

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шаненковой Юлии Леонидовны «Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений.

1. Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа, выполненная в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 121 наименование, и одно приложение. Диссертация изложена на 157 страницах машинописного текста, содержит 57 иллюстраций и 10 таблиц.

2. Актуальность темы диссертации.

Совмещение разнородных материалов, таких как медь и алюминий, является актуальной проблемой для развития техники и технологий ввиду отсутствия оптимального способа соединения этих металлов. Существующие способы решения данной проблемы недостаточно эффективны и имеют ряд недостатков. Использование биметаллических прокладок увеличивает переходное сопротивление контактной пары, а нанесение токопроводящей смазки на поверхности контактов не позволяет эксплуатировать контакты длительное время и при ревизии возникает необходимость в нанесении нового слоя медной смазки. Создание покрытия на контактной поверхности позволяет решить проблему совмещения меди и алюминия с минимальным переходным сопротивлением, однако традиционные способы нанесения покрытий характеризуются низкой устойчивостью к динамическим воздействиям. В этой связи, представленная диссертационная работа, посвященная разработке нового уникального способа нанесения медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности на основе высоковольтного сильноточного ускорителя плазмы, является актуальной.

3. Оценка содержания диссертации.

Во введении показана актуальность темы исследования, обозначены цель и задачи диссертационной работы, приведены выносимые на защиту положения научной новизны и практическая значимость результатов, а также приведены сведения о структуре, объеме диссертации, ее апробации и количестве опубликованных работ.

В первой главе приведены результаты анализа литературных данных по возможности совмещения контактных элементов из меди и алюминия. Представлены подробные данные о физико-химических процессах, возникающих при соединении таких разнородных металлов, как медь и алюминий. Рассмотрены основные способы совмещения меди и алюминия, такие как электропроводящие смазки, биметаллические прокладки, традиционные способы нанесения покрытий. Отмечены основные достоинства и недостатки существующих методов решения рассматриваемой проблемы и показаны преимущества плазмодинамического метода нанесения медных покрытий для совмещения контактных пар медь-алюминий и уменьшения их переходного сопротивления.

Во второй главе рассмотрены методы проведения экспериментальных и аналитических исследований. Приведено подробное описание плазмодинамического метода нанесения медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью высоковольтного коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Приведена разработанная методика определения переходного сопротивления (порядка 10^{-7} Ом) контактных пар вольтамперным способом с помощью генератора импульсов токов на основе молекулярных импульсных конденсаторов.

В третьей главе диссертационной работы проанализирован процесс нанесения медного покрытия на алюминиевые поверхности. Рассмотрены способы инициирования дугового разряда, влияние энергетических и конструктивных параметров плазмодинамической системы на динамические характеристики сверхзвуковой плазменной струи, электроэрозионную наработку материала с поверхности УК, величину площади и качество медного покрытия.

В четвертой главе рассмотрены вопросы влияния параметров плазмодинамической системы и характеристик медного покрытия на переходное сопротивление контактной пары медь-алюминий. Исследованы величины переходных сопротивлений контактных пар, полученных плазмодинамическим методом и тестовых пар медь-медь, медь-алюминий, алюминий-алюминий, пары с биметаллической пластиной и с электропроводящими смазками. В том числе проанализированы микроструктура, фазовый состав, микротвердость по линии покрытие-подложка, топология и прочность сцепления медного покрытия с алюминиевой подложкой. Произведен расчет переходного сопротивления контактной пары медь-алюминий с медным покрытием.

В пятой главе рассмотрены результаты исследований по нанесению медных покрытий плазмодинамическим методом на внутренние поверхности конических отверстий в алюминиевых образцах с использованием КМПУ оригинальной двухслойной конструкцией ствола с медным ускорительным каналом. Проведены исследования по измерению переходных сопротивлений полученных контактных пар медь-алюминий с внутренними медными покрытиями. В том числе рассмотрены микроструктура, элементный и фазовый состав, а также механические свойства медного покрытия на внутренней поверхности конусного отверстия алюминиевого образца.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, подтверждающие достижение поставленной цели.

В Приложении содержится акт об использовании результатов диссертационной работы.

4. Методы исследования.

В диссертационной работе применялись разработанная экспериментальная методика нанесения медного покрытия на контактные поверхности, а также аналитические исследования (рентгеновская дифрактометрия, сканирующая электронная микроскопия с элементным анализом, оптическая микроскопия), методы исследования топологии поверхности покрытий, микротвердости методом Виккерса, адгезионной прочности сцепления и измерения величин переходного сопротивления порядка 10^{-7} Ом.

5. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов.

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяются применением фундаментальных теоретических и экспериментальных методов исследования в рассматриваемой области, современных аналитических методик, а также подтверждаются их обсуждениями на международных научно-технических конференциях, а также подтверждены грантом «УМНИК».

6. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций.

В диссертационной работе обоснованы причины необходимости разработки нового электрофизического метода распыления и нанесения устойчивых медных покрытий на плоские и внутренние конические алюминиевые контактные поверхности. Для решения этой проблемы разработаны системы на основе высоковольтного

сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа с медными электродами и ускорительным каналом с электропитанием от емкостного накопителя энергии. Кроме того определены оптимальные условия, конструктивные и энергетические параметры ускорителя, обеспечивающие нанесение медного покрытия регулируемой толщины порядка 100 мкм, площадью до 200 см² и высокой прочностью сцепления до 2500 МПа с алюминиевой подложкой. Экспериментально установлено, что плазмодинамическое медное покрытие с естественной шероховатостью на алюминиевой поверхности обеспечивает надежное совмещение плоской или конической контактной пары медь-алюминий и снижение переходного сопротивления в 2,5÷4 раза за счёт образования граничного слоя взаимного перемешивания материалов и высокотвёрдых интерметаллидных фаз.

7. Практическая значимость и реализация результатов диссертационной работы.

Разработка нового метода создания устойчивых медных покрытий на алюминиевых контактных поверхности различной конфигурации, является ценным практическим результатом. Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждена научно-технической работой в ходе программы «У.М.Н.И.К.», проектов РНФ и РФФИ и актом о внедрении, представленным в приложении диссертационной работы.

8. Личный вклад автора.

Представленные в диссертационной работе результаты спланированы и поставлены лично автором и при его непосредственном участии. Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве, является преобладающим. По теме диссертации опубликовано 15 работ, числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Кроме того, по теме диссертационного исследования автором был получен патент РФ на полезную модель.

9. Замечания.

1) В работе производится сравнение сопротивления контактных пар медь-алюминий, соединенных различными методиками. Однако отсутствует сравнение со значениями сопротивления таких способов соединения алюминия и меди, как сварка взрывом или при нанесении медного покрытия холодным газодинамическим напылением.

2) Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, но сильно перегружен.

3) В п. 3.4 введено понятие «качество покрытия», возникает вопрос, что автор подразумевает под этим понятием.

4) По фазовому анализу полученных медных покрытий доказано образование интерметаллидных фаз системы «медь-алюминий» в толще покрытия. Однако автор не приводит точных обоснований и причин для создания таких условий, при которых образуются данные типы соединений.

5) Результаты по измерению сопротивления и расчетные данные сопротивления для тех же образцов отличаются, но автор диссертационной работы не приводит объяснения таких различий.

10. Заключение.

Совокупность выполненных диссертационных исследований и их результаты показывают решение актуальной проблемы, имеющей практическое значение. Высказанные замечания не снижают уровень научной и практической значимости результатов диссертационной работы и носят уточняющий характер. Считаю, что диссертационная работа «Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей значимые научные результаты, а её автор Шаненкова Юлия Леонидовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – техника высоких напряжений.

Официальный оппонент
профессор кафедры теплофизики
МГТУ им. Н.Э. Баумана
доктор физико-математических
наук по специальностям – 05.13.18
Математическое моделирование,
численные методы и комплексы
программ и 01.04.08 Физика плазмы

Рыжков
Сергей Витальевич

Полное 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

Юридический адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел.: (499)2636391, факс: (499)2674844, E-mail: bauman@bmstu.ru