

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Нохрина Алексея Владимировича

на диссертационную работу Фадеева Андрея Андреевича

«Формирование порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы

Актуальность темы диссертации

Тяжелые вольфрамовые сплавы системы W-Ni-Fe являются одним из наиболее сложных и интересных объектов в современном материаловедении. Уникальное сочетание высокой плотности, прочности и пластичности обуславливает их широкое применение в различных областях ядерной энергетики, общего и специального машиностроения. Важно отметить, что вплоть до настоящего времени основным способом изготовления изделий из сплавов W-Ni-Fe является жидкофазное спекание в водороде с последующим отжигом в вакууме или инертной среде. Применение технологии жидкофазного спекания существенно ограничивает возможность формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в вольфрамовых сплавах и, как следствие, не позволяет достигать высоких значений прочности. В связи с этим, изделия относительно простой формы (например, цилиндрические заготовки) подвергаются дополнительной упрочняющей деформационной обработке (ротационная ковка, экструзия), но возможность их применения для упрочнения изделий сложной формы маловероятна. В связи с этим, в отечественных и зарубежных научных центрах разрабатываются альтернативные подходы к повышению прочности вольфрамовых сплавов (термоциклическая обработка, поверхностная деформационная обработка, науглероживание и др.), эффективность применения которых невысока.

Одним из эффективных способов повышения механических свойств вольфрамовых сплавов является формирование в них однородной УМЗ структуры. Для решения данной задачи необходимо использовать нанопорошки W-Ni-Fe в качестве исходного материала, а также применять современные технологии порошковой металлургии, позволяющие одновременно сохранить предельно малый размер зерна в сплаве и обеспечить высокую плотность заготовки.

В рамках диссертационной работы А.А. Фадеева рассматриваются два основных способа получения порошков W-Ni-Fe, тесно связанных с технологиями их компактирования (спекания).

Первый способ – это получение нанокомпозитных порошков со структурой «ядро – оболочка» для их последующего твердофазного спекания, например, методом высокоскоростного электроимпульсного («плазменного») спекания (ЭИПС) или горячим изостатическим прессованием. Для успешного твердофазного спекания тяжелых вольфрамовых сплавов необходимо заранее сформировать равномерное распределение

легкоплавкой металлической фазы в объеме порошковой заготовки и использовать наночастицы со структурой «ядро-оболочка», позволяющих заранее сформировать межфазные границы в сплаве. В рамках диссертационной работы А.А. Фадеева эта задача успешно решена за счет создания технологического процесса синтеза наночастиц вольфрама, на поверхности которых находится нанотолщинный слой легкоплавкой γ -фазы. Равномерное распределение γ -фазы по поверхности наночастиц α -W с узкой гистограммой распределения частиц по размерам обуславливает возможность достижения высокой плотности, однородной УМЗ структуры и высоких механических свойств.

Вторая задача – это создание нового технологического процесса получения сферических гранул, состоящих из нанопорошков W-Ni-Fe. Сферическая форма гранул и их высокая текучесть делает возможным применение таких материалов для получения изделий сложной формы с использованием аддитивных технологий. Вплоть до настоящего времени такой технологический процесс отсутствовал в РФ и в мире. Зарубежные исследователи для 3D-печати по компьютерным CAD-моделям используют крупнозернистые порошковые композиции, что не позволяет обеспечить их высокую прочность. Для решения поставленной задачи необходимо создать технологический процесс получения сферических гранул, состоящих из нанопорошков W-Ni-Fe. Это позволит при 3D-печати создавать высокопрочные наноструктурированные изделия сложной формы.

Обе поставленные задачи успешно решены А.А. Фадеевым в своей диссертационной работе.

Высокий уровень достоверности полученных результатов высокий обусловлен большим объемом проведенных исследований, которые отличает грамотная методическая организация и систематичность, воспроизводимостью полученных результатов, использованием широкого круга взаимно дополняющих друг друга методов исследований, а также глубиной анализа полученных результатов. Полученные результаты прошли всестороннюю апробацию на ведущих всероссийских и международных научных конференциях и были опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах.

Высокая степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждена разработкой ряда новых технологических процессов, позволивших на практике реализовать предложенные в диссертации новые идеи, и созданием партий нанопорошковых вольфрамовых сплавов W-Ni-Fe, в том числе – нанопорошковых микрогранул и наночастиц W-Ni-Fe со структурой «ядро – оболочка», обеспечивших высокий уровень физико-механических свойств вольфрамовых псевдосплавов.

Научная новизна диссертационной работы А.А. Фадеева обусловлена, в первую очередь, обнаруженными различиями в механизмах кристаллизации наночастиц вольфрама, что проявляется в наличии двух частиц различной формы (сферической, ограненной) в нанопорошковой композиции, а также разработкой научно-обоснованного подхода к получению наночастиц W-Ni-Fe со структурой «ядро – оболочка» и изучением механизмов их синтеза. Важно подчеркнуть, что большой объем экспериментальных исследований по синтезу нанопорошков W-Ni-Fe удачно дополняется теоретическими расчетами термодинамических условий их получения в термической плазме.

Среди результатов имеющих большую научную новизну следует также выделить результаты экспериментальных исследований строения, состава и микроструктуры наночастиц W-Ni-Fe со структурой «ядро – оболочка», которые могут быть применены в современных технологиях сверхбыстрого спекания, и сфероидизированных микрогранул, применение которых позволит сделать новый шаг в развитии технологий 3D-печати изделий сложной формы из тяжёлых вольфрамовых сплавов.

Практическая значимость

Высокий уровень практической значимости предложенных научно-технических решений подтвержден патентом РФ №2707455 от 26.11.2019 г. «Сферический порошок псевдосплава на основе вольфрама и способ его получения» и патентом РФ №2756327 от 29.09.2021 г. «Плазменная установка для сфероидизации металлических порошков в потоке термической плазмы», защищающих, в том числе, новые конструктивные и технологические способы управления гранулометрическим составом порошков W-Ni-Fe. Разработанные технологические решения были использованы при создании новых установок и новых технологических процессов, внедренных на АО «Гиредмед», ФГУП ГНЦ РФ «ВИАМ», в Институте высоких технологий (г. Харбин, КНР), а также в НПО «Металл».

Основные результаты диссертации опубликованы в 20 статьях, в том числе 4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ («Металлы», «Технология легких сплавов» и др.) и 2 статьи – в ведущих международных журналах, индексируемых в базах «Web of Science» и «Scopus» («Journal of Alloys and Compounds», «Powder Technology»).

Опубликованные работы полностью соответствуют тематике диссертации, а автореферат полностью отражает содержание диссертации А.А. Фадеева.

К тексту диссертации А.А. Фадеева есть следующие **замечания**:

1. Для расчета среднего размера частиц автор использует данные о площади удельной поверхности порошков, измеренной методом БЭТ, и данные об их плотности (см. формулу на стр. (80)). Поскольку вольфрам при высокотемпературной обработке достаточно интенсивно растворяется в γ -фазе, то определение теоретической плотности сплавов W-Ni-Fe затруднено.

В частности, хорошо известно, что теоретическая плотность сплавов W-Ni-Fe, рассчитанная в предположении об аддитивности вкладов W, Ni и Fe, оказывается заметно больше экспериментально измеренной величины. Какие именно значения плотности были использованы автором при расчетах среднего размера частиц W-Ni-Fe?

2. На стр. 84 диссертации, при описании процедуры расчета процесса получения композитных наночастиц W-Ni-Fe в термической плазме, указано, что вводилось предположение о нахождении железа и никеля в состоянии идеального раствора. О каком именно идеальном растворе идет речь?

3. Представленные в Главе 3 термодинамические расчеты обосновывают возможность получения нанопорошков W-Ni-Fe в плазмохимическом реакторе, однако вопрос о параметрах получения наночастиц со структурой «ядро – оболочка» в Главе 3 не описан. Из Главы 3 не ясно, как именно, с теоретической точки зрения, следует осуществлять выбор режимов синтеза для получения частиц со структурой «ядро – оболочка». Было бы желательно, в дальнейшем, дополнить описанный на стр. 143-144 диссертации эмпирический подход к получению частиц со структурой «ядро - оболочка» соответствующими теоретическими расчетами.

4. В п.4.2.1 автор указывает, что нанопорошки вольфрама содержат не менее 1.2% кислорода, но согласно результатам рентгенофазового анализа (рис.40) оксидов вольфрама в составе нанопорошков не наблюдается. В дальнейшем, при электронно-микроскопических исследованиях нанопорошков W, автор интерпретирует обнаруженный светлый слой на поверхности наночастиц как аморфный оксид металла. Следует отметить, что на дифрактограммах аморфных материалов отсутствуют рентгеновские пики, поэтому сделанный на стр. 108 автором вывод об отсутствии оксидной фазы в порошках W нуждается в уточнении.

5. Из рис. 39в и рис. 67, на котором представлены результаты исследований нанопорошков W методом просвечивающей электронной микроскопии, видно, некоторые порошки имеют форму правильного шестиугольника с практически одинаковыми сторонами, а некоторые частицы вольфрама имеют форму, близкую к сферической. На стр. 142-143 диссертации сказано, что наличие двух типов частиц обусловлено различиями в механизмах их образования. Поскольку различия в механизмах кристаллизации частиц вольфрама должны приводить к различиям в характере их взаимодействия с железом и никелем (см. последний абзац на стр. 143), то, по-видимому, должна различаться и структура таких частиц.

6. На представленных в работе графиках и в таблицах отсутствуют погрешности измерений, что не позволяет оценить достоверность некоторых представленных данных.

Высказанные замечания не имеют критического характера и не влияют на высокую оценку диссертационной работы А.А. Фадеева, в которой решена важная научно-практическая задача создания физико-химических основе новых плазменных технологических процессов

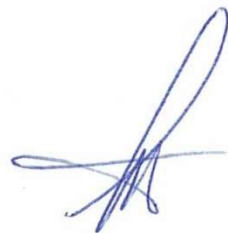
синтеза нанопорошковых композиций системы W-Ni-Fe, востребованных в общем и специальном машиностроении.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа А.А. Фадеева «Формирование порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Тема и содержание диссертации А.А. Фадеева полностью соответствуют паспорту специальности 1.3.9 – Физика плазмы и требованиям п.п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842.

Диссертационная работа А.А. Фадеева «Формирование порошков псевдосплавов на основе вольфрама в термической плазме электродугового разряда» по своему научному уровню, объему проведенных исследований, научной новизне и практической значимости полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации – Фадеев Андрей Андреевич – заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.07 «Физика конденсированного
состояния»), заведующий лабораторией
Диагностики материалов Научно-исследовательского
физико-технического института Национального
исследовательского Нижегородского
государственного университета им. Н.И. Лобачевского



Нохрин А.В.

«Подпись Нохрина А.В. завершено»
Ученый секретарь ННГУ



Черноморская Л.Ю.

Выражаю своё согласие на обработку персональных данных.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.
Лобачевского», 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
тел. (831) 462-3185, nokhrin@nifti.unn.ru