

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАСТИЧНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА

А.А. Казанцев, И.А. Косорлуков

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: kazantzev@63.ru

Рассматривается способ сокращения потерь электроэнергии в сильноточных контактных соединениях уменьшением в них переходного сопротивления путем нанесения на контактирующие поверхности электропроводящего материала. Исследуется электропроводящий материал, его состав, методика изготовления, результаты применения.

Ключевые слова: *контактное соединение, переходное сопротивление, электропроводный материал, электролиз, ошиновка.*

В настоящее время в крупных технологических установках используются многоамперные токопроводы, которые выполняются, как правило, с использованием медных или алюминиевых шин. Соединения шин между собой осуществляются либо сваркой, в результате чего получается неразборная контактная конструкция, либо с помощью болтовых соединений, которые позволяют значительно проще выполнять работы по ремонту и обслуживанию токопроводов.

В процессе эксплуатации таких контактных соединений в энергоемких технологических установках химической, металлургической промышленности в условиях повышенных температур и агрессивной среды происходит их старение за счет окисления контактирующих поверхностей, что приводит к повышению сопротивления контактного перехода [1].

Наиболее распространенными методами повышения надежности контактных соединений в настоящее время являются лужение поверхности контактного перехода, плакирование контактной поверхности, покрытие поверхности контакта различными порошками путем напыления. Лужение является наиболее распространенным способом защиты контактной поверхности от окисления под воздействием внешней среды. Лужению подвергаются как медные, так и алюминиевые шины. Помимо того, что процесс лужения требует дополнительных трудозатрат и наличия специального оборудования, отрицательным моментом является то, что после лужения контактное переходное сопротивление как медных, так и алюминиевых шин существенно увеличивается. Плакирование алюминиевых шин медным покрытием существенно снижает контактное сопротивление. Но в условиях агрессивной химической среды, например в цехах хлорного производства, плакированная поверхность часто отслаивается, что влечет за собой катастрофическое ухудшение контактного перехода. Напыление на контактные переходы алюминиевых шин медного порошка позволяет снизить переходное сопротивление и поддерживать его длительное время в стабильном состоянии. Существенным недостатком напыления является высокая стоимость этой процедуры [2].

*Александр Андреевич Казанцев, студент.
Игорь Андреевич Косорлуков, аспирант.*

Одним из способов снижения потерь электрической энергии является использование электропроводящих смазок, когда между твердометаллическими контактирующими поверхностями помещается промежуточный электропроводный материал, который позволяет значительно увеличить площадь контактирования и тем самым снизить сопротивление контактного перехода [3, 4].

Известен электропроводный композиционный углеродосодержащий материал на основе малопроводящего материала, смешанного с электропроводной углеродной добавкой (А.С. № 2398312, 2008 г.).

Но использование этого материала возможно только на малых токах и только при добавлении определенной электропроводной углеродной добавки.

Известна пластичная смазка ЦИАТИМ-221 (ГОСТ 9433-80) на основе полиорганосилоксановой жидкости 132-25, загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок.

Недостаток этого материала заключается в том, что его трибометрические свойства очень низкие, недостаточен температурный предел работоспособности (+150 °С). При его использовании в силовых контактных соединениях в условиях агрессивной среды и повышенной влажности со временем происходит окисление материала и пригорание контактных поверхностей, что приводит к повышению сопротивления контактного соединения и изменению его физико-химических свойств.

Техническим результатом исследуемого материала является повышение долговечности, термостойкости материала, улучшение его электропроводных свойств.

Технический результат достигается тем, что, используя материал на основе полиорганосилоксановой жидкости 132-25, загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок в качестве основы, в него добавляют интерметаллид $FeGa_4$, затем в полученную смесь вводят эвтектический сплав «галлий – индий – олово», а после перемешивания с порошком железным распыленным – химический и гранулометрический составы, средний размер частиц которых колеблется от 20 до 400 мкм, содержание основного металла не ниже 98...99 %, а насыпная плотность равна 2,3...2,9 г/см³, общее соотношение исходного и добавленного материалов: 60 % – исходного, 40 % – добавленного

Для создания пластичного электропроводного материала используют интерметаллид $FeGa_4$, количественное содержание металла и галлия в котором определяется по формулам:

$$\beta_{Fe} = \frac{\gamma_{Fe}}{\gamma_{Fe} + \gamma_{Ga} \cdot 4} \cdot 100\%;$$

$$\beta_{Ga} = \frac{\gamma_{Ga} \cdot 4}{\gamma_{Fe} + \gamma_{Ga} \cdot 4} \cdot 100\%,$$

где β_{Fe} , β_{Ga} – процентное содержание в интерметаллическом порошке железа и галлия;

γ_{Fe} , γ_{Ga} – атомные веса железа и галлия.

Коррозия стали в галлий-индиевом расплаве сопровождается образованием бинарного галлида $FeGa_4$ с объемноцентрированной кубической решеткой. На диаграмме состояния Fe–Ga в области с относительно небольшим содержанием галлия в зависимости от термической обработки может существовать несколько фаз (5...6). Общее соотношение в полученном электропроводном материале: 60 % – исходного, 40 % – добавленного материала.

Полученный пластичный электропроводный материал наносится на контактирующие поверхности со средней толщиной 0,2 мм.

Проведены стендовые испытания модуля контактного соединения в условиях хлорного производства при диапазоне температур 100...250 °С.

Средние значения падений напряжения по результатам 500 измерений в течение трехлетней эксплуатации для контактов размером 0,05×0,1 м и током 2 кА равны 45 мВ для площадок «медь – медь» и 64 мВ для площадок «медь – сталь». Стендовые испытания модуля контактного соединения электролизера с током нагрузки $I_H = 3000$ А показали падение напряжения на контактном соединении с применением материала ЦИАТИМ-221, которое составило $18,3 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению $R_\delta = 6,1 \cdot 10^{-6}$ Ом; после применения полученного электропроводного пластичного материала в контактном соединении падение напряжения составило $12,3 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению $R_\delta = 4,1 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Испытания показали, что при нормальной температуре переходные сопротивления болтовых медных контактов с использованием пластичного электропроводного материала близки к переходным сопротивлениям сварных контактов. Введение полученного материала в межконтактный промежуток болтовых соединений снижает переходное сопротивление в 2...4 раза. При тех же условиях снижение переходного сопротивления в паре «сталь – графит» наблюдалось в 10 раз.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов было выявлено, что использование материала на основе полиорганоцианакрилатной жидкости 132-25, загущенной кальциевым мылом стеариновой кислоты с добавлением церезина-80 и пакета присадок в качестве основы, добавление в него интерметаллида FeGa₄ и эвтектического сплава «галлий – индий – олово», перемешивание с порошком железным распыленным с общим соотношением исходного и добавленного материалов: 60 % – исходного, 40 % – добавленного позволяют снизить сопротивление сильноточных контактных соединений до 25–30 %. Таким образом, использование данного материала в межконтактных промежутках болтовых соединений позволяет существенно снизить переходное сопротивление в контактной паре «медь – медь» и «медь – сталь».

Также испытания показали, что зависимость величины переходного сопротивления от плотности токопроводящей смазки и величины затяжки болтов выражается соотношением

$$R_{пер} = f(\gamma_{см}, M_{зат}),$$

где $\gamma_{см}$ – плотность токопроводящей смазки, кг/м³; $M_{зат}$ – величина крутящего момента при затяжке болтов контактного соединения, Н·м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косорлуков И.А. Снижение потерь электроэнергии в сильноточных контактных соединениях // Материалы докладов конкурса программы У.М.Н.И.К., IV Всероссийская студенческая научная конференция «Студенческая наука и медицина XXI века: Традиции, инновации и приоритеты». – Самара, 2010. – С. 82-83.
2. Воронин А.А., Добросотских А.С., Кулаков П.А., Приходченко В.И. Повышение надежности разборных контактных соединений // Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Тезисы докладов VI Международной конф. – Крым, Украина, 2010. – С. 351.

3. Воронин А.А., Добросотских А.С., Косорлуков И.А., Кулаков П.А., Шевченко В.Б. Снижение потерь и повышение надежности силовых контактных соединений // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – №3. – 2011. – С. 62-63.
4. Воронин А.А., Кулаков П.А., Приходченко В.И. Интерметаллическое покрытие электрических контактов и токоведущих частей силовых устройств // Тезисы докладов V Международной конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологические технологии производства и утилизации изделий». – Киев, 2008. – С. 177.

Статья поступила в редакцию 1 октября 2012 г.

REDUCTION OF ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN THE HIGH-CURRENT CONNECTIONS WITH PLASTIC ELECTROCONDUCTIVE MATERIALS

A.A. Kazantzev, I.A. Kosorlukov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The way of reducing power losses in high-current connections are transient decrease in resistance by applying a conductive material contact surfaces. Investigate the electrically conductive material, composition, method of manufacture, the results of use.

Keywords: *contact connection, contact resistance, electrically conductive material, electrolysis, bracket.*