

### ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Ягодина Максима Геннадьевича  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ГРАНУЛ ЖАРОПРОЧНЫХ  
НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИСКОВ  
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные  
материалы**

В настоящее время к элементам газотурбинных авиационных двигателей (диски, валы), изготавливаемым из жаропрочных никелевых сплавов с использованием технологий металлургии гранул, предъявляют высокие требования к их эксплуатационным характеристикам (прочность и сопротивление малоцикловой усталости), что позволяет увеличить ресурс и эффективность всего двигателя.

Прочность и сопротивление малоцикловой усталости дисков и валов газотурбинных двигателей, изготавливаемых из мелкодисперсных порошков-гранул, зависят от микроструктуры материала и, следовательно, от крупности порошков-гранул и отсутствия в них инородных включений, которые могут являться источниками появления трещин в готовом изделии при эксплуатации авиадвигателя. При этом важной задачей является уменьшение крупности исходных порошков-гранул и удаление инородных включений.

В связи с этим диссертационная работа Ягодина М.Г., посвященная разработке технологии производства мелкодисперсных гранул жаропрочных никелевых сплавов для производства дисков газотурбинных двигателей с целью повышения их качества, является актуальной в научном и практическом плане.

Научная новизна работы заключается в полученной формуле, учитывающей скорость плазменной струи при расчете диаметра частиц порошков-гранул при плазменном центробежном распылении, а также формуле 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. Также 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. Кроме этого, установлено, что крупность порошков-гранул, изготовленных методом плазменной плавки и центробежного

распыления, зависит также и от расстояния между торцем оплавленной заготовки и плазмотроном, при этом увеличение этого расстояния приводит к увеличению размера частиц порошков-гранул.

Практическая ценность работы заключается в:

- разработанных технологических режимах 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. При этом 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 20.08.2020 г.;

- разработанном способе, 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%;

По результатам проведенных исследований разработана и уточнена следующая технологическая документация, используемая в производственных условиях ОАО «ВИЛС»:

- 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 ТИЗ6-20 «Производство гранул жаропрочных никелевых сплавов методом плазменной плавки и центробежного распыления вращающейся литой заготовки на установках УЦР», ТИЗ6-02 «Классификация по крупности гранул жаропрочных никелевых сплавов на установке КРП-3», ТИЗ6-22 «Электростатическая сепарация гранул жаропрочных никелевых сплавов на установке СЭЗ2/50 (ЭСС-1)», ТИЗ6-06 «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.

По автореферату имеются следующие замечания:

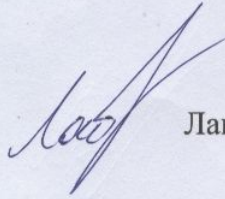
1. Из автореферата не ясно, какие размеры имели и каким образом были получены компактные образцы из порошков-гранул крупностью менее 70 мкм (стр. 14).

2. Из автореферата не ясно, как можно использовать разработанную модель при производстве порошков-гранул крупностью менее 70 мкм из различных материалов (рис.10, стр.21).

Данные замечания не снижают существенно научной и практической значимости диссертации.

Представленная диссертационная работа по актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Ягодин Максим Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Заведующий кафедрой  
«Технологии обработки материалов»  
МГТУ им. Н. Э. Баумана  
доктор технических наук, доцент



Лавриненко Владислав Юрьевич

Подпись Лавриненко В.Ю. удостоверяю



Адрес организации: 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, Москва, 105005

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Электронный адрес: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)

Телефон: (499) 263-6391