



Акционерное общество «КОМПОЗИТ»

Пионерская ул., д. 4, г. Королёв, Московская область,
Россия, 141070

Телеграф БЕРЕЗА

тел. (495) 513-2028, 513-2329
канцелярия 513-2256, факс (495) 516-0617

E-mail: info@kompozit-mv.ru

ОКПО 56897835, ОГРН 1025002043813, ИНН / КПП 5018078448 / 501801001

12.11.2020 исх. № 1112-К21

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор,

председатель НТС, докт. техн. наук

АО «Композит»

А.Г. Береснев



« 12 » 11 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ягодина Максима Геннадьевича

«Исследование процесса и разработка технологии производства мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов для производства дисков газотурбинных двигателей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы диссертации

Одним из приоритетных направлений развития технологии машиностроения в настоящее время является совершенствование существующих и разработка новых безотходных, материалосберегающих производственных процессов. В решении этой проблемы определенная роль принадлежит технологии металлургии гранул, которая на сегодняшний день находится в стадии инновационного совершенствования.

В связи с созданием двигателей пятого поколения типа ПД14 и его модификаций, ПД35, ПД50, ПД8 наблюдается тенденция к использованию мелкодисперсных порошков-гранул правильной сферической формы крупностью менее 70 мкм, а также новых жаропрочных никелевых сплавов, таких как ВВ750П, ВВ751П, ВВ752П, имеющих более высокие эксплуатационные характеристики при комнатной и рабочей температурах.

Следует отметить, что при проектировании авиадвигателей особое внимание уделяется проблемам ресурса, топливной эффективности, тяговооруженности, которые напрямую связаны с характеристиками сопротивления малоциклового усталости (МЦУ) и прочностными характеристиками материала дисков. При создании двигателя ПД14 требования по сопротивлению МЦУ были повышены более чем в три раза, по прочности – на 11-13%. Это позволит существенно увеличить ресурс изделий (дисков и валов) для горячей части турбины в процессе эксплуатации. Аналогичные требования по конструкционной прочности заявлены при создании материала дисков перспективного двигателя ПД35, к изготовлению которых приступили ОАО «ВИЛС» и АО «СМК».

Учитывая, что сопротивление МЦУ и прочность материала напрямую зависят от микроструктуры материала дисков авиадвигателей, а, следовательно, и от крупности порошков-гранул, разработка технологических параметров их производства из современного жаропрочного никелевого сплава ВВ751П является весьма актуальной задачей. Решение поставленной задачи направлено на уменьшение крупности получаемых порошков-гранул и максимальное извлечение инородных включений из общего объема гранул. Таким образом, разрабатываемые технологические режимы должны обеспечить высокопроизводительное и высококачественное изготовление порошков гранул с максимальным выходом годного.

Аналитические расчеты параметров плазменного центробежного распыления и классификации порошков-гранул заданной крупности являются необходимыми и эффективными для решения поставленной задачи.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертационная работа Ягодина Максима Геннадьевича состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 112 источников и одного приложения. Общий объем работы составляет 168 страниц.

Во введении приведена общая характеристика проблемы, описана ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, обоснована научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен научно-технический обзор существующих методов производства металлических порошков, в том числе методы изготовления порошков-гранул сферической формы. Рассмотрены основные характеристики сферических порошков-гранул и проанализированы методы их физико-механической обработки.

Во второй главе обоснован выбор исходного материала для изготовления мелкодисперсных гранул, рассмотрена базовая технологическая схема производства порошков-гранул (оборудование и основные технологические параметры), приведены основные методики контроля свойств порошковых и компактных материалов.

В третьей главе представлены результаты исследований основных параметров процессов плазменного центробежного распыления и классификации порошков-гранул по крупности, выявлены параметры, при которых достигается максимальный выход годного, приведены результаты экспериментальных исследований порошков-гранул из нового жаропрочного никелевого сплава ВВ751П, компактного материала из них и проведена статистическая обработка полученных результатов.

В четвертой главе проведены теоретические исследования процессов изготовления и физико-механической обработки порошков-гранул, представлены результаты анализа содержания кислорода в порошках-гранулах малой крупности, результаты исследования структуры компактного материала и рассмотрены основные предпосылки для создания модели производства мелкодисперсных порошков-гранул.

В пятой главе на основе результатов, приведенных в третьей главе, и теоретических исследований, приведенных в четвертой главе, спроектирована модель производства порошков-гранул крупностью менее 70 мкм. Проведена апробация данной модели в ОАО «ВИЛС».

Завершается работа выводами по диссертации и перечнем использованной литературы, в который включены основные публикации автора по теме диссертации. В приложении приведен акт изготовления 10 типоразмеров заготовок турбинных и компрессорных дисков перспективного авиационного двигателя ПД-14 общим количеством более 200 шт.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В работе получен ряд новых научных результатов, наиболее важными из которых являются:

1. Установлено, что при плазменном центробежном распылении, наряду с зависимостью крупности порошков-гранул от частоты вращения литой заготовки, их крупность зависит также от скорости плазменной струи (расхода газа). Предложена формула, учитывающая скорость плазменной струи при расчете диаметра частиц порошков-гранул.

2. Выведена формула для расчета расширения ячейки сетки в зависимости от размера порошков-гранул, модуля упругости, размера ячейки сетки и среды классификации по крупности на ситах с горизонтальным расположением полотна.

3. Установлено, что содержание кислорода в порошках-гранулах крупностью менее 70 мкм, изготовленных методом PREP и последующей физико-механической обработкой возрастает на 7-10 ppm по отношению к его количеству в исходных литых заготовках.

4. Установлено, что крупность порошков-гранул, изготовленных методом плазменной плавки и центробежного распыления, зависит также и от расстояния между торцем оплаиваемой заготовки и плазмотроном. Увеличение этого расстояния приводит к увеличению размера частиц порошков-гранул.

Теоретическая значимость диссертационной работы

Полученные в ходе выполнения работы результаты имеют фундаментальный характер и вносят вклад в развитие современных порошковых технологий. Определены основные зависимости движения гранулы при проведении процесса классификации по крупности, с помощью которых обеспечивают наибольший выход годного при производстве порошков-гранул крупностью менее 70 мкм.

Практическая значимость диссертационной работы

1. Разработаны технологические режимы процесса плазменной плавки и центробежного распыления, а также процесса классификации по крупности, которые позволили увеличить выход годного с 62,5 до 68,5 % при производстве порошков-гранул крупностью менее 70 мкм из нового жаропрочного никелевого сплава ВВ751П.

2. Порошки-гранулы из жаропрочного никелевого сплава ВВ751П, впервые изготовленные по вышеуказанной технологии, были использованы для изготовления 10 типоразмеров турбинных и компрессорных дисков для перспективного авиационного двигателя ПД14 самолета МС21, что подтверждено соответствующим Актом от 20 августа 2020 г.

3. Разработан способ, включающий классификацию и электростатическую сепарацию для удаления различных инородных включений на всех этапах технологии изготовления порошков-гранул, что позволило снизить в них содержание кислорода на 20%.

4. Разработана и уточнена следующая технологическая документация:

- Карта опыта КО-2 «Производство заготовок дисков из гранул жаропрочного никелевого сплава марки ВВ751П», Карта опыта КО-15 «Производство заготовок дисков шифров ДП678, ДП774, ДП776 из гранул крупностью менее 70 мкм жаропрочного никелевого сплава ВВ751П, изготовленных на установке УЦР-6/УЦР-2»;

- технологические инструкции ТИ36-20 «Производство гранул жаропрочных никелевых сплавов методом плазменной плавки и центробежного распыления вращающейся литой заготовки на установках УЦР», ТИ36-02 «Классификация по крупности гранул жаропрочных никелевых сплавов на установке КРП-3», ТИ36-22 «Электростатическая сепарация гранул жаропрочных никелевых сплавов на установке СЭ32/50 (ЭСС-1)», ТИ36-06 «Вакуумная термическая дегазация гранул жаропрочных

никелевых сплавов в движущемся потоке с одновременным заполнением, уплотнением и герметизацией капсул на установках УЗГК»;

- технико-экономическая карта №042-0054гр на производство порошков-гранул крупностью менее 70 мкм из сплава ВВ751П.

Достоверность научных выводов

В диссертации Ягодина Максима Геннадьевича достоверность научные выводы и обоснованность рекомендаций обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач, использованием современного оборудования, апробированных и стандартизированных методик и методов исследования и испытаний.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует п.1 Паспорта специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат диссертационной работы полностью соответствует и отражает основное содержание диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе проводятся сравнительные исследования между сплавами ЭП741НП и ВВ751П. При этом отсутствует информация о фракционном составе исходных порошков из сплава ЭП741НП. Кроме того, в работе отсутствует объяснение выбора режима ТО для сплавов ЭП741НП и ВВ751П. Так, используемый для сплава ЭП741НП режим ТО не является стандартным, в связи с чем возникает вопрос о целесообразности использования данного режима.

2. В работе отсутствуют результаты исследования структуры и фазового состава сплавов ЭП741НП и ВВ751П, не проанализирована их взаимосвязь с механическими характеристиками. Таким образом, из приведенных данных не ясно за счет чего сплав ВВ751П обладает более высокими свойствами, чем сплав ЭП741НП.

3. В работе отсутствуют данные по физическим свойствам (плотность, термическое расширение, теплопроводность и т.д.) для сплава ВВ751П. Физические свойства являются важными факторами, которые необходимо учитывать при создании и эксплуатации техники, предназначенной для работы в области высоких температур.

4. В диссертационной работе утверждается, что для получения дисков с улучшенными характеристиками необходимо использовать порошки фракцией < 70 мкм. При этом ни в литературном обзоре, ни в экспериментальной части не рассмотрено влияние фракционного состава на микроструктуру и свойства исследуемых сплавов.

5. В выводах к работе приводится следующее утверждение: «Выявлено, что с уменьшением количества и размера неметаллических включений увеличивается малоцикловая усталость компактного материала». При этом не приведены никакие экспериментальные данные для подтверждения данного факта. Из экспериментальной части диссертационной работы следует, что все компактные образцы, полученные из различных порошковых фракций, выдержали более 20010 циклов нагружения. До разрушения испытывались только порошки фракцией < 70 мкм без сравнения с другими фракциями. Таким образом, предоставленных данных недостаточно для заключения вывода об увеличении малоцикловой усталости компактного материала.

6. В параграфе 1.7 рассмотрены различные технологии получения сферических порошков методами диспергирования расплава, однако не проведен их сравнительный анализ, включающий сравнение характеристик получаемых порошков-гранул и других технико-экономических аспектов. Таким образом, не ясно на каком основании в качестве технологии изготовления мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов выбрана технология плазменного центробежного распыления?

7. В главе 1 приведен большой объем информации общего характера по методам получения порошков, общеизвестной терминологии и методам физико-механической обработки порошков (классификация, сепарация и др.), при этом практически отсутствует материаловедческий анализ жаропрочных никелевых сплавов. Так, в работе не проанализированы особенности структурно-фазовых состояний никелевых жаропрочных сплавов и их влияние на физико-механические характеристики. Не рассмотрены сплавы-аналоги, их особенности и недостатки.

8. Экспериментальные разделы диссертационной работы перегружены повторяющимися общеизвестными расчетными формулами, что усложняет восприятие представленной информации. Например, в главе 3 многократно повторяются формулы для определения среднего значения, дисперсии, среднего квадратичного отклонения, которые целесообразно было бы привести один раз в пункте 2.7 главы 2.

9. При анализе научно-технической литературы практически не рассматривалась современная отечественная и иностранная литература. Так, из 112 литературных источников используется только 8 отечественных источников не старше 5 лет. Общее число зарубежных источников составляет 6 штук, из которых нет ни одного не старше 5 лет.

Общая оценка диссертационной работы

В целом диссертационная работа Ягодина Максима Геннадьевича представляет собой законченное исследование, содержащее решение важной практической задачи в области современного двигателестроения по процессу разработки технологии производства мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов для производства газотурбинных двигателей.

Объем и содержание диссертации по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяют требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Основные результаты работы представлены в 8 публикациях, из которых 4 статей в журналах, рекомендованных ВАК.

Диссертационная работа «Исследование процесса и разработка технологии производства мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов для производства дисков газотурбинных двигателей» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» и соответствует паспорту специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, а её автор, Ягодин Максим Геннадьевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании НТС АО «Композит», протокол № 12/11 от 12 ноября 2020 года.

Ученый секретарь НТС,
главный научный сотрудник,
докт. физ.-мат. наук



Разумовский Игорь Михайлович
Телефон: (495) 513-21-24

Начальник отделения «Металлические
материалы и металлургические технологии»
докт. техн. наук



Логачева Алла Игоревна
Телефон: (495) 513-21-26

Сведения о ведущей организации:

Акционерное общество «Композит» (АО «Композит»)

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, 4

E-mail: info@kompozit-mv.ru