

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной и инновационной работе  
Московского политехнического университета

Ю.М. Боровин

« 04 »  2018 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу «Разработка ресурсосберегающего способа получения порошковой меди электроэрозионным диспергированием», представленную Хорьковой Натальей Михайловной к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение) в диссертационный совет Д 999.112.02 на базе ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

На основании изучения представленной диссертационной работы и автореферата заключаем следующее:

### Актуальность темы

Одной из основных задач развития современного машиностроения является снижение себестоимости изготовления деталей, узлов и механизмов без изменения их качества, надежности и долговечности. Одним из резервов снижения себестоимости изготовления таких изделий является применения новых материалов, в том числе и порошковых материалов, полученных на основе энерго- и ресурсосберегающих технологий. Перспективным методом получения порошков, в том числе и медных, является электроэрозионное диспергирование отходов машиностроения, в частности лома меди МО, М1 и электротехнических медных проводов, позволяющий регулировать дисперсность частиц порошкового материала, отличающейся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса. В работе проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, позволивших решить задачу получения порошкового материала электроэрозионным диспергированием отходов меди при существенном снижении его себестоимости, а также рассмотрены возможные области его применения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 231 страницу, в

том числе, 62 таблицы, 96 рисунков, 6 страниц приложений. Список литературы включает в себя 146 источников.

### **Оценка содержания диссертации в целом**

**Во введении** обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Обзор источников информации о способах получения и областях практического применения порошковой меди» обоснована возможность применения метода электроэрозионного диспергирования для получения порошка меди, описаны возможные области применения спеченных изделий из такого порошка, технологические операции, применяемые для изготовления спеченных изделий. Рассмотрены основные способы получения порошка меди, а также особенности процесса электроэрозионного диспергирования, проведен анализ существующего оборудования, обоснован выбор рабочей жидкости. Отмечено, что процесс электроэрозионного диспергирования отличается относительно невысокими энергетическими затратами, безвредностью и экологической чистотой, отсутствием механического износа оборудования, возможностью получения порошка меди непосредственно из кусков меди различной формы за одну операцию, получением частиц преимущественно сферической формы размером от нескольких нанометров до сотен микрон. Сформулированы цель и задачи работы.

**Во второй главе** «Материалы и методики исследования» представлены основное оборудование, материалы и методические приемы, принятые при выполнении работы.

**В третьей главе** «Результаты экспериментальных исследований свойств электроэрозионной порошковой меди» представлены результаты определения оптимальных технологических режимов получения и исследования свойств порошка меди, полученного электроэрозионным диспергированием отходов электротехнической медной проволоки. Показано, что при электроэрозионном диспергировании меди в дистиллированной воде образуются частицы правильной сферической формы, средний размер которых составляет 24 мкм, удельная площадь поверхности - 0,2 м<sup>2</sup>/г. При этом отмечено, что основным элементом является медь 99,92 %. При электроэрозионном диспергировании меди в керосине образуются частицы в основном неправильной формы, средний размер которых составляет 34 мкм, удельная площадь поверхности - 0,08 м<sup>2</sup>/г, а основными элементами являются: медь - 79,45 %, углерод - 17,7 % и кислород - 2,85 %. Отмечено также, что порошок

меди, полученный диспергированием в дистиллированной воде, хорошо прессуется, а порошок меди, полученный в керосине, не подвергается прессованию из-за содержания в нем большого количества примесей. Поэтому, для дальнейших исследований предложено использовать медь, полученную электроэррозионным диспергированием в дистиллированной воде.

**В четвертой главе** «Результаты исследования спеченных образцов электроэррозионной порошковой меди» представлены результаты экспериментальных исследований строения и свойств спеченных образцов, изготовленных холодным изостатическим прессованием и спеканием при 900 °C и 1000 °C в течение одного часа порошка меди, полученной электроэррозионным диспергированием отходов электротехнических медных проводов в дистиллированной воде, а также сравнение свойств спеченных образцов из такого порошка и стандартного порошка меди ПМС-1. Отмечено, что электропроводность образцов, полученных спеканием порошка меди, полученного диспергированием отходов, сопоставима с электропроводностью спеченного образца из порошка ПМС-1.

**В пятой главе** «Результаты исследования гальванических покрытий, модифицированных наночастицами электроэррозионной меди» представлены экспериментальные исследования свойств гальванических медных покрытий с добавкой наночастиц порошка меди, полученных электроэррозионным диспергированием отходов электротехнических медных проводов.

Установлено, что твердость медных покрытий с наночастицами порошка меди, полученного электроэррозионным диспергированием отходов электротехнических медных проводов, возрастает с увеличением их концентрации. Показано, что при увеличении концентрации таких наночастиц в электролите с 0,03 до 0,05 г на 100 мл среднее значение твердости медного покрытия увеличивается с 290 HV до 316 HV. Это выше значений твердости образца со стандартным медным покрытием на 8,3 % и 15,8 % соответственно. При этом отмечено, что износстойкость медных покрытий, полученных с использованием наночастиц порошка меди, полученного электроэррозионным диспергированием отходов электротехнических медных проводов, на 10 % выше износстойкости покрытий, полученных при использовании стандартного медного порошка ПМС-1.

Представлены основные выводы и рекомендации, сделанные диссертантом по результатам проведенных исследований.

#### **Научная значимость материалов диссертации** состоит:

- в установлении оптимальных значений энергетических параметров электроэррозионного диспергирования отходов электротехнической меди М1,

позволяющие управлять производительностью процесса и средним размером частиц порошкового материала;

- в установлении зависимостей влияния свойств рабочей жидкости на свойства порошковых материалов, полученных электроэррозионным диспергированием отходов электротехнической меди, позволяющих варьировать элементным и фазовым составом частиц порошкового материала;

- в установлении взаимосвязи между составом, структурой и свойствами порошка меди, полученного электроэррозионным диспергированием отходов электротехнической меди, и спеченных изделий, полученных на ее основе;

- в установлении взаимосвязи между концентрацией наночастиц порошка меди в электролите и свойствами медных гальванических покрытий.

### **Практическая значимость работы состоит:**

- разработаны: технология получения порошка меди электроэррозионным диспергированием отходов электротехнической меди, пригодного к промышленному использованию; технология изготовления изделий методом холодного изостатического прессования такого порошка с последующим спеканием в вакууме, технология нанесения медных гальванических покрытий на стальную деталь с использованием наночастиц порошка меди, позволяющая на 10 % повысить износостойкость таких покрытий в сравнении с износостойкостью, полученной при использовании стандартного медного порошка ПМС-1.

- разработан способ получения порошковой меди электроэррозионным диспергированием медных отходов (патент на изобретение РФ № 2599476);

- разработан способ получения медного нанопорошка электроэррозионным диспергированием отходов (патент на изобретение РФ № 2597445);

- разработан способ получения медных гальванических покрытий, модифицированных наночастицами электроэррозионной меди (патент на изобретение РФ № 2612119).

– результаты исследований апробированы и внедрены в ООО «КВАЛИМЕТ» г. Курск, ООО «Росутилизация46» г. Курск.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Научные положения, выводы и рекомендации соискатель делает на основе изучения и обзора научно-технической литературы, а также публикаций в периодической печати по изучаемой проблеме. Хорьякова Н.М. в своей работе использует общезвестные научные теории и методики, современное

экспериментальное оборудование и математические приёмы при выводе теоретических положений, что свидетельствует в пользу достоверности и обоснованности полученных данных. Выводы и обобщения логично вытекают из результатов исследований.

Достоверность основных положений работы подтверждена аprobацией результатов исследований на международных научно - технических конференциях и семинарах и в рецензируемых научных изданиях, а также внедрением результатов работы в производство.

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований сформулированы основные выводы соискателя, направленные на изучение свойств порошкового материала, полученного электроэрозионным диспергированием отходов электротехнической меди, и их практического применения.

Использование результатов диссертационного исследования в производстве подтверждается актами внедрения работы на конкретных предприятиях и в учебном процессе ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

#### **Аprobация диссертационной работы и полнота опубликования основных результатов работы в печати**

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 20 научно-технических конференциях различного уровня: III Международной научно-практической конференции «Современный материалы, техника и технология» (Курск, 2013, 2016 г.); III Международных научно-практической конференции «Перспективное развитие науки, техники и технологии» (Курск, 2013-2016 г.); Международном молодежном научном форуме «Ломоносов-2014» (Москва, 2014 г.); Международной научно-технической конференции «Физика, электроника и электротехника» (Сумы, 2014 г.); XI Международной конференции «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов» (Курск, 2014); XXXVI Международной научно-технической конференции «Технические науки – от теории к практике» (Новосибирск, 2014 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2015 г.); Международной научно-технической конференции «Альтернативны источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования» (Воронеж, 2015-2016 г.) и др..

Основные положения и результаты диссертационного исследования в 2013 – 2017 г.г. опубликованы в 55 работах, в том числе: 2 монографиях, 14

публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 публикациях в журналах, входящих в международную базу цитирования SCOPUS. Автореферат соответствует требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ и в полном объёме отражает содержание диссертации.

### **Рекомендации по использованию основных результатов и выводов, представленных в диссертации**

Результаты исследований, полученные Хорьяковой Н.М. при подготовке диссертации, могут быть использованы научными учреждениями при исследовании новых перспективных энерго- и ресурсосберегающих способов получения порошковых материалов и изделий на их основе.

Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе ВУЗов при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль «Автомобильный сервис».

### **Замечания по диссертационной работе и автореферату**

1. В работе недостаточно раскрыта актуальность получения порошка меди в среде керосина и его рециклинга.
2. В разделе 2 диссертации уделено много внимания описанию оборудования для проведения экспериментов, данную главу можно было сократить.
3. В разделе 4, рис. 4.3 - 4.7 (стр. 181-184) не указаны режимы получения спеченных образцов.
4. В тексте диссертации на стр. 185, абз. 1, четвертая строка сверху отмечено «Результаты исследования твердости образцов, полученных спеканием электроэрозионной порошковой меди и ПМС-1, представлены в табл. 4.3», а сама таблица 4.3 в тексте диссертации отсутствует.
5. В автореферате и в диссертации не представлены сведения о пористости порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов электротехнической меди.
6. В работе спеченные образцы получены только прессованием и спеканием. Нет сведений о возможности получения образцов другими методами, например, прокаткой.
7. В списке литературы диссертации мало ссылок на зарубежные источники, поэтому непонятно, ведется ли работа в этом направлении за рубежом.
8. В структуру изложения материала диссертации целесообразно было бы добавить раздел расчета экономической эффективности от использования результатов исследований в производстве.

9. В работе отсутствуют сведения о практическом применении результатов исследований по получению конкретных изделий из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов электротехнической меди.

10. В автореферате и в диссертации отсутствуют рекомендации перспективы дальнейшей разработки темы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

1. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит совокупность новых научных результатов и положений, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в развитие методологии и научных подходов при получении порошковых материалов на основе меди, имеющих важное народнохозяйственное значение для экономики страны.

2. Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 и паспорту специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение), а ее автор, Хорьякова Наталья Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа рассмотрена на заседании кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» « 23 » ноября 2018 г., протокол № 5.

Профессор кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», доктор технических наук, профессор Ластовицкий Вячеслав Николаевич

Почтовый адрес: 107023, г. Москва, ул. Б.Семёновская, д. 38

Телефоны: +7 (495) 223-05-23; +7 (495) 223-05-22

Адрес электронной почты, e-mail: mospolytech@mospolytech.ru

Адрес официального сайта: <http://mospolytech.ru>

