

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рыбинский государственный авиационный  
технический университет имени П.А. Соловьева»  
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

ул. Пушкина, д.53. г. Рыбинск,  
Ярославская область, 152934  
Телефон: (4855) 280-470, Факс: (4855) 213-964  
E-mail: root@rsatu.ru

21.11.2023 № 0802/3555

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по науке и  
цифровой трансформации  
ФГБОУ ВО РГАТУ  
имени П.А. Соловьева  
К.Т.Н., доцент

Сутягин  
Александр  
Николаевич



## ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный  
авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»  
на диссертационную работу

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 и значимость темы диссертационного исследования.** В настоящее время никелевые жаропрочные сплавы, и в частности сплав ЖС6У, получили широкое применение в авиа- и космической отрасли для изготовления высоконагруженных ответственных деталей газотурбинных двигателей, таких как рабочие и сопловые лопатки, крыльчатки, роторы, диски и т.п. Основными проблемами при использовании и переработке сплавов этой группы являются наличие в них дорогостоящих и дефицитных металлов, таких как: Co, Ni, Nb, Mo, W, Zr, Ce, Y, и существующие ограничения на использование возврата при изготовлении литых заготовок. Поэтому исследования, направленные на разработку технологий использования металлоотходов традиционно представляют существенный интерес. В данном направлении в последние годы было проведено достаточно большое количество исследований ведущими российскими учеными, однако вопросы, касающиеся реновации жаропрочного никелевого сплава ЖС6У путем электродиспергирования и последующего искрового плазменного сплавления

полученных мелкодисперсных частиц изучены недостаточно, в частности отсутствуют данные о результатах комплексных металлографических исследований, а также данные по определению свойств создаваемых сплавов. Поэтому представленная диссертация, посвященная разработке и исследованию новых жаропрочных сплавов, пригодных к промышленному применению, на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У, полученных в воде дистиллированной и в керосине осветительном, несомненно, актуальна. Актуальность и значимость темы диссертационной работы подтверждается также и ее выполнением в рамках гранта Президента РФ (НШ-596.2022.4).

**Общая характеристика работы.** Представленная 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.

Можно констатировать, что автором решена научно-практическая задача, направленная на разработку и исследование новых жаропрочных сплавов, полученных искровым плазменным спеканием электроэрозионных частиц сплава ЖС6У, имеющая важное значение, для развития страны. В частности в рамках выполнения работы были предложены новый способ диспергирования отходов литейных цехов, изготавливающих отливки из сплава ЖС6У, способ получения новых жаропрочных сплавов, определены оптимальные режимы обработки, гарантирующие получение сплавов, отвечающих требованиям ТУ, предложен состав шихты для производства жаропрочных сплавов, содержащей частицы

титана, никеля и молибдена, установлены сравнительные характеристики физико-механических свойств сплавов полученных разными способами. Перспективами дальнейшего использования полученных результатов является широкое применение в промышленности новых сплавов, полученных искровым плазменным спеканием электроэрозионных частиц сплава ЖС6У, что важно для металлургической отрасли и авиадвигателестроения.

**Научная новизна** диссертационной работы Поданова В.О. заключается:

- в установлении закономерностей влияния свойств рабочих жидкостей на состав, структуру и свойства диспергированных частиц, что позволяет при реализации данной технологии управлять их дисперсностью, элементным и фазовым составами получаемых сплавов,

- в установлении влияния электрических параметров (напряжения, ёмкости и частоты следования импульсов) электродиспергирования жаропрочного никелевого сплава ЖС6У на технологические свойства диспергированных электроэрозией частиц, позволяющее управлять их средним размером;

- в доказательстве того факта, что увеличение ёмкости разрядных конденсаторов и в большей степени напряжения на электродах при электроэрозионном диспергировании жаропрочного никелевого сплава ЖС6У способствует увеличению среднего размера диспергированных частиц.

- в доказательстве зависимости свойств заготовок новых жаропрочных сплавов от состава, структуры и свойств диспергированных электроэрозией частиц жаропрочного никелевого сплава ЖС6У, позволяющее оказывать влияние на его физико-механические свойства. Это позволило установить 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.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием поверенного и сертифицированного оборудования и методик исследования, проведением исследований и испытаний в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ, ОСТ); хорошим совпадением экспериментальных и теоретических результатов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях, опубликованы в 37 печатных работах, в том числе в 6 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и в 5 статьях, опубликованных в изданиях, входящих в международные цитатные базы, в 2 монографиях; получено 2 патента на изобретения РФ; 1 решение о выдаче патента на изобретение РФ; 1 заявка на изобретение РФ;

**Практическая значимость работы** Основным преимуществом данной работы является тот факт, что разработанные автором теоретические положения доведены до практического использования, в частности им разработаны:

- составы шихты для производства жаропрочных сплавов, содержащей частицы никеля и молибдена, полученные электроэрозией отходов сплавов в дисциллированной воде и керосине;

- способ получения жаропрочного сплава, отличающегося тем, что он получен искровым плазменным сплавлением шихты из диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У в воде дистиллированной

- способ получения жаропрочного сплава, отличающегося тем, что он получен искровым плазменным сплавлением шихты из диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У в керосине осветительном.

Несомненным достоинством работы является тот факт, что основные практические результаты доведены до получения патентов и промышленного опробования.

Можно отметить, что результаты диссертационной работы могут быть использованы в металлургической, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности.

Личный вклад автора не вызывает сомнения и состоит в выполнении патентно-аналитических исследований, в научной постановке цели и задач исследования, анализе литературных данных и результатов исследований, проведении основной доли экспериментов, статистической обработке экспериментальных результатов, опробовании разработанных предложений в производственных условиях.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Оформление диссертационной работы отвечает установленным требованиям. Диссертация написана грамотным, доступным техническим языком, что подтверждает высокую эрудицию и квалификацию автора.

**Вместе с тем по диссертации можно сделать следующие замечания:**

- автором представлен анализ областей применения жаропрочных сплавов, анализ технологии производства и анализ состояния проблемы переработки отходов жаропрочных сплавов, в том числе сплава ЖС6У, но не указаны пути сбора металлоотходов, отсутствуют сведения о том, какие методы контроля используются для оценки свойств отходов, и прежде всего по химическому составу;

- автором достаточно подробно описаны 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, но не отмечена производительность измельчения металлоотходов электродиспергированием.

- в диссертации описаны используемые материалы, оборудование и методики исследований, но не всегда обоснован их выбор.

- автором представлены результаты экспериментальных исследований диспергированных электроэрозией частиц и жаропрочных сплавов на их основе, но не показано количество исследуемых заготовок.

- так как температуры фазовых переходов сплавов, особенно авиационных (в которых строго контролируется количество примесей), определяются прежде всего их химическим составом, не совсем понятно почему полученные автором температуры плавления новых сплавов изменяются в диапазоне 10 градусов и отличаются от паспортных данных (например сплав ЖС6У-ВИ) более чем на 50 градусов.

Однако, отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости выполненных исследований, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленной цели.

## **5. Заключение**


Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация Вадима Олеговича Поданова «Разработка и исследование жаропрочных сплавов на основе диспергированных электроэрозией частиц сплава ЖС6У» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне с использованием, как теоретического анализа, так и экспериментальных исследований. Она вносит заметный научный и практический вклад в развитие теории, технологии получения и методов исследования новых никелевых

жаропрочных сплавов и направлена на решение важнейшей практической задачи снижения себестоимости и повышения качества современных никелевых жаропрочных сплавов.

Диссертация отвечает требованиям п.9, п.10, п.11, п.12, п.13, п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842), а ее автор Поданов Вадим Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Поданова Вадима Олеговича и отзыв рассмотрены, обсуждены и единогласно одобрены на заседании кафедры Материаловедения, литья и сварки, протокол № 4/23, от 20.11.2023 г.

Кафедра Материаловедения, литья и сварки,  
Заведующий кафедрой,  
д.т.н., по специальности 05.16.04  
«Литейное производство»,  
профессор

  
Шатульский  
Александр  
Анатольевич

Почтовый адрес 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53

Адрес электронной почты mls@rsatu.ru

Телефон +7 (4855) 280-470

Подпись Шатульского Александра Анатольевича заверяю

Начальник отдела кадров ФГБОУ  
имени П.А. Соловьева



  
И.А. Сударкина