

Потребность в газотурбинных установках существует и обусловлена она широкой сферой их применения. Кроме того, возникает необходимость в выработке нового подхода к обеспечению качественной и недорогой электроэнергией нефтегазовых объектов. То есть, необходимо надежное оборудование с высокой степенью заводской готовности, полностью автоматизированной системой управления, отличными техническими и потребительскими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газотурбинные установки // Gigavat.com : сайт. 2012. URL: <http://www.gigavat.com/gtu.php> (дата обращения: 25.01.2016).
2. Газотурбинные установки // Топливо-энергетический комплекс Москвы : сайт. URL: <http://www.mosenergoinform.ru/articles/gtu.htm> (дата обращения: 25.01.2016).
3. Энергообеспечение нефтяных и газовых месторождений // Промпривод. Научно-производственная компания: сайт. Ярославль, 2006. URL: <http://www.promprivod.ru/pages/neftegazovye-mestorozhdenija.htm> (дата обращения: 26.01.2016).
4. Саурн// ПАО «НПО «Сатурн»: сайт. 2015. URL: <http://www.npo-saturn.ru/> (дата обращения: 25.01.2016).
5. Пермский моторный завод // ОАО «Пермский моторный завод»: сайт. 2007. URL: <http://www.pnz.ru> (дата обращения: 25.01.2016).

СОВМЕЩЕНИЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Как известно, самыми широко используемыми материалами в электроэнергетике являются медь и алюминий ввиду низкой величины удельного переходного сопротивления. При совмещении данных материалов переходное контактное сопротивление увеличивается, что приводит к ухудшению качества контакта и возрастанию потерь электроэнергии[1]. В работе предлагается новый способ по совмещению меди и алюминия путем нанесения медного покрытия на алюминиевые поверхности при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [2]. Достоинствами данной методики по сравнению с существующими являются: простота (не требует предварительной подачи и обработки наносимого материала), достаточно высокая быстрота нанесения покрытий (порядка 1 мс), низкая энергоемкость процесса.

Была проведена серия опытов по нанесению медных покрытий на алюминиевые контактные поверхности с помощью высокоскоростной импульсной сильноточной плазменной медной струи. Типичная фотография полученных Cu покрытий на Al подложки представлены на рис. 1. Из фотографии видно, что покрытие нанеслось по всей площади подложки. Стоит отметить, что качество полученных покрытий достаточно велико – высокая плотность меди на алюминии (отсутствуют области без покрытия), Al подложка не подверглась сильным изменениям (отсутствуют места прогаров) и значение площади покрытия достигает до 220 см².

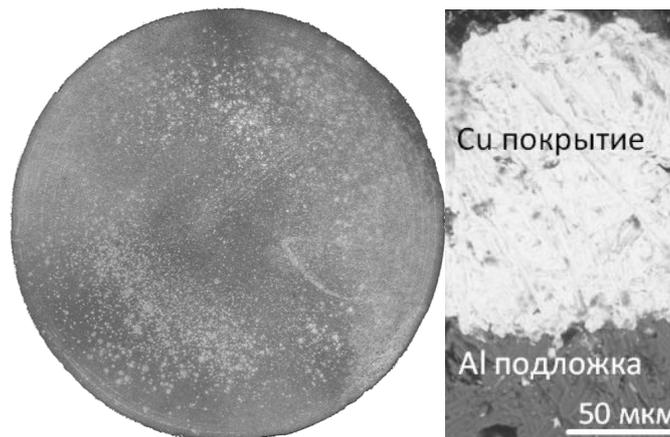


Рис. 1. Фотография полученных медных покрытий на плоских алюминиевых подложках и микрофотография шлифов поперечного среза образца, полученного при расстоянии до мишени 225 мм

Толщина покрытий исследовалась на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM3000. Было установлено, что толщина покрытий достигает 150 мкм. Как видно из рис. 1, медные покрытия, наносимые предложенным способом, получаются равномерными, полностью повторяют все неровности и изгибы алюминиевой подложки. Это приводит к тому, что видимая граница раздела отсутствует полностью и таким образом обеспечивается плотное прилегание медного покрытия к алюминиевой подложке. Стоит отметить, что в области соединения покрытия с подложкой, обнаруживается присутствие как частиц меди в подложке, так и частиц алюминия в покрытии. Это подтверждает предположение об их взаимном перемешивании материалов в жидкой фазе.

Одним из главных факторов, определяющих качество нанесенного покрытия, влияющее на продолжительность работы, является адгезия. Для образцов, которые используются в условиях с изменяющимися нагрузками, в данном случае зависящими от величины протекающего тока, этот параметр становится главным. Поэтому полученные образцы должны иметь достаточно высокую прочность сцепления, чтобы предотвратить возможные внештатные ситуации, которые могут произойти за счет отслаивания покрытия от подложки.

На рис. 2 представлены кривые, полученные при проведении скретч-теста для определения прочности сцепления для образца, а также SEM-снимок царапины, по которому определялось место, где покрытие отслоилось от подложки [3]. В процессе нанесения царапины на поверхность образца регистрировались такие параметры, как сила нагрузки на индентор F_n , сила трения F_t , глубина проникновения P_d и акустическая эмиссия A_e в зависимости от перемещения индентора.

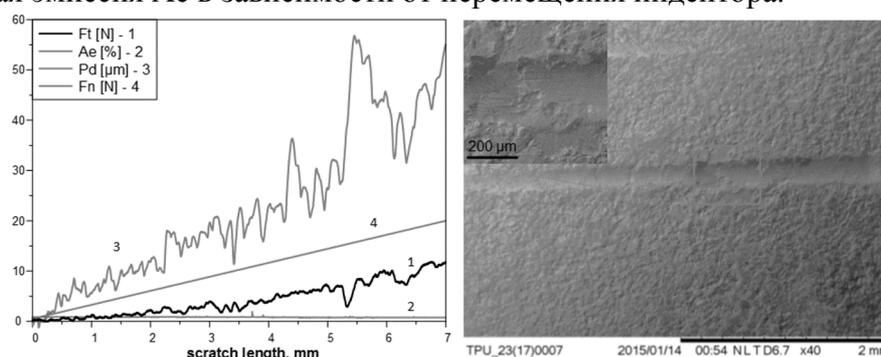


Рис. 2. Результаты скретч-теста: а) полученные кривые; б) SEM снимок царапины

В результате эксперимента была найдена величина плотности сцепления, которая равняется 2430 МПа. Стоит отметить, что получающаяся величина прочности сцепления значительно превышает прочность сцепления, достигаемую другими методами напыления меди на алюминий, так для способа холодного газодинамического напыления эта величина составляет 700 МПа [4].

Для качества полученных покрытий был подготовлен стенд для измерения величин переходного контактного сопротивления пар Cu-Cu, Cu-Al, Cu-Al_{Cu}, полученных нашим методом.

В соответствии с полученными результатами, представленными на рис. 3, видно, что с увеличением усилия сжатия контактных элементов удельное переходное контактное сопротивление ожидаемо уменьшается. Это происходит вследствие увеличения площади касания контактов за счет смятия выступов, присутствующих на поверхности контактной пары медь-алюминий.

Сравнительный анализ эталонных характеристик контактных пар медь-медь и медь-алюминий без покрытия показал, 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.

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 максимальном усилии сжатия. Этот результат может оказаться весьма важным в практическом отношении, т.к. в реальных сетях систем электроснабжения много болтовых контактных соединений алюминиевых шин.

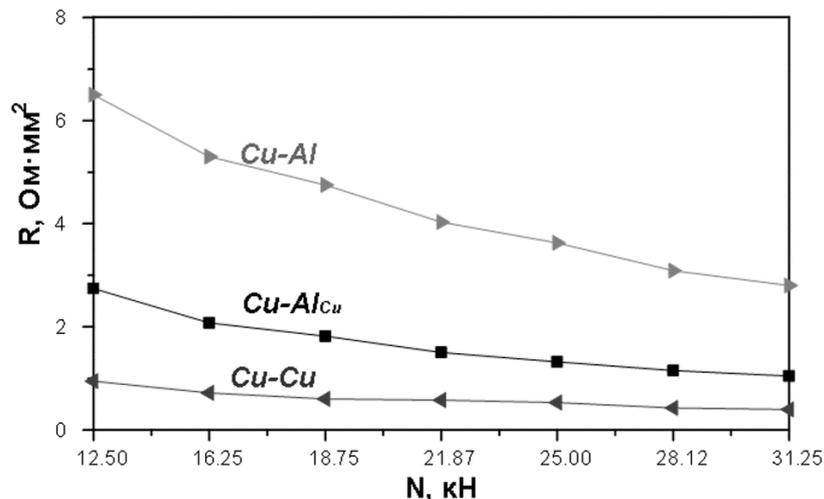


Рис. 3. Зависимость удельного переходного контактного сопротивления $R_{уд}$ от усилия

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.

Были 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 [5] (рис. 4). 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.

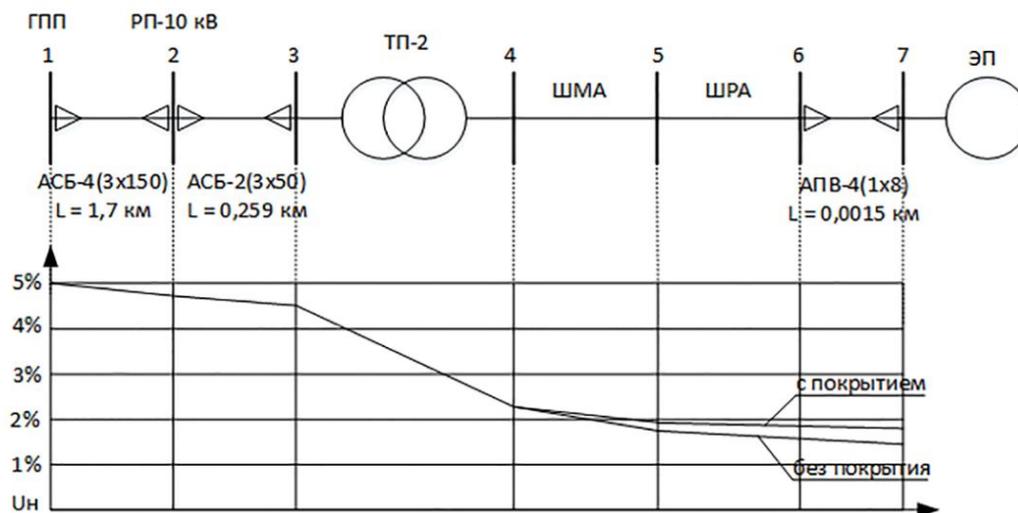


Рис. 4. Эпюры отклонения напряжения с использованием контактных Cu-Al и Cu-Al_{Cu}

В конце всего изложенного хотелось бы отметить, что в работе представлены результаты по совмещению меди и алюминия путем взаимодействия высокоскоростной импульсной медной струи с алюминиевыми поверхностями. При использовании данного метода возможно получение покрытий толщиной до 150 мкм и площадью до 220 см², которые отличаются относительно низкой величиной удельного переходного контактного сопротивления и высоким уровнем адгезии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Antler M. Survey of contact fretting in electrical connectors // IEEE Transactions on components, hybrids, and manufacturing technology. – 1985. – СМТ-8(1). – P. 87-104.
2. Пат. 137443 РФ. МПК7 Н05Н 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6с.
3. Swanson H.E. and Tatge E. Standard X-Ray Diffraction Powder Patterns // NBS Circular Natl. Bur. Stand. Circ. (US). – 1953. – № 1, 21. – p. 539.
4. Barradas S., Molins R., Jeandin M., Arrigoni M., Boustie M., Bolis C., Berthe L., Ducos M. Application of laser shock adhesion testing to the study of the interlamellar strength and coating–substrate adhesion in cold-sprayed copper coating of aluminum // Surface & Coatings Technology. – 2005. – 197(1). – P. 18– 27
5. Основы расчета систем внутризаводского электроснабжения: Учебное пособие / Л.П. Сумарокова; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 119 с.