**Резюме проекта, выполняемого**

**в рамках ФЦП**

**«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-**

**технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

**по этапу № 3/итоговый**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии:** 14.577.21.0199

**Тема:** «Разработка технологии изготовления нанокомпозита на основе меди для замены серебра в разрывных электрических контактах»

**Приоритетное направление:** Индустрия наносистем (ИН)

**Критическая технология:** Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

**Период выполнения:** 27.10.2015 - 31.12.2017

**Плановое финансирование проекта:** 68.00 млн. руб.

**Бюджетные средства** 34.00 млн. руб.,

**Внебюджетные средства** 34.00 млн. руб.

**Получатель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"

**Индустриальный партнер:** Общество с ограниченной ответственностью «СОЮЗКАРБОН»

**Ключевые слова:** Искровое плазменное спекание, нанокомпозит, механическое легирование, порошковая металлургия, серебро, медь, электрические контакты, дисперсные материалы, поверхностное окисление, контактное сопротивление

**1. Цель проекта**

Целью проекта является разработка технологии получения нанокомпозита на основе меди путем искрового плазменного спекания и механического легирования, способного заменить серебро в разрывных электрических контактах, с минимальными технологическими потерями материала.

Реализуемый проект направлен на решение задачи экономии материальных ресурсов, в частности драгоценных металлов, а именно серебра в электротехнике (разрывные электрические контакты). Для этого предполагается разработать материал, который сможет заменить серебросодержащие материалы в разрывных электрических контактах и технологию его изготовления.

**2. Основные результаты проекта**

На первом этапе выбраны технология изготовления, основанная на методах порошковой металлургии, включающая, в частности, механическое легирование и искровое плазменное спекание. Эти методы позволят измельчить размеры зерен материала, после спекания получить практически готовое изделие практически без механической обработки. Разработаны методики исследований и испытаний материала. Обоснованы дополнительные к традиционным требования к новому материалу: температура начала разупрочнения выше 700 °С, размер дисперсных частиц должен быть не более 200 нм. На втором этапе выполнены экспериментальные исследования нового материала и технологические разработки по его изготовлению различными методами. Технологические разработки включали исследования и оптимизацию всего комплекса операций по изготовлению дисперсно-упрочненного композита на основе меди, способного заменить серебро в разрывных электрических контактах. Рассмотрены материалы на основе систем Cu-Al2O3, Cu-Al, Cu-Al-Ti-Hf, Cu-Al-Hf. На всех материалах были определены твердость, предел прочности на сжатие, удельная электропроводность, температура разупрочнения, плотность. Лучшие материалы подвергались стендовым испытаниям на реальном контакторе. На третьем этапе разработан композиционный материал на основе меди, обладающий плотностью, составляющей удельной электропроводностью 83 % по IACS, твердостью 107 – 120 НВ, температурой разупрочнения 850 °С. Материал может заменить серебросодержащие материалы в разрывных электрических контактах. Это было подтверждено результатами стендовых испытаний и предварительными результатами эксплуатационных испытаний. Разработана новая технология изготовления композиционного наноматериала на основе меди. Технология состоит в выплавке сплава на основе системы Cu-Al, перевод сплава в стружку, окисление стружки, обработка стружки в аттритере (шаровая мельница), термохимической обработке, восстановлении оставшихся окислов меди, одновременное прессование и спекание методом искрового плазменного спекания. Эта технология позволяет получить конечный продукт (электрические контакты), не нуждающийся в последующей обработке, следовательно, с минимальными потерями материала. Разработан метод пайки контактов из композиционного наноматериала на основе меди к медным держателям бессеребряным припоем. Предложенный метод электроконтактной пайки обеспечивает в 2 – 3 раза большую прочность соединения по сравнению с традиционной газопламенной пайкой. Получены зависимости основных свойств материала от его состава. На основе зависимостей выбран материал с оптимальным составом. Микроструктурные исследования позволили выявить два механизма износа контактов при эксплуатации. Один механизм приводит к интенсивному разрушению. Предложены мероприятия для снижения вероятности этого механизма.

1) Разработан и изготовлен композиционный наноматериал на основе меди, способный заменить серебро в разрывных электрических контактах. Материал изготовлен по с использованием технологии искрового плазменного спекания, которая позволяет получить готовые контакты без дополнительной обработки в отличие от технологии экструдирования. Определен оптимальный состав материала, позволяющий обойтись без таких сложных с точки зрения выплавки сплава легирующих элементов, как титан и гафний, применяемых на первом этапе работы. Материал обладает температурой разупрочнения выше 850 °С и не распухает при выдержке при температурах более 850 °С, его удельная электропроводность достигает 48,3 МСм/м (83 % IACS). Разработана технология пайки (электроконтактная пайка) без применения серебряного припоя. Таким образом, на всех технологических этапах изготовления контактов удалено серебро. Материал успешно прошел стендовые испытания и первый этап эксплуатационных испытаний.

2) Разработана новая технология изготовления композиционного наноматериала на основе меди, включающая выплавку сплава Cu-(0,23 – 0,33)% Al, обработку стружки в шаровой мельнице, проведение 3-х этапов химико-термической обработки, искровое плазменное спекание. В результате получается готовый контакт практически без отходов.

В ходе работы исследованы поверхности испытанных контактов из композиционного наноматериала на основе меди. По результатам исследований выделено два возможных механизма износа. Один связан с окислением и не приводит к интенсивному износу. Другой связан с поверхностным оплавлением и приводит к интенсивному износу. Из проведенных исследований следует требование к материалу об ограничении твердости материала для увеличении контактной площади и снижения температуры контактов, что позволяет избежать оплавление и снизить износ. Таким образом впервые разработан материал без драгоценных металлов и технология его изготовления, который способен заменить серебро в силовых разрывных электрических контактах.

3) Полученный материал удовлетворяет всем требованиям к проекту. По своим характеристикам он соответствует требованиям технического задания. Самое главное материал не содержит драгоценных металлов, технология изготовления не использует драгоценных металлов. Материал по результатам стендовых испытаний и первичных результатов эксплуатационных испытаний материал способен заменить серебро в силовых разрывных контактах.

4) Впервые разработан материал, который способен заменить серебро в разрывных электрических контактах и технология его изготовления. Ранее подобные материалы не применялись в электротехнике и, в частности, в качестве замены серебряных контактов.

**3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

1) Изобретение "Способ получения материала для электрических контактов и материал". Уведомление ФИПС № 2016151 544 от 27.12.2016 года

2) Полезная модель "Устройство для по лучения изделий из композиционных порошков". Уведомление ФИПС № 2017143854 от 14.12.2017г.

3) Изобретение "Способ изготовления композиционного материала для электрических разрывных контактов и материал". Уведомление ФИПС № 2017146308 от 27.12.2017г.

4) Полезная модель "Сопловой ввод вихревой трубы". Уведомление ФИПС № 2017146309 от 27.12.2017 г.

**4. Назначение и область применения результатов проекта**

1) Область науки – материаловедение, порошковая металлургия.

Техническая область применения - электротехника. Все отрасли машиностроения и транспорта, где используются серебряные контакты.

2) Практическое использование и перспективы использования результатов работ состоит в том, что разрабатываемый материал сможет заменить серебро в разрывных электрических контактах электрооборудования, где используется около 40 % серебра.

3) Недостатком использования драгоценных металлов в промышленности и на транспорте является не только их дефицит и высокая стоимость, но и очень сложная система их обращения и хранения, требующая не меньше затрат, чем стоимость материалов. На этом основана целая система утилизации таких материалов. Замена серебра в силовых контактов значительно сократит расходы, связанные с обращением драгоценных металлов. Поэтому использование разработанного материала и технологии его производства может оказать значительное влияние на структуру производства и потребление товаров в промышленности и на транспорте.

**5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

В результате использования результатов работ:

- снижается материалоемкость производства по драгоценным металлам, в частности серебру.

- экономический эффект на 1 т серебра составит более 30 млн. руб. в год.

- сокращаются значительные расходы предприятий на хранение, обращение и утилизацию драгоценных металлов.

**6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

1) Коммерциализация продукции состоит в организации производства нового материала и продажа его на предприятия, ремонтирующие или изготавливающие электротехническое оборудование

2) На внутреннем рынке максимальный объем продаж материала может составить около 1 т в год. Для производства контактов нет необходимости в крупном дорогом оборудовании. Поэтому окупаемость проекта можно достичь при продаже около 1 т материала.

**7. Наличие соисполнителей**

В 2015 году соисполнители не привлекались.

В 2016 году соисполнитель проекта АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

В 2017 году соисполнители не привлекались.