

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Тесла Н. Патенты – Самара, 2009 – 496 с.
2. Касьянов Г.Т. Получение электроэнергии из атмосферы с помощью антенны и приемника // Успехи современного естествознания. – 2013. – №1. – с. 125-128.
3. Стребков Д.С., Каторгин Р. К. Патент № 2517378, резонансный усилитель мощности.

Научный руководитель: Н.М. Балахонов, инженер кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

## **НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ В СИСТЕМЕ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

Ю.Н. Половинкина, Ю.Л. Шаненкова  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ6К

Электрическим контактом обычно называют соединение двух проводников, при котором обеспечивается надежное прохождение электрического тока. Электрический контакт должен передавать энергию электрического тока от одной электроустановки к другой без заметных потерь [1]. Высокую надежность таких соединений можно достичь лишь при применении однородных материалов, таких как медь-медь, сталь-сталь, алюминий-алюминий. К сожалению, такие материалы обладают неким уровнем окисляемости, поэтому при взаимодействии с кислородом, влагой и другими факторами в месте соединения образуется оксидная плёнка, обладающая большим сопротивлением. К тому же, при применении разнородных материалов, например, медь-алюминий, идет дополнительно электрохимическое окисление [2]. Всё это приводит к увеличению потерь электроэнергии.

На сегодняшний день существует множество способов по совмещению разнородных материалов, в частности, меди и алюминия, однако каждый из них обладает рядом недостатков. К примеру, при применении биметаллических пластин происходит рост контактных переходов, ввиду чего увеличивается переходное контактное сопротивление. Электропроводящие смазки обладают низкой стоимостью, просто в применении, позволяют увеличить токопередачу, но быстро становятся непригодными для многократного использования ввиду резкого ухудшения качества смазки. В нашей работе предлагается совмещать медь и алюминий в системе коаксиального магнитоплазменного ускорителя посредством нанесения медных покрытий на различные алюминиевые поверхности. Данный способ является очень перспективным, т.к. обладает высоким быстродействием, безопасен, экологичен, и, самое главное, позволяет снизить величину переходного контактного сопротивления в месте перехода контактных элементов.

Нанесение медных покрытий на алюминиевые поверхности осуществлялось в системе, базовым элементом которого является импульсный высокотоковый коаксиальный магнитоплазменный ускоритель [3]. Были проведены опыты по нанесению покрытий на основе меди на различные алюминиевые подложки и конструкции в системе коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Фотографии полученных покрытий представлены на рисунке 1. По результатам опытов можно сказать, что покрытия получились высококачественными: достаточно высокая плотность меди на поверхностях и отсутствуют места прогаров. Также было установлено, что таким методом возможно получать покрытия до 200 см<sup>2</sup>. По фотографиям полученных образцов стоит отметить, что возможно получения покрытия на электротехнических контактных элементах.

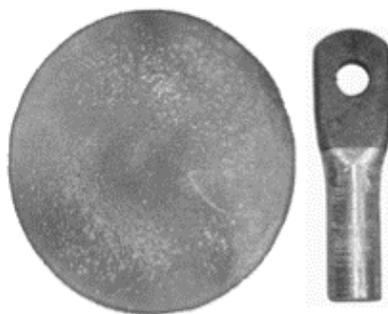


Рис. 1. Фотографии полученных медных покрытий на алюминиевых подложках и электротехнических изделиях

Толщина покрытий исследовалась методом оптической металлографической микроскопии, при помощи микроскопа Olympus GX-71. Было установлено, что для всех образцов толщина покрытия варьируется от 50 до 100 мкм. Как видно из рисунка 2, покрытия, получаемые данным способом, достаточно равномерные, полностью повторяют неровности и изгибы алюминиевой подложки. Это приводит к тому, что видимая граница раздела отсутствует полностью и таким образом обеспечивается плотное прилегание покрытия.

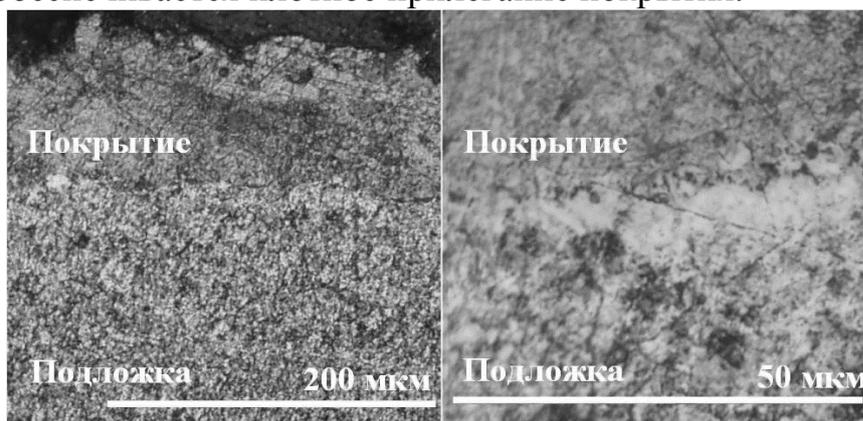


Рис. 2. и микрофотография Фотография полученных медных покрытий на плоских алюминиевых подложках шлифов поперечного среза образца, полученного при расстоянии до мишени 225 мм

Главным же показателем качества полученных покрытий является низкая величина переходного контактного сопротивления, поэтому была подготовлена

установка для проведения измерений этих величин. Измерения проводились для 3 контактных пар, таких как медь-медь Cu-Cu, медь-алюминий Cu-Al, медь-алюминий с медным покрытием Cu-Al<sub>Cu</sub>.

На рисунке 3 показан график зависимости удельного переходного контактного сопротивления от момента усилия сжатия. Из полученных результатов следует, что величина контактного сопротивления падает с ростом момента усилия сжатия ввиду того, что увеличивается площадь касания контактов за счет смятия выступов, присутствующих на поверхности контактных пар.

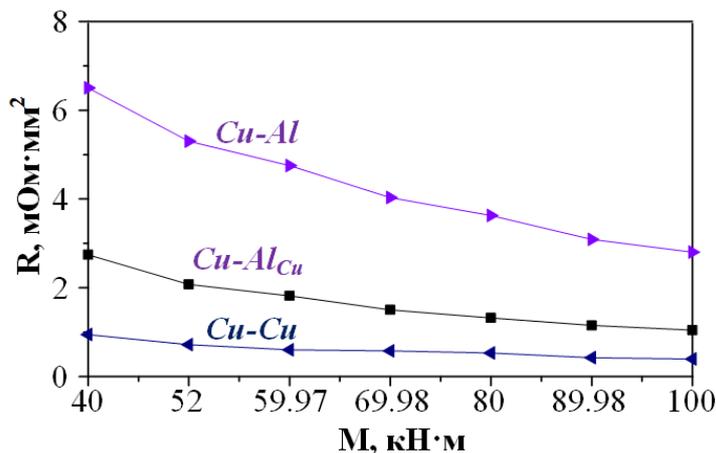


Рис. 3. Зависимость удельного переходного контактного сопротивления от усилия сжатия

Также проведенные исследования показали, что при непосредственном соединении меди с алюминием переходное контактное сопротивление приблизительно в 7 раз превышает величину сопротивления, получаемого при соединении меди с медью. Такое соотношение наблюдается при всех исследованных усилиях сжатия.

Стоит отметить, что исследование полученных контактных пар медь-алюминий с медным покрытием показало возможность уменьшения переходного сопротивления вплоть до ~ 2.8 раз относительно непосредственного соединения меди с алюминием при максимальной силе сжатия.

Переходное контактное сопротивление было рассчитано по методике [4] – в результате было получено значение, равное 0,7 мОм·мм<sup>2</sup>. Данное значение отличается от значения, полученного вольтамперным методом (1 мОм·мм<sup>2</sup>). Это связано с ошибками различных методов и погрешностями измерений.

На конкретном примере было рассмотрено влияние контактного сопротивления на величину отклонения напряжения. В качестве реального электроэнергетического объекта был принят магистральный шинопровод ШМА-5 сборочного цеха ОАО «Томский электроламповый завод», выполненный из алюминия, с большим количеством болтовых соединений, что является основным объектом электрических сетей, для которых возможно использование нанесения медных покрытий.

На рисунке 4 построены эпюры отклонения напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприемника для режима максимальных нагрузок, с учетом нанесения медного покрытия и без.

Результаты показали, что при использовании предложенной методики размах отклонения уменьшается, что способствует увеличению диапазона напряжения, на котором может работать данная часть энергосистемы. Также в ходе расчетов получено, что при использовании такой технологии возможно достигнуть экономии электроэнергии до 50% на контактных элементах.

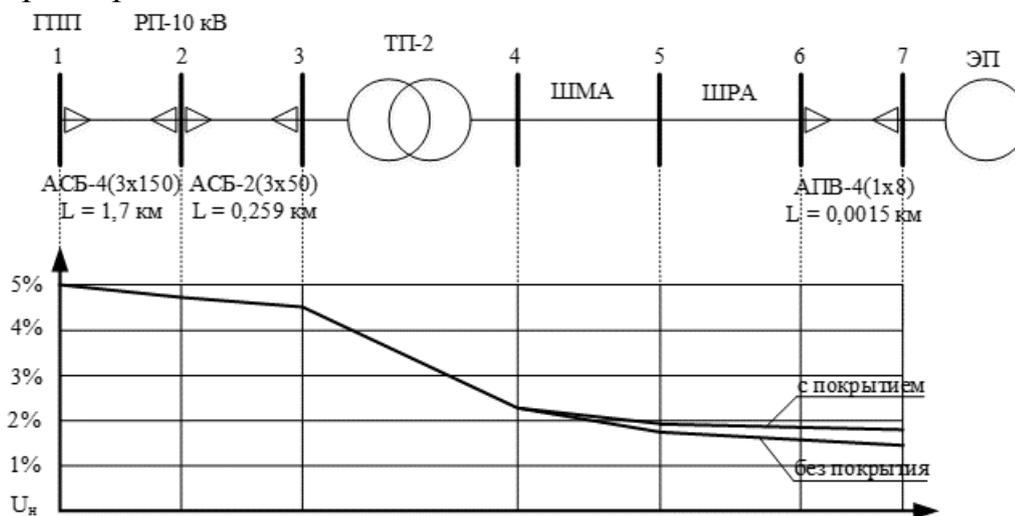


Рис. 4. Эпюры отклонения напряжения с использованием контактных  $\text{Cu-Al}$  и  $\text{Cu-Al}_{\text{Cu}}$

В завершении хотелось бы отметить, что в работе представлены результаты по совмещению разнородных материалов, в частности, меди и алюминия, широко применяющихся в электроэнергетике, плазмодинамическим методом. Данный метод позволяет получать покрытия с толщиной до 100 мкм и площадью до 200 см<sup>2</sup>. Достоинствами таких покрытий являются относительно низкое удельное переходное контактное сопротивление и снижение потерь электроэнергии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Масанов Б.М. Присоединение проводников к контактным выводам электрооборудования. – Москва: Энергия, 1969. – 26 с.
2. Комаров А.А., Яковлев В.Н. Электрические контакты. Учебно-методическое пособие по дисциплине “Тяговые и трансформаторные подстанции для студентов специализаций: 101801 – “Электроснабжение железных дорог” и 101802 – “Компьютерные технологии в электроснабжении”. – Самара: СамИИТ, 2001. – 51 с.
3. Половинкина Ю. Н., Шаненкова Ю. Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1: Физика. — С. 229-231.
4. Н.Н. Дзекцер, В.В. Измайлов, Е.В. Николаева. Определение электрического сопротивления неподвижных контактных соединений // Изве-

стия высших учебных заведений. Электромеханика. – № 9. – 1986. – С. 87-93.

Научный руководитель: А.С. Ивашутенко, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**

М.С. Тощевикова, А.Г. Баннов  
Новосибирский государственный технический университет

Одним из важных и актуальных направлений в современной энергетике является возобновляемая энергия. Применение суперконденсаторов в возобновляемой энергетике актуально в силу её изначальной нестабильности, особенно, когда речь идёт о ветрогенераторах или солнечных батареях. Для обеспечения требуемого потребителями качества и стабильности объёмов генерируемой электроэнергии требуется проводить дорогостоящие мероприятия. Применение в данном случае суперконденсаторов становится эффективной альтернативой традиционным решениям.

Электрохимические конденсаторы, или суперконденсаторы (СК) – это электрохимические приборы, в которых происходят квазиоборотные электрохимические зарядно-разрядные процессы [1]. СК представляют собой эффективные и экологически чистые источники энергии. Они состоят из электродов, которые разделены сепаратором и помещены в герметичный корпус. Внутренняя среда суперконденсатора заполняется электролитом. В большинстве случаев электролит представлен водным раствором KOH или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Электроды изготавливаются из пористых материалов с развитой внутренней поверхностью.

В качестве электродного материала применяют высокодисперсный углерод. Данный материал имеет развитую удельную поверхность, которая достигает сотни и даже тысячи м<sup>2</sup>/г, и отличаются хорошей электропроводимостью. Высокодисперсный углерод зачастую представлен в виде сажи, активированных углей и нанопористых углеродных материалов.

В данной работе для создания углеродного электрода для суперконденсатора применяют нанокпозиционные материалы, в состав которых входит терморасширенный графит, нановолокнистый и активированный углерод [2].

Терморасширенный графит (ТРГ) представляет собой углеродный материал, который характеризуется низкой плотностью, наличием в основном макро- и мезопор. ТРГ отличается высокими значениями ёмкости в связи с высокой удельной поверхностью (300-350 м<sup>2</sup>/г), что предопределяет использование данных материалов в качестве электродных [3].

Нановолокнистый углерод (НВУ) представляет собой гранулы, которые образованы переплетенными между собой углеродными нановолокнами со структурой вложенных конусов. Удельная поверхность используемого НВУ составляет 100 м<sup>2</sup>/г. Широкий комплекс интересных свойств, таких как высокая