

ОТЗЫВ

на диссертацию Шаненковой Ю.Л. «НАНЕСЕНИЕ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений.

Научная область, к которой относятся материалы, изложенные в диссертации – получение металлических покрытий с высокой адгезией и низким переходным сопротивлением.

1. Актуальность избранной темы.

Исследования по формированию защитных покрытий на различных материалах в настоящее время активно проводятся во всех технически развитых странах. Наиболее актуальны работы по формированию функциональных покрытий, в том числе проводящих покрытий на различных изделиях силового электрооборудования, прежде всего на элементах контактных пар, разъёмных соединений и проводах. Использование медного покрытия на деталях, выполненных из более дешёвых материалов, которые не обеспечивают низкое контактное сопротивление (алюминий, сталь и др.) позволяет значительно снизить стоимость электрооборудования и повысить ресурс его работы. Наиболее важными требованиями к таким покрытиям являются низкое контактное сопротивление, низкое переходное сопротивление подложка-покрытие и высокая адгезия покрытия к подложке. Поэтому исследования по нанесению медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности, снижению переходного контактного сопротивления и повышению адгезии покрытия актуальны.

2. Практическая ценность выполненных исследований

Практическая ценность результатов исследований, выполненных Шаненковой Ю.Л., заключается прежде всего в разработке оборудования для плазмодинамического нанесения медного покрытия на алюминиевые подложки различной конфигурации, оптимизации режима нанесения медного покрытия и тщательном исследовании основных параметров полученного покрытия с использованием современных методов анализа.

Выполненные исследования позволили получить медное покрытие регулируемой толщины до 100 мкм, площадью до 200 см² и прочностью сцепления до 2.5 ГПа с алюминиевой подложкой. Адгезия медного покрытия, полученного плазмодинамическим методом на алюминиевой мишени, в 5-10 раз превышает адгезию такого покрытия, полученного другими методами.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно полно обоснованы и подтверждены результатами выполненных исследований медного покрытия на алюминиевых подложках различной конфигурации. Для исследования использованы современные методики и аналитическое оборудование. Фазовый состав полученных медных покрытий на алюминиевых подложках исследовали методом рентгеновской дифрактометрии с использованием дифрактометра Shimadzu XRD7000S. Для исследования микроструктуры покрытий изготавливали поперечные шлифы образцов, поверхность которых анализировали с помощью оптического металлографического микроскопа Olympus GX-71 и сканирующих

электронных микроскопов Hitachi TM3000 и Quanta 200 3D с возможностью проведения энергодисперсионного анализа элементного состава материала образцов. Для исследования микрогеометрии поверхности покрытий, определения параметров шероховатости полученные образцы анализировали с помощью трехмерного бесконтактного лазерного профилометра Micro Measure 3D Station с шагом сканирования 8 мкм. Оценка адгезионной прочности проведена методом скретч-тестирования с использованием установки Micro Scratch Tester Revetest.

4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием независимых дублирующих методик измерения характеристик медного покрытия на алюминиевых подложках различной конфигурации, сопоставлением и приемлемым совпадением результатов экспериментов с результатами расчетов и численного моделирования, а также сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей, реализацией научных положений при практическом создании образцов медного покрытия на алюминиевых подложках различной конфигурации. Полученные результаты не противоречат существующим представлениям о механизмах формирования металлических покрытий мощными потоками энергии и процессах формирования переходного слоя покрытие-подложка. Материалы диссертации неоднократно докладывались на профильных международных и национальных конференциях и симпозиумах в России и за рубежом.

5. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

У меня есть замечания по научной новизне материалов. В диссертации и автореферате в разделе «Научная новизна и защищаемые положения» новые научные результаты сформулированы недостаточно полно и четко и в данном представлении частично содержат материалы из других более ранних статей, опубликованных без участия Шаненковой Ю.Л.:

1. А.А. Сивков, Л.В. Корольков, А.С. Сайгап. Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности с помощью магнитоплазменного ускорителя // Электротехника. - 2003. - № 8. - с. 41-46.

2. Герасимов Д.Ю., Цыбина А.С., Сивков А.А. Использование коаксиального магнитоплазменного ускорителя для нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность // Приборы. 2005 г., № 6, с.33-40.

3. Sivkov A.A., Gerasimov D.U., Tsibina A.S. Copper coating of aluminium contact surfaces using magneto-plasma accelerator // "KORUS-2004": Proceedings the 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Russia, Tomsk, 26June - 3July 2004. - p.295-298.

Однако, в отличие от более ранних работ, выполненных в 2003-2005 годах Сивковым А.А., Корольковым Л.В., Герасимовым Д.Ю., Цыбиной А.С., система на основе высоковольтного сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа с медными электродами и ускорительным каналом (первое защищаемое положение) была существенно модернизирована соискателем, в частности используется двухимпульсный режим работы.

В отличие от более ранних работ, выполненных в 2003-2005 годах Сивковым А.А. и др., в диссертации приведены экспериментальные данные измерения прочности сцепления медного покрытия с алюминиевой подложкой. Впервые показано, что адгезия покрытия

значительно превышает адгезию, полученную другими методами (второе защищаемое положение). Кроме того, увеличена площадь нанесения покрытия.

В отличие от более ранних работ, выполненных Сивковым А.А. и др., в диссертации (третье защищаемое положение) дополнительно к известным данным о механизме формирования контактной пары медь-алюминий и снижения переходного сопротивления (образование граничного слоя взаимного перемешивания) показано, что наблюдаемый в структуре покрытия приграничный слой состоит, в основном, из интерметаллидных фаз системы Cu-Al (Al_4Cu_6 и $CuAl_2$) и реализуется новый механизм его образования.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные результаты рекомендуется использовать при разработке и оптимизации режима работы оборудования для плазодинамического нанесения медного покрытия на алюминиевые подложки различной конфигурации.

Материалы диссертационного исследования могут быть использованы при чтении лекционных курсов по направлению «Механика гетерогенных сред», по дисциплинам «Физика и техника низкотемпературной плазмы, плазмохимия и плазменные технологии обработки и модификации свойств материалов», «Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Физика и техника мощных пучков заряженных частиц. Радиационно-пучковые технологии модифицирования материалов», направление 140200 "Электроэнергетика", магистерская программа "Техника и физика высоких напряжений".

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в вузах, НИИ и на предприятиях, исследующих и использующих функциональные покрытия с высокой адгезией, в частности, в Институте электрофизики УрО РАН (г. Екатеринбург), Физическом институте РАН (г. Москва), Институте сильноточной электроники СО РАН (г. Томск), Томском политехническом университете.

7. Замечания к диссертации

1. В более ранних публикациях Сивкова А.А., Герасимова Д.Ю. и др. «показана принципиальная возможность создания технологии нанесения медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазодинамическим методом». В чем заключается научная новизна выполненных исследований?

2. Известно, что высокая адгезия медного покрытия на алюминиевой контактной поверхности и низкое переходное сопротивление контактной пары Cu-Al_{Cu} (медь-алюминий с медным покрытием) обусловлены образованием граничного слоя взаимного перемешивания и сцепления материалов покрытия и подложки. Что нового дали результаты исследований, приведенные в данной работе?

3. Приведенные в данной работе минимальная величина переходного сопротивления контактной пары медь-алюминий с медным покрытием хоть и одного порядка величины 1÷2 мкОм, но несколько выше приведенных в литературе результатов при меньшей площади контактной поверхности (6 см² в более ранних публикациях Сивкова А.А., Герасимова Д.Ю. и 10 см² в диссертации). Почему?

8. Заключение

Диссертация Шаненковой Ю.Л. на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи по созданию медных покрытий на алюминиевых изделиях плоской и конической конфигурации. Это имеет большое значение для развития соответствующей отрасли знаний.

Считаю, что диссертационная работа Шаненковой Ю.Л. «Нанесение медного покрытия на алюминиевые контактные поверхности плазмодинамическим методом» отвечает требованиям п.п. 8-9 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 93/од от 06.12.2018).

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов (есть Акт использования). Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными методами создания медных покрытий на алюминиевой подложке.

Несмотря на указанные замечания, считаю возможным присвоение Шаненковой Ю.Л. ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений. Диссертация, как квалификационная работа, содержит новые научные результаты, они достаточно полно обоснованы и подтверждены результатами выполненных исследований.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.19

Пушкарев А.И., доктор физ.-мат. наук, профессор

Отделение материаловедения Инженерной
школы новых производственных технологий

Томского политехнического университета.

Моб. телефон +7-913-851-53-45

e-mail aipush@mail.ru

 _ А.И. Пушкарев

«Подпись Пушкарева А.И. заверяю»

Ученый секретарь Томского политехнического
университета

 _ О.А. Ананьева

13 мая 2019 года