УДК 54.084

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫХ КОМПОЗИТОВ Ag/SnO_2

Леванькова А.А., Сидорак А.В.,
научный руководитель аспирант Сидорак А.В.
Сибирский федеральный университет

Любые устройства, потребляющие или передающие электроэнергию, обязательно снабжены электроконтактами. В промышленности электроконтакты широко используются в коммутационных аппаратах. Наибольшее применение нашли электроконтакты на серебряной и медной основе. Такие контакты обладают высокой электро- и теплопроводностью, механической прочностью и износоустойчивостью [1].

При создании новых материалов для электроконтактов необходимо учитывать ряд свойств, которыми они должны обладать. Так, например, материал должен быть термически, химически и механически стоек, иметь малое электросопротивление, обладать высокими теплопроводностью, эрозионной стойкостью при воздействии электрической дуги, сопротивляемостью к свариваемости при замыкании и размыкании контактов [2].

На протяжении этапов разработки электроконтактов в материаловедческой лаборатории требуется производить оперативную оценку их основных функциональных свойств. Одной из важнейших характеристик контактов является электропроводность. Для лабораторных измерений электропроводности обычно используют специально изготовленные для данной группы материалов установки с требуемыми техническими характеристиками. При тестировании электроконтактных материалов на серебряной и медной основе возникает потребность в установке, позволяющей производить измерения на образцах с высокой электропроводимостью. Целью представленной работы является апробация стенда по измерению электропроводности на образцах электроконтактов, изготовленных в лаборатории.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема стенда для измерения электропроводности высокопроводящих материалов. Принцип работы данной установки основан на использовании двухзондового метода.

Установка состоит из измерительной и управляющей части (DI и DO, источник постоянного тока, балластный реостат R2 и эталонный резистор R1), а также печи сопротивления с источником питания. DI производит оцифровку данных, поступающих с термопары, величины падения напряжения на R1, из которого вычисляется ток, протекающий через образец, и падения напряжения на самом образце. Балластный реостат R2 служит для изменения тока, протекающего через образец и обеспечения гальваностатических условий в электрической схеме. DO выполняет роль управляющего устройства, которое производит управление нагревом печи через реле CM1.

Основные технические характеристики стенда:

1. Измерение падения напряжения на образце с точностью 0,01 мВ.
2. Измерение тока с точностью до 10 мкА.
3. Регулируемое значение тока в диапазон – 0,001-10А.
4. Контроль температуры образца с точность до 0,1К.
5. Возможность измерения электрического сопротивления в диапазоне температур от 297К до 773К.
6. Вывод информации – на компьютер с возможностью задания временного шага записи измерений в файл данных. Интерфейс сопряжения с компьютером – RS232.

7. Файл данных – совместимый с программой «MS Excel», в которой производится обработка результатов.

Управление установкой осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения, которое позволяет задавать температурные и временные режимы измерения, отображать и сохранять поступающие данные.

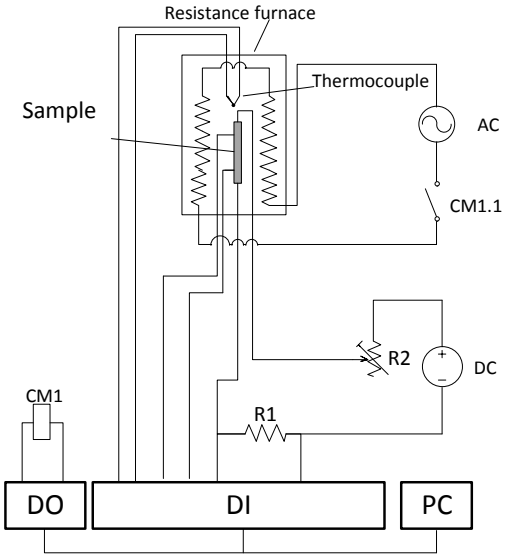


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема стенда для измерения электропроводности металлических материалов

Установка была апробирована на порошковом электроконтактном композите Ag/SnO_2, с содержанием оксидной фазы 3, 5, 7, 10%. Образцы изготовлены авторами в лаборатории «Композиционных электропроводящих материалов» ИЦМиМ СФУ методами порошковой металлургии. Измерения проводили на прямоугольных образцах правильной формы размером 2×7×25 мм при температуре 298 К.

Расчет удельного сопротивления проводили с поправкой на остаточную величину пористости (которая находилась, как правило, в пределах 5-6%) по формуле Оделевского [1]:

$$\rho_о = \rho_и(1 - 1{,}5 \cdot \theta_д), \quad (1)$$

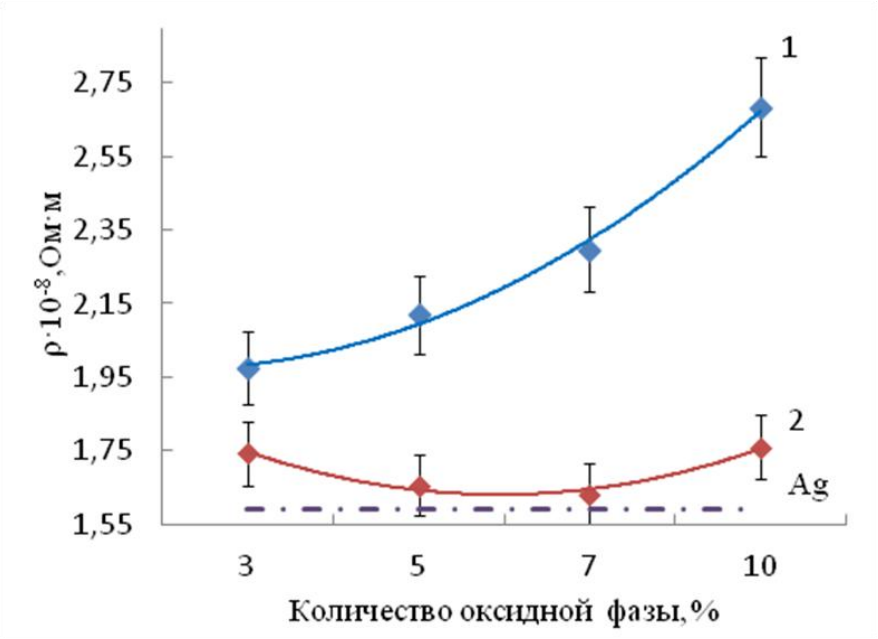
где $\rho_о$ – значение удельного сопротивления с учетом пор в образце (измеряемое значение), Ом·см; $\rho_и$ – значение удельного сопротивления без учета пор в образце, Ом·см; $\theta_д$ – объемная доля пор в материале. Величину $\theta_д$ вычисляли на основании значений плотности и теоретической плотности материала. Значение $\rho_и$ рассчитывали по формуле [3]:

$$\rho = \frac{U \cdot S}{I \cdot r}, \quad (2)$$

где I – значение электрического тока, пропускаемого через образец, А; U – разность потенциалов между измерительными зондами, В; S – площадь поперечного сечения образца, м^2; r – расстояние между зондами, м. Оценка сопротивления проведена с 5% относительной ошибкой.

На рисунке 2 представлена экспериментальная зависимость удельного сопротивления композита Ag/SnO_2 от содержания оксидной фазы в образцах. Можно отметить, что введение оксида олова вызывает закономерный рост удельного сопротивления (кривая 1), так как SnO_2 является низкопроводящим фазовым компонентов относительно серебряной матрицы композита. Литературные данные по удельному сопротивлению беспористого

промышленного композита Ag/SnO_2 с содержанием оксидной фазы 12%, получаемого горячей экструзией, составляет 2,27 10^{-8}Ом·м [4]. То есть, наши результаты вполне сопоставимы с опубликованными. Однако полученные нами электроконтакты имеют более высокое значение сопротивления, что объясняется методикой получения, вследствие чего, у материалов различается микроструктура. Известно, что применение горячей экструзии позволяет получать более плотный материал, с меньшей дефектностью структуры, что и является причиной различия удельного сопротивления.



1 – удельное сопротивление образцов;
2 – расчетное удельное сопротивление серебряной матрицы композита
Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления
от количества SnO_2

Дисперсные включения диоксида олова можно, по-видимому, рассматривать как «поры», которые учитываются в соответствии с формулой Оделевского. Результаты, описываемые зависимостью 2, рассчитаны из очевидного предположения, что оксидная фаза не взаимодействует с металлическим серебром. Из полученной зависимости видно, что расчетная величина удельного сопротивления, представляющего собой, по-существу, удельное сопротивление матрицы, закономерно близка к значению чистого серебра (ρ_{Ag}=1,59 мкОм·см, изображено пунктирной линией). Таким, образом, измерения подтверждают справедливость предположения: оксидная фаза SnO_2 в серебряной матрице играет роль инертных включений, снижая электропроводность композита.

Основываясь на изложенных результатах, можно заключить, что представленный стенд и методика измерения позволяют проводить оперативное тестирование удельного сопротивления высокопроводящих материалов с достаточной для этих целей точностью.

Список литературы:

1. Иванов, В.В. Физико-химические основы технологии и материаловедение порошковых электроконтактных композитов/ В.В. Иванов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 234 с.
2. Раховский, В.И. Разрывные контакты электрических аппаратов / В.И. Раховский, Г.В. Левченко. – М.: Энергия, 1966. – 295 с.
3. Павлов, Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов / Л.П. Павлов. – М.: Высшая школа, 1975. – С. 5–29.
4. Röhberg J., Honig T., Witulski N., Finkbeiner M., Behrens V. “Performance of Different Silver / Tin Oxide Contact Materials for Applications in Low Voltage Circuit Breakers”, 55th IEEE Holm Conference, 14 – 16 September 2009, Vancouver, British Colombia, Canada, 2009. – pp. 187-194.