

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Логачёвой Аллы Игоревны на тему «Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Актуальность темы

Развитие ракетно-космической техники и планируемые в ближайшем будущем амбициозные проекты в области пилотируемой космонавтики показывают, что без создания новых материалов, отвечающих более жестким требованиям по уровню физико-механических свойств материалов, рабочим температурам, скоростям потока и соответствующей стойкости к эрозии и коррозии, достижение прорыва представляется крайне затруднительным. Методы порошковой металлургии уже зарекомендовали себя как наиболее перспективные, позволяющие получать материалы с уникальными свойствами. Однако и они во многом исчерпали себя. Решение видится в том, что получаемый порошок надо рассматривать как микрослиток, структура и свойства которого определяют структуру и свойства конечного изделия. В связи с этим автором в работе предлагается реализовать комплексный конструкторско-материаловедческий подход по разработке научных основ модернизации структуры и свойств сплавов для обеспечения их химической и структурной однородности, а также по созданию принципиально новой технологии, позволяющей получать сплавы нового поколения для отдельных тонкостенных деталей и весьма сложной конфигурации узлов ракетно-космической техники. В качестве основных материалов, с учетом требований

ракетно-космической техники, выбраны никель, титан, а также интерметаллидные сплавы системы титан-никель и Ni_3Al .

Таким образом, работа посвящена решению актуального вопроса разработки новых подходов и технологий производства изделий методом порошковой металлургии.

Новизна результатов работы

В диссертации впервые проведены систематические теоретические и экспериментальные исследования, направленные на усовершенствование методов получения металлических гранул титановых, никелевых и интерметаллидных сплавов фракционного состава менее 100 мкм. К наиболее важным и оригинальным результатам, полученным в диссертации, на мой взгляд, следует отнести следующие:

1. Научно обоснованный подход по изготовлению тонкостенных элементов из сферических гранул титановых и никелевых сплавов, заключающийся в том, что с применением теории оболочек представляется возможным рассчитать изотропное сложнопрофильное изделие без сварных соединений с высоким уровнем механических свойств.

2. Разработаны принципы универсального легирования гранул жаростойких сплавов (ЖС) элементами, которые повышают когезионную прочность границ зерен (ГЗ) в компактном материале, а также энергию когезии матрицы независимо от природы металла основы, основанные на расчете работы расщепления границы с помощью теории функционала электронной плотности. При этом влияние легирующих элементов оценивается по значению парциальной молярной энергии когезии матрицы сплава. Рассчитанные значения энергии когезии модельных сплавов использованы для определения химического состава порошковых ЖС нового поколения на основе титана (СТ6У) и никеля (НГК-6).

3. Разработаны технологии изготовления интерметаллидных сплавов на основе соединения Ni_3Al , работоспособного при температуре 1250°C, в том

числе с наноразмерными элементами субструктуры, основанные на введении углерода и хрома.

Научная и практическая значимость

В работе впервые получены важные и оригинальные результаты, касающиеся научных и прикладных аспектов создания полного цикла получения микрослитков-гранул, их прессования в детали различной степени сложности, а также контроля на всех стадиях. Создан ряд новых типов оборудования для производства сферических гранул, контроля их химического состава, и структуры. Важным практическим результатом является и то, что впервые в России создана установка центробежного распыления УЦРТ-9, на которой представляется возможным получать металлические гранулы титановых, никелевых и интерметаллидных сплавов фракционного состава менее 100 мкм в среде инертных газов с содержанием кислорода на уровне исходной заготовки.

Практическая ценность работы подтверждается и разработанной конструкторской и технологической документацией по выпуску востребованных деталей ракетно-космической и атомной техники. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, могут быть использованы и для обеспечения нового активно развивающегося направления – аддитивное производство.

Достоверность и обоснованность результатов

Все научные положения диссертации и сделанные по работе выводы логично опираются на достоверные экспериментальные результаты, полученные с применением апробированных методик и современного диагностического оборудования, реализующего методы металлографии с автоматизированным анализом изображений, рентгеновского фазового анализа и микроанализа, сканирующей электронной микроскопии. Применено оборудование для проведения кратковременных и длительных

испытаний механических и функциональных свойств образцов и имитаторов готовых изделий.

Новое технологическое оборудование по получению микрогранул конструкционных и функциональных сплавов методом распыления вращающегося слитка-электрода с плазменным нагревом (PREP) изготовлено при личном участии соискателя и размещено на площадях ОАО «Композит». Оборудование для компактирования микрогранул методом горячего изостатического прессования логично дополнено системами контроля герметичности полученных деталей и заготовок.

Оформление диссертации

Диссертация соискателя характеризуется внутренним единством и направленностью, объединена научной идеей. Все результаты, полученные в диссертации, относятся к кругу ранее нерешенных вопросов в исследовании проблемы создания сферических порошковых материалов дисперсностью менее 100 мкм и уникальных изделий ракетно-космической техники на их основе. Положения и результаты диссертации обладают научной новизной и практической значимостью. Содержание диссертации и автореферата соответствуют друг другу. Основные положения диссертационной работы, результаты и выводы достаточно полно отражены в **51** публикации (в журналах, рекомендованных ВАК, - **19**; в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, - **7**), **14** патентах на изобретения и полезные модели, которые имеют высокий научно-методический уровень и полностью отражают основное содержание диссертации.

Оформление диссертации удовлетворительное и оставляет вполне хорошее впечатление. Однако в тексте присутствуют досадные орфографические и грамматические ошибки.

Излишне подробно в главе 2 изложен состав оборудования и некоторые расчеты. Например, на странице 65 при расчете системы охлаждения плазматрона мощностью 150 кВт получилось, что необходимо обеспечить

теплообмен не менее 150 кВт. Это, с одной стороны, подтверждает правильность расчетов, но в целом понятно, что при заданной мощности плазматрона теплосъем должен быть не меньше заданной. В том же разделе 2.4 излишне подробно расписаны алгоритмы работы вакуумного оборудования. Также подробно описан состав оборудования стенда контроля заготовок деталей из мелких гранул и процедуры компьютерного моделирования системы обработки и анализа изображений гранул.

Высказанные замечания по оформлению носят рекомендательный характер и, по-видимому, связаны с тем, что работа по большей части выполнялась непосредственно на производственных площадках ОАО «КОМПОЗИТ», где собственно и осуществлено ее внедрение, и работает соискатель.

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1. Позволю себе не согласиться с пунктом 3 новизны. Уже давно известно, что при уменьшении размеров частиц порошка увеличивается скорость охлаждения. Следовательно, дендритная структура в мелких порошках будет мельче.
2. Непонятно, с чем связано уменьшение размера неметаллических включений при уменьшении размеров гранул.
3. На рисунках 2.6. – 2.8. диссертации представлены зависимости распределения гранул по размерам для сплавов ЭП741, АЖК и ВТ6. Непонятно, с чем связано образование бимодального распределения, и для титановых сплавов мелкой фракции меньше, чем крупной.
4. В таблицах 2.1. – 2.3. диссертации приведены результаты измерения микротвердости гранул сплавов ЭП741 (менее 100 мкм), АЖК (менее 100 мкм) и ВТ6 (менее 250 мкм), демонстрирующие минимальный разброс. На основании этого делается вывод о равномерности распределения легирующих элементов. С учетом того, что гранулы различных размеров охлаждаются с различной скоростью и, соответственно, обладают различной

структурой, то остается вопрос, что являлось критерием выбора поперечного среза гранулы для измерения микротвердости.

5. На странице 299 диссертации дается заключение, что на границах зерен выявляются строчные выделения избыточного графита. Следует пояснить их возникновение, если ранее на стр. 282 отмечается, что графит был добавлен в гранулированный сплав исходя из расчета 0,5 атома С на 1 атом Al, и углерод должен войти в каждую вторую ячейку с образованием двойного карбида $Ni_3AlC_{0,5}$.

6. Складывается такое впечатление, что на странице 128 диссертации пропущен рисунок с данными по длительной прочности. Достаточно подробно описывается поведение сплавов СТ6У, ВТ18У и ВТ25У на диаграмме Ларсона-Миллера, но самой зависимости нет.

7. Применение винтовой прокатки для измельчения структуры прутка понятно и логично, так как надо создать однородную заготовку для распыления. Однако сравнение рисунков 4.8 и 4.11 не позволяет однозначно судить об измельчении структуры.

8. При испытании лейнеров на газопроницаемость для экономии газа и уменьшения плавучести их заполняли водой на половину внутреннего объема (стр. 348). Каким образом делали заключение о конструкции в целом, если испытывался не весь объем?

Указанные замечания не снижают ценности работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне.

Заключение

Диссертационная работа А.И. Логачёвой представляет собой законченное научное исследование, которое соответствует паспорту специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы». В соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней её вполне можно рассматривать как научно-квалификационную

работу, в которой решена важная народно-хозяйственная проблема разработки и внедрения сферических порошковых материалов на основе титана и никеля, и изделий на их основе для изделий ракетно-космической техники. По общему объему выполненных исследований и полученных результатов, новизне, актуальности и практической значимости, представленная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор А.И. Логачёва заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

доктор технических наук,
начальник НИО «Конструкционные и функциональные наноматериалы и нанотехнологии» ГНЦ РФ ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Павел Алексеевич Кузнецов

191015, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49.

Тел: +7(812) 274-37-96

Факс: +7(812) 710-37-56

E-mail: mail@crism.ru

«Подпись П.А. Кузнецова заверяю»

Ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт» - «ЦНИИ КМ «Прометей»,

к.т.н.



Б.В. Фармаковский