разделе 2.2. Один из ключевых параметров описывающих работу плазмотрона – это среднемассовая температура плазменной струи. В таблице 6 указано, что значение этого параметра лежит в пределах 3500 – 10000K, но остается неясно, как можно управлять этим параметром и от чего он зависит.
3. В описании технологического процесса мало внимания уделено потерям тепла на плазмотроне. Сколько составляют эти потери?

4. Раздел 2.3, п.6. Использование результатов расчетов равновесных состояний термодинамических систем для такого нестационарного объекта как плазменная струя требует дополнительного обоснования.
5. Раздел 4.1, рисунок 34. Не ясно, каким образом измерялся КПД плазмотрона.
6. Раздел 4.3. На микрофотографии (рисунок 53) видно, что в порошке присутствуют частицы с размерами 100-300 мкм, а на распределении по размерам этого же порошка (рисунок 52) такие частицы полностью отсутствуют. Такое несоответствие нуждается в пояснении.

Отмеченные замечания не снижают важности и достоверности полученных в диссертации результатов.

Научная новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений, все полученные в диссертации результаты являются оригинальными. Научная новизна исследований подтверждается двумя патентами РФ: (Патент РФ № 2707455 от 26.11.2019); (Патент РФ № 2756327 от 29.09.2021). Результаты диссертации докладывались на многочисленных российских и международных конференциях и представлены в 20 реферируемых изданиях (в том числе и в журналах из перечня ВАК РФ). В приложении к диссертации приводятся 5 документов свидетельствующих об успешном внедрении результатов работы на предприятиях.

Диссертация Фадеева А.А. наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение проблем формирования порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда, имеющих существенное значение для физики плазмы. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.).

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.03.09- «Физика плазмы», а автор диссертационной работы, Фадеев А.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.09 – физика плазмы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Официальный оппонент
зав. отделом физики плазмы,
доктор физико-математических наук



А. В. Водопьянов

Сведения об официальном оппоненте:

Водопьянов Александр Валентинович, доктор физико-математических наук, 01.04.08 физика плазмы, адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46., адрес электронной почты: avod@ipfran.ru, наименование организации: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», должность: заведующий отделом физики плазмы.

Подпись д.ф.-м.н. А. В. Водопьянова заверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН
кандидат физико-математических наук



И.С. Корюкин

09 сентября 2022