

# ОТЗЫВ

официального оппонента Еремеевой Жанны Владимировны  
на диссертацию

Поданова Вадима Олеговича «Разработка и исследование жаропрочных сплавов на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

## 1. Актуальность темы диссертационного исследования

Работы в области исследования жаропрочных сплавов и покрытий на их основе ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как: Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва, Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов, Московский авиационный институт, Московский политехнический университет, Московский государственный технический университет гражданской авиации, НИТУ «МИСиС», институт материаловедения Хабаровского научного центра ДОРАН, Томский политех, АО «Научно-производственный центр газотурбостроения «Салют», ЮЗГУ и др. Значительный вклад в исследование жаропрочных сплавов внесли такие ученые как: Шатульский А.А., Каблов Е.Н., Кишкин С. Т., Овчинников В.В., Фарнасов Г.А., Изотов В.А., Самойленко В.М., Монастырский В.П., Фадеев А.В., Гурьянов Д.А., Масс А.В., Седых Д.А., Новикова О.В., Добрынин Д.А., Алексеева М.С., Даниленко В.Н., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Arash Khakzadshahandashti, Mohammad Reza Rahimiour (Индия) и др.

Однако, в трудах этих ученых не рассматриваются вопросы, касающиеся реновации жаропрочного никелевого сплава ЖС6У путем электродиспергирования и последующего искрового плазменного сплавления полученных мелкодисперсных частиц. Целесообразность решения этих вопросов определила выбор темы, формулировку цели, постановку задач и основные направления исследования.

Диссертационное исследование несомненно актуально, поскольку целью работы являлась разработка и исследование новых жаропрочных сплавов, пригодных к промышленному применению, на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У, полученных в воде дистиллированной и в керосине осветительном.

## 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Обоснованность научных положений подтверждается теоретической и практической значимостью работы, которая состоит в исследовании, разработке и апробации новых жаропрочных сплавов на основе

диспергированных частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, пригодных к промышленному применению, включая:

– разработку и патентование шихты для производства жаропрочных сплавов, содержащую частицы никеля и молибдена, отличающуюся тем, что она содержит упомянутые частицы, полученные электроэрозией отходов сплава ЖС6У в дистиллированной воде (патент РФ №2779730);

– разработку шихты для производства жаропрочных сплавов, содержащую частицы никеля и молибдена, отличающуюся тем, что она содержит упомянутые частицы, полученные электроэрозией отходов сплава ЖС6У в керосине осветительном (патент РФ № 2784145);

– разработку и патентование способа получения жаропрочного сплава, отличающегося тем, что он получен искровым плазменным сплавлением шихты из диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У в воде дистиллированной (решение о выдаче патента на изобретение РФ от 16.10.2023 по заявке №2022129595);

– разработку способа получения жаропрочного сплава, отличающегося тем, что он получен искровым плазменным сплавлением шихты из диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У в керосине осветительном (заявка на изобретение РФ №2023103776).

**Общие выводы по диссертации** доказывают положения, выносимые на защиту.

В первом выводе работы отмечен разработанный способ получения жаропрочного сплава, отличающийся тем, что он получается искровым плазменным спеканием диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У при температуре 1400 °С, давлении 40 МПа и времени выдержки 10 мин. в воде дистиллированной (решение о выдаче патента на изобретение РФ от 16.10.2023 по заявке 2022129595) и при температуре 1380 °С, давлении 40 МПа и времени выдержки 5 мин. в керосине осветительном (заявка на изобретение РФ 2023103776).

Во втором выводе работы отмечена шихта для производства жаропрочных сплавов, содержащая частицы титана, никеля и молибдена, отличающаяся тем, что она содержит упомянутые частицы, полученные электроэрозией отходов сплава ЖС6У в дистиллированной воде (патент на изобретение РФ 2779730) и в керосине осветительном (патент на изобретение РФ 2784145).

В третьем выводе работы представлены установленные сравнительные характеристики физико-механических свойств между сплавами из диспергированных электроэрозией частиц в воде дистиллированной, изготовленным искровым плазменным спеканием при температуре 1400 °С, давлении 40 МПа и времени выдержки 10 мин., и сплавом ЖС6У, изготовленным промышленным способом, показавшие:

- в 7,7 раза меньший размер зерна;
- в 1,9 раза меньшую пористость;
- в 1,3 раза большую микротвердость;
- в 1,04 раза большую температуру плавления;

– в 1,1 раза больший предел длительной прочности.

В четвертом выводе работы представлены установленные сравнительные характеристики физико-механических свойств между сплавами из диспергированных электроэрозией частиц в керосине осветительном, изготовленным искровым плазменным спеканием при температуре 1380 °С, давлении 40 МПа и времени выдержки 5 мин., и сплавом ЖС6У, изготовленным промышленным способом, показавшие:

- в 8,1 раза меньший размер зерна;
- в 2,2 раза меньшую пористость;
- в 1,32 раза большую микротвердость;
- в 1,05 раза большую температуру плавления;
- в 1,23 раза больший предел длительной прочности.

В пятом выводе работы отмечено, что технологии и жаропрочные сплавы апробированы и внедрены в ООО «РУ46» г. Курск. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составит более 0,5 млн. руб. в год. Материалы исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» при изучении дисциплины «Теория и технологии новых материалов» (3 курс направления подготовки аспирантов 22.06.01 «Технологии материалов» направленность «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»).

В шестом выводе работы отмечены перспективы дальнейшего использования полученных результатов является широкое применение в промышленности новых сплавов, полученных искровым плазменным спеканием электроэрозионных частиц сплава ЖС6У.

### **3. Научная новизна и достоверность**

Достоверность научной новизны работы подтверждается установленными автором впервые новыми зависимостями и закономерностями в области исследований, в том числе:

1. Применительно к процессу измельчения отходов жаропрочного никелевого сплава ЖС6У электроэрозией установлено влияние свойств рабочих жидкостей на состав, структуру и свойства диспергированных частиц, позволяющее управлять их дисперсностью, элементным и фазовым составами. В частности, анализ гранулометрического состава показал, что диспергированные электроэрозией частицы сплава ЖС6У имеют средний размер 51,67 мкм и 59,72 мкм в воде дистиллированной и керосине осветительном, соответственно, что связано с большими потерями энергии электрического разряда на пробой рабочей жидкости ввиду разности диэлектрической проницаемости воды и керосина, а также различием в охлаждающей способности жидкостей. Рентгеноспектральный микроанализ показал, что на поверхности частиц, полученных в воде дистиллированной, присутствует часть кислорода, а в керосине осветительном – углерода. Отмечено, что диспергирование электроэрозией сплава ЖС6У в дистиллированной воде приводит к образованию в частицах оксидных фаз  $WO_3$  и  $NiO$ , а диспергирование в осветительном керосине способствует

образованию карбидных фаз WC, TiC, Mo<sub>3</sub>C и Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, а также интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al, что связано с различием химического состава рабочих жидкостей.

2. Установлено влияние электрических параметров (напряжения, ёмкости и частоты следования импульсов) электродиспергирования жаропрочного никелевого сплава ЖС6У на технологические свойства диспергированных электроэрозией частиц, позволяющее управлять их средним размером. Отмечено, что увеличение ёмкости разрядных конденсаторов и в бóльшей степени напряжения на электродах при электроэрозионном диспергировании жаропрочного никелевого сплава ЖС6У способствует увеличению среднего размера диспергированных частиц.

3. Установлена зависимость свойств заготовок новых жаропрочных сплавов от состава, структуры и свойств диспергированных электроэрозией частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, позволяющая оказывать влияние на его физико-механические свойства. Отмечено, что физико-механические и эксплуатационные свойства новых жаропрочных сплавов из диспергированных электроэрозией частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, такие как температура плавления, пористость, размер зерна, жаропрочность и микротвердость, зависят от формы и дисперсности диспергированных электроэрозией частиц и их фазового состава.

4. Установлены зависимости свойств новых жаропрочных сплавов от технологических параметров искрового плазменного сплавления (температуры, давления, времени выдержки) диспергированных электроэрозией частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, позволяющие управлять качеством изделий. Отмечено, что новые жаропрочные сплавы из диспергированных электроэрозией частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, полученные с помощью импульсного электротока и так называемого «эффекта плазмы искрового разряда» в условиях очень быстрого нагрева и малой продолжительности рабочего цикла обладают лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с промышленными сплавами ЖС6У. Это достигается за счет получения практически беспористой структуры жаропрочного сплава с субмикронным зерном и соответствующим фазовым составом.

Научная новизна работы соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов: п.3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов», п.8 «Исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях, выбор и рекомендация наиболее экономичных и надежных металлических материалов для конкретных технических назначений с целью сокращения металлоемкости, увеличения ресурса работы, повышения уровня заданных физических и химических характеристик деталей машин, механизмов, приборов и конструкций» и п.9 «Разработка новых принципов создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях»

#### 4. Оценка содержания работы

Автореферат диссертации представлен на 24 страницах и включает в себя общую характеристику работы, содержание работы, основные результаты работы и список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 174 страницы, в том числе 23 таблицы, 51 рисунок, 4 страницы приложений. Список литературы включает в себя 149 источников.

В первой главе представлен анализ областей применения жаропрочных сплавов, анализ технологии производства и анализ состояния проблемы переработки отходов жаропрочных сплавов, в том числе сплава ЖС6У.

Во второй главе представлены металлургические особенности электроэрозии металлоотходов, обоснована возможность применения метода электроэрозии для измельчения отходов жаропрочного сплава марки ЖС6У, описаны теоретические и технологические особенности процесса, показаны его преимущества, рассмотрены свойства рабочих жидкостей, основные технологические параметры и исходные материалы.

В третьей главе описаны используемые материалы, оборудование и методики исследований.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований диспергированных электроэрозией частиц и жаропрочных сплавов на их основе.

Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 37 работах, в том числе: 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 5 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и WoS; 2 монографии; 2 патента на изобретения РФ; 1 решение о выдаче патента на изобретение РФ; 1 заявка на изобретение РФ; 20 статей в сборниках РИНЦ.

#### Замечания по работе:

1. В работе не показано, на каком количестве электроэрозионной шихты проведены исследования.


2. Из текста диссертации не ясна роль оксидных пленок на частицах электроэрозионной шихты, полученных из отходов жаропрочного сплава марки ЖС6У в дистиллированной воде.

3. Отсутствуют исследования технологических свойств электроэрозионных частиц, полученных из металлоотходов сплава ЖС6У, таких как, текучесть и насыпная плотность.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненной работы.

## 5. Заключение

Диссертационная работа «Разработка и исследование жаропрочных сплавов на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У» является самостоятельной, логически завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а также п. 9...11, 13, 14 «Положение о порядке присуждения учёных степеней» Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в ред. от 26.10.2023 г.), а ее автор, Поданов Вадим Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент  Еремеева Жанна Владимировна

Ученая степень Доктор технических наук

Ученое звание Профессор

Шифр специальности, по которой защищена диссертация 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Основное место работы (полное наименование организации) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Наименование структурного подразделения Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий

Должность Профессор

Почтовый адрес 119049, г. Москва, Крымский Вал, д. 3

Адрес электронной почты eremeeva-shanna@yandex.ru

Телефон 8(916)271-14-56

23.11.2023.

ПОДПИСЬ

Проректор по

и общим вопросам

НИТУ МИСиС



Исаев