

СТЕНД ДЛЯ ЭРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ РАЗРЫВНЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТОВ

**Сидорак А.В., Котляров И.Н., Шубин А.А.,
научный руководитель доктор техн. наук Иванов В.В.
Сибирский федеральный университет**

При разработке новых материалов важна возможность оперативного лабораторного тестирования их основных функциональных свойств. В частности, для материалов разрывных электроконтактов важнейшая характеристика – сопротивление износу под воздействием электрической дуги (электроэрозионная стойкость, ЭЭС). Она является одной из основных причин нарушения коммутационной способности контактных пар, особенно в низковольтной аппаратуре (контакторы, магнитные пускатели, реле). Однако серийно выпускаемое лабораторное оборудование для оценки ЭЭС отсутствует и поэтому исследователи пользуются установками собственного изготовления. Известен ряд публикаций [1-5], описывающих установки, которые имеют свои особенности, рабочие режимы, предпочтительные области применения. Авторы данной работы предлагают вниманию свой автоматизированный стенд для лабораторной оценки эрозионной стойкости электроконтактных материалов.

Основное назначение стенда: контроль переходного падения напряжения на работающей контактной паре (в присутствии «слоев наработки»), оценка ЭЭС, а также стойкости против сваривания в процессе повторяющихся циклов включения-отключения (В-О). Стенд в определенной степени имитирует работу контактора переменного тока и имеет общую схему, подобную описанной [1]). Упрощенная принципиальная электрическая схема стенда приведена на рисунке 1. Функционально и конструктивно стенд состоит из 3-х частей: силового блока, электромеханического устройства замыкания-размыкания испытуемых контактных элементов с датчиками температуры и разрывных усилий, блока электроники и управляющего комплекса.

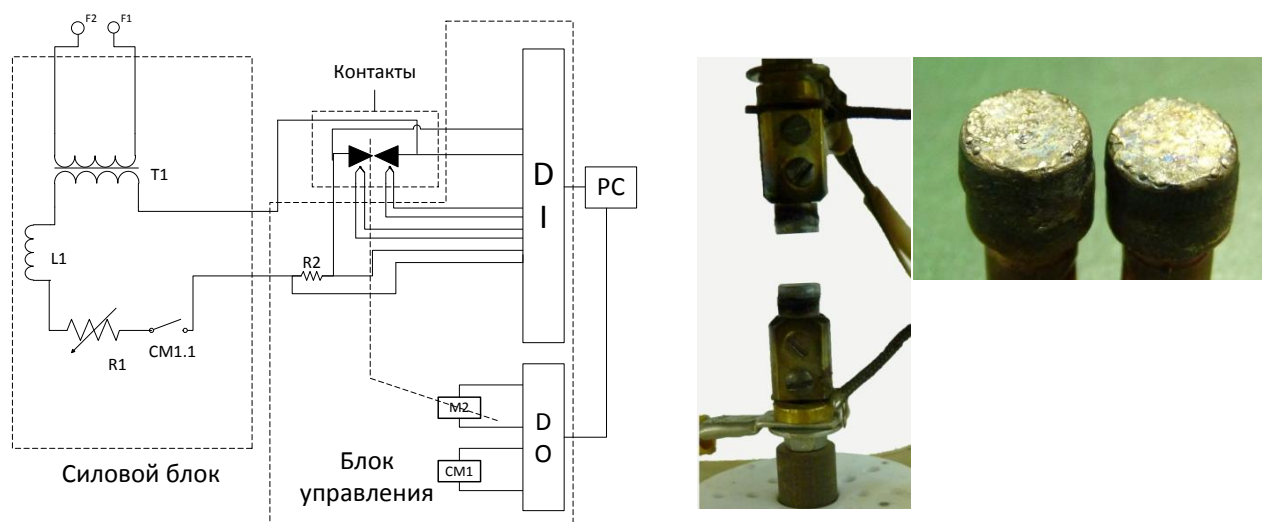


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема стенда, устройство контактного узла и вид пары контактов на держателях после испытаний

Силовой блок включает разделительный трансформатор Т1 380/380 30А, балластный дроссель L1 с индуктивностью 30 мГн на номинальный ток 30А и балластный реостат R1 для регулировки тока. Контактор CM1 отключает ток, подаваемый на контакты.

Блок электроники включает сопротивление R2, по падению напряжения на котором определяется величина тока через испытываемую контактную пару. Электромагнит M1 служит приводом для замыкания и размыкания контактной пары, перемещая подвижный контакт. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) состоит из 3 модулей (фирма ADAM) служащих для измерения напряжения, температуры и сигнала от тензодатчика, с помощью которого определяется усилие прижима и разрыва контактов. ЦАП представляет собой модуль дискретного вывода (ADAM).

В комплект стенда входит также управляющий комплекс на основе персонального компьютера, что делает установку автономной системой, реализующей режим повторяющихся циклов замыкания-размыкания контактной пары, в процессе которых производится контроль переходного сопротивления тестируемых образцов (с задаваемой периодичностью), температуры перегрева испытываемых контактов (непрерывно), усилий замыкания и отрыва при работе контактной пары. Управление стендом, контроль и запись параметров производится с помощью специализированного программного обеспечения (ПО), разработанного для данной установки. ПО позволяет управлять, задавать параметры процесса, записывать и сохранять показания, снимаемые с датчиков и отключать установку по окончании испытания или в случае превышения заданных параметров (например, перегрева контактных элементов выше температуры, определенной заданием).

Основные технические характеристики стенда

1. Типоразмер контакт-деталей из тестируемого материала – ПП0820 (ГОСТ 3884-77).
2. Испытательное напряжение на контактах – переменное, 380 В, 50 Гц.
3. Род тока – переменный, номинальный испытательный ток от 15 до 30 А.
4. Коэффициент мощности φ – изменяемый в пределах 0,3-1.
5. Замыкание – электромагнитом. Размыкание – пружиной с регулируемым усилием (пределы усилия – близкие к паспортным данным для соответствующих контакторов переменного тока; залипание контактов при определенном усилии пружины свидетельствует об определенном уровне склонности материала к свариванию);
6. Межконтактное расстояние – регулируемое, диапазон 0...15 мм;
7. Частота срабатываний вкл/откл (В-О) – программно-регулируемая, до 10 Гц;
8. Суммарное число n рабочих циклов В-О в конкретном испытании – программно-регулируемое; отключение автоматическое по достижении заданного числа рабочих циклов;
9. Работа механической контактной системы (В-О) происходит, как при включенной цепи переменного тока, так и без рабочего тока.
10. Включение цепи переменного тока производится при разомкнутых контактах, или одновременно с включением электромагнита;
11. Измерение переходного сопротивления $R_{п}$ – на переменном токе; Порядок измерения $R_{п}$: автоматически, через заданное число рабочих циклов В-О, после нескольких «холостых» циклов В-О, как средняя величина из нескольких измерений (разброс измеряемых значений также фиксируется);
12. Вывод информации – на компьютер с записью измерений в файл данных, совместимый с программой «MS Excel», в которой производится обработка результатов; временной шаг сохранения данных – от 1 с (программно-изменяемый); Интерфейс сопряжения с компьютером – RS232;
13. Измерение эрозионного износа производится путем контроля изменения массы Δm контактных элементов с держателями на аналитических весах до и после испытаний (Δm вычисляется как средняя величина на пару контактов);
14. Усилие прижима контактов – около 15-20 Н.

15. Продолжительность включения (ПВ) – до 20%, программно-изменяемая.

Величина ПВ определяется степенью перегрева контактных элементов: низкий испытательный ток позволяет задавать более высокое значение ПВ. Авторы [6] приводят величину ПВ = 10% при токе 90 А. Через каждые 25-100 рабочих циклов В-О измеряется переходное сопротивление, общее число циклов в конкретном тесте составляет обычно до $n=10000$, что достаточно для оценки эрозионной стойкости, в особенности, не оптимизированных материалов.

На рисунках 2-4 представлены экспериментальные зависимости, полученные с использованием описываемого стенда, для порошковых электроконтактов из чистого серебра в сравнении с промышленным материалом СОК-15 (Ag/CdO 15%). Результаты наглядно демонстрируют существенное положительное влияние добавки оксида кадмия на эрозионную стойкость разрывных электрических контактов: отличие составляет более порядка величины. Наблюдения (в том числе визуальные, рисунок 1) показывают, что после ~1000 циклов В-О вся рабочая поверхность контактов обработана дугой. Этим объясняется резкий начальный подъем величины износа, свежей поверхности Ag-контактов. Обработанная дугой поверхность имеет, так называемый, слой наработки, упрочненный оксидами, закалкой. Наличие этого слоя приводит далее к линейной зависимости изнашивания с ростом числа циклов В-О до определенного предела.

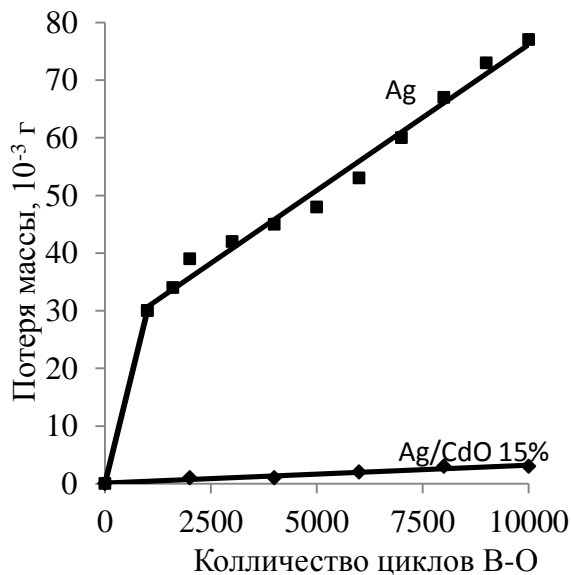


Рисунок 2 – Потеря массы электроконтактов с ростом числа В-О

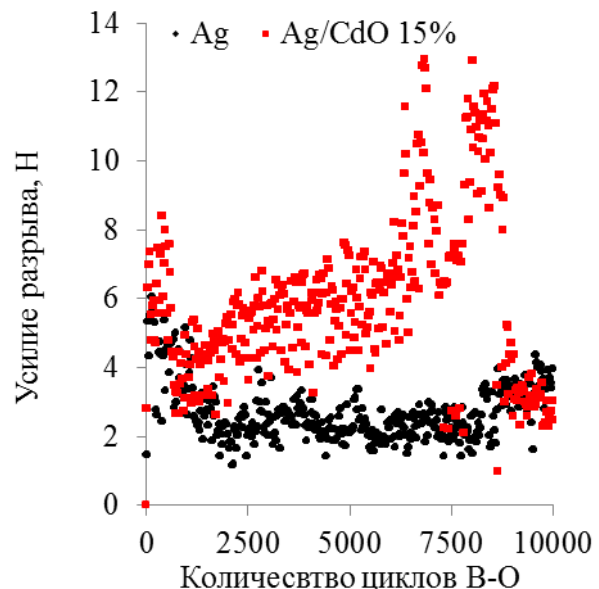


Рисунок 3 – Усилие разрыва электроконтактов с ростом числа циклов В-О

На рисунке 3 приведены значения усилия разрыва электроконтактов, оно отражает склонность к свариванию электрических контактов. Значение усилия разрыва для серебряных электроконтактов, уменьшается примерно к 1000 циклов В-О, что объясняется приработкой поверхности электроконтактов. В отличие от Ag контакты СОК-15 имеют более высокое значение усилия разрыва (Ag ~3Н, СОК-15 ~6Н).

На рисунке 4 представлены вариации переходного сопротивления $R_{п}$ от количества циклов В-О. Видно, что на паре из серебра величина $R_{п}$ возрастает после первых десятков циклов и далее колеблется около значения 0,012-0,015 Ом. Значение переходного сопротивления СОК-15 колеблется около $R_{п} = 0,003$ Ом, что значительно ниже значения для чистого серебра, хотя удельное сопротивление композита значительно выше [7]. Более низкое переходное сопротивление для контактов СОК-15, по-видимому, обеспечивается большей склонностью к свариванию, что влечет за собой лучший электрический контакт электроконтактов в отличие от серебряной пары.

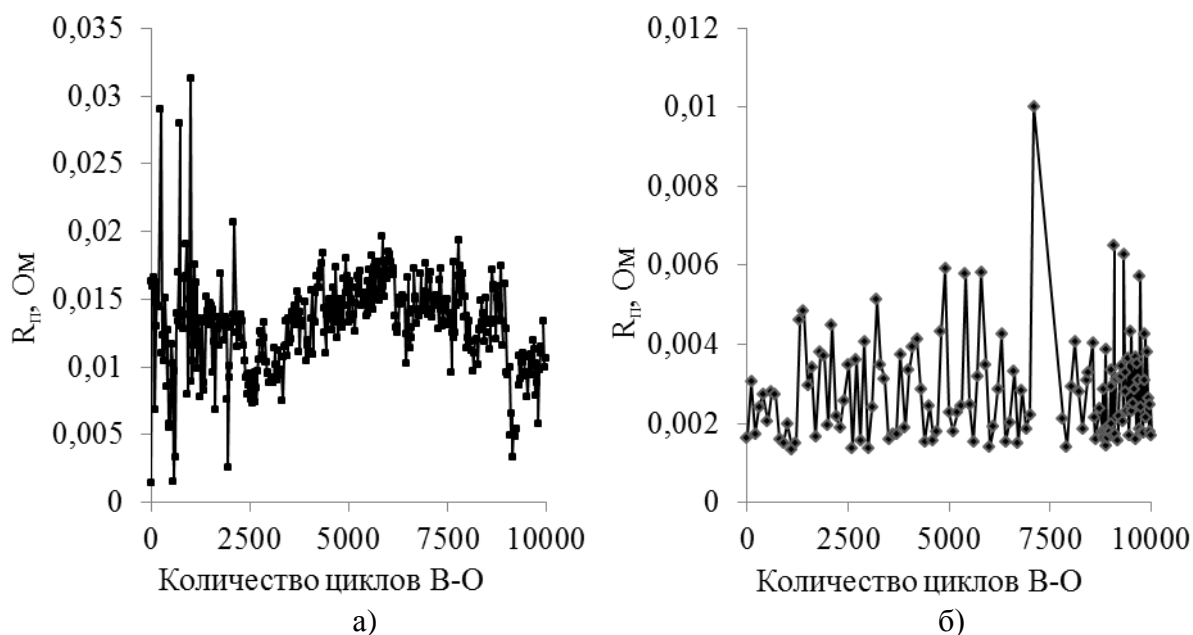


Рисунок 4 – Зависимость переходного сопротивления в симметричной контактной паре от количества циклов В-О; а – Ag, б – Ag/15CdO

Таким образом, представленный стенд позволяет проводить оперативную аттестацию разрабатываемых электроконтактных материалов по основным функциональным свойствам с целью внесения корректирующих изменений в химический и фазовый состав материала и технологию его изготовления. Установка апробирована на ряде серийных промышленных электроконтактных композитах, получены соответствующие зависимости для сравнения.

Список литературы:

1. Калихман В.Л., Бабкин В.Н., Гладченко Е.П., Богданов А.А., Яшина Н.О. Установка для ускоренных испытаний электрических контактов. //Порошк. металлургия. 1984. № 5. С. 90-93.
2. Guerlet J.P., Ladenise H., Lambert C. A simple testing machine for the evaluation of the main electrical properties of contact materials. //Electrical contacts-1984. P. 525-530.
3. H. Makoto, Y. Yuta, "Analysis of Contact Resistance Data with Weibull Distribution Function" 54th IEEE Holm Conference, 27-29 October 2008, Orlando, FL, USA, 2008. – pp. 344-349.
4. C. H. Leung, E. Streicher, D. Fitzgerald "Weibull Analysis of Switching Contact Resistance in Laboratory and Commercial Circuit Breakers", 53th IEEE Holm Conference, 16 - 19 September 2007, Pittsburgh, PA, USA, 2007. – pp. 56-62.
5. D. Li, Z. Song, J. Wang, Y. Geng, H. Chen, L. Yu, B. Liu, "A Method for Residential Series Arc Fault Detection and Identification," 55th IEEE Holm Conference, 14 – 16 September 2009, Vancouver, British Columbia, Canada, 2009. – pp. 7-12.
6. E. Streicher, C. Leung, D. Fitzgerald "Arc Affected Surface Composition Changes in Silver Tin Oxide Contacts", 54th IEEE Holm Conference, 27-29 October 2008, Orlando, FL, USA, 2008. – pp. 301-307.
7. 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 Columbia, Canada, 2009. – pp. 187-194.