

УДК 621.382

*Н.М. Анитов, А.С. Арефьев, Г.П. Гололобов*

## О ВОЗНИКНОВЕНИИ МИКРОРАЗРЯДОВ В ГЕРКОНАХ

*Проведено исследование переходного процесса в герконах при размыкании их электродов. Получены результаты, характеризующие стадии развития разряда (микродуги) в микрозазоре геркона. Появление неустойчивости момента размыкания в контактах может служить признаком износа контактных поверхностей. Показано, что длительность первой стадии контактной микродуги может служить инструментом для выявления грубых дефектов на контактных поверхностях.*

**Ключевые слова:** геркон, контактная поверхность, переходные процессы, микродуга, газоразрядный промежуток.

**Введение.** Одной из многочисленных причин появления отказов в герконах являются переходные процессы, протекающие при коммутации различного рода электрических цепей. В момент появления переходного процесса электроды (контакт – детали) геркона подвергаются повышенным нагрузкам. Поскольку электроды находятся под напряжением и в газовой среде, то создаются все условия для возникновения и протекания газового разряда в этом промежутке.

Целью данной работы является исследование переходного процесса в герконах при размыкании их электродов.

**Теоретические и экспериментальные исследования стадий развития разряда в микрозазоре геркона.** Переходные процессы в герконах наступают в моменты замыкания и размыкания цепи. При рассмотрении контакт – деталей герконов под микроскопом видно, что в замкнутом состоянии ввиду их достаточно шероховатой поверхности они соприкасаются друг с другом лишь в отдельных участках, проводящих ток. В ходе коммутации шероховатых контактных поверхностей плохо прирабатывается площадка, через которую осуществляется прохождение тока. Технология нанесения гальванопокрытия герконов достаточно сложна. Небольшие значения толщин исключают возможность получения беспористого покрытия, а также снижения шероховатости поверхности в процессе осаждения. Контролируемое получение гальванопокрытий малых толщин (до 1,5 мкм) с требуемыми характеристиками поверхности в настоящее время остается трудной задачей. Состояние поверхности покрытия в основном определяется:

- материалом покрытия и основы,
- обработкой поверхности основы,

- толщиной покрытия,
- режимом осаждения.

Материалы гальванопокрытия и основы контакта выбираются исходя из особенностей конструкции геркона. Рассмотрим подробнее влияние остальных условий.

При нанесении гальванопокрытий малых толщин обработка основы имеет определяющее воздействие на микрорельеф поверхности осадка. В данном случае шероховатость контактной поверхности, в основном, обусловлена шероховатостью исходной поверхности. Незначительная толщина покрытия не позволяет выровнять поверхность за счет изменения условий осаждения. К тому же углубления, борозды, межзеренные границы исходной поверхности из-за неравноступенности в диффузионном отношении выступают и впадин создают условия для зарождения дефектов покрытия (пор и непокрытых участков). Режим осаждения в меньшей степени, чем толщина и подложка, влияет на состояние поверхности гальванопокрытия. Но в производстве герконов толщина покрытия контакт– детали ограничена конструктивной особенностью прибора, а значительное улучшение качества обработки поверхности железоникелевой основы контакта в промышленных условиях является непростой задачей. Поэтому подбор оптимального режима (параметров режима) нанесения покрытия может оказаться полезным для совершенствования качества контактирующей поверхности герконов. При совершенствовании технологии изготовления герконов возрастают требования к качеству поверхности контактного покрытия. Ранее определение шероховатости поверхности наносимого гальванопокрытия в основном сводилось к выявлению крупных вы-

ступов и впадин, заусенцев, раковин с помощью оптической и электронной микроскопии, а также профилометров. Возросшие требования к качеству поверхности покрытия обуславливают необходимость более объективно, с позиций современной науки о поверхности характеризовать микрорельеф покрытий. Для этого при исследовании микрорельефа нужно проводить измерение сразу нескольких параметров, таких как перепад высот ( $R_{max}$ ), шероховатость ( $R_a$ ), среднеквадратичное отклонение ( $R_q$ ) и т.д.

При размыкании контакт – детали расходятся и, следовательно, у них остается все меньше токопроводящих участков. Сопротивление токопрохождению возрастает. Возрастает и выделяющееся в них джоулево тепло. Оно расплавляет участки токопрохождения, а ввиду дальнейшего расхождения контакт – деталей на расплавленных участках образуются так называемые «жидкие мостики», которые при дальнейшем возрастании температуры испаряются, образуя плотное облако пара с внутренним давлением по ориентировочным оценкам [1] порядка 100 атм. При нахождении такого металлического пара в электрическом поле в нем происходит термическая ионизация [1] и образуется плазма газового разряда (микродуга), которая обеспечивает дальнейшее токопрохождение. Степень ионизации в такой плазме по грубой оценке [2] достигает 40 %. Высокое внутреннее давление пара и плазмы ведет к разлету металлического облака. Постепенно давление в нем падает настолько, что токопрохождение нарушается.

Типичная осциллограмма напряжения на контакт – деталях в момент размыкания представлена на рисунке 1. Здесь можно выделить четыре характерных участка: участок  $t_1$  соответствует замкнутому состоянию контакт – деталей, участок  $t_2$  – разомкнутому состоянию, первую стадию микродуго  $\tau_1$  – от момента разъединения контакт – деталей до первого всплеска напряжения и последующую стадию  $\tau_2$  – от всплеска напряжения до окончательного погасания микродуго.

Микродугой этот вид разряда в микрозазоре называют ввиду малого падения напряжения на газоразрядном промежутке.

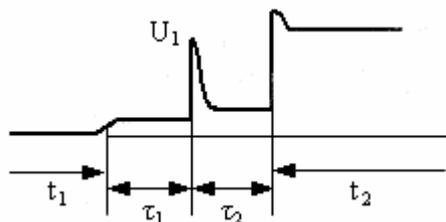


Рисунок 1 – Осциллограмма напряжения на контакт-детали в момент размыкания геркона

Падение напряжения в микродуге на стадиях  $\tau_1$  и  $\tau_2$  примерно одинаково – от 1 до 2 В с возможными колебаниями в пределах 1 В. Как показали предварительные измерения, на последовательности срабатываний в неизменном режиме длительность первой стадии  $\tau_1$  обладает большей стабильностью, чем длительность второй стадии  $\tau_2$  ( $\tau_2$  спонтанно изменяется от 0 до максимального значения). Кроме того, длительности стадий  $\tau_1$  и  $\tau_2$  связаны существенно различными зависимостями с основными электрическими параметрами режима коммутации. Это указывает на различную физическую природу стадий микродуго  $\tau_1$  и  $\tau_2$  и обуславливает целесообразность раздельного рассмотрения этих стадий.

Достаточная стабильность параметров первой стадии микродуго позволяла осуществлять непосредственное измерение этих параметров с помощью осциллографа. Осциллографическое исследование проводилось по электрической схеме, представленной на рисунке 2. Питание цепи геркона осуществлялось от источника постоянного напряжения УИП-2 с регулировкой напряжения от 10 В до 300 В. В качестве нагрузки использовались сопротивления типа ПЭВ, имеющие значительную индуктивную составляющую. Управляющая катушка геркона питалась прямоугольным импульсом от генератора Г5-6А, обеспечивающим регулировку длительности и частоты управляющих импульсов в широких пределах. Напряжение с положительной контакт – детали геркона подавалось на диодный ограничитель  $R_2 - D_1 - E_1$ , который «обрезал» подаваемый на вход осциллографа сигнал на уровне, соизмеряемом с напряжением  $U_1$ . Это позволило применить такое усиление, которое обеспечивало достаточное разрешение для измерения на экране осциллографа напряжений, соизмеримых с  $U_1$  (т.е. порядка долей вольта). Запуск развертки осциллографа осуществляли задним фронтом управляющего импульса.

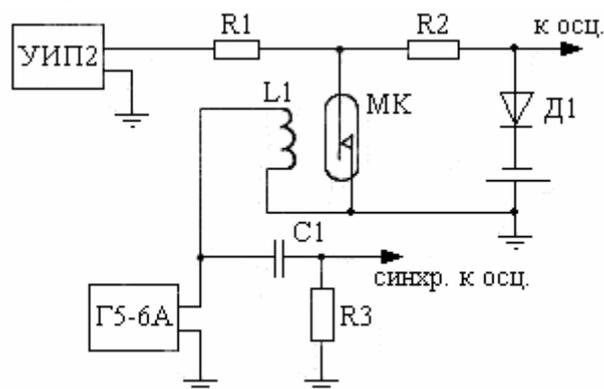
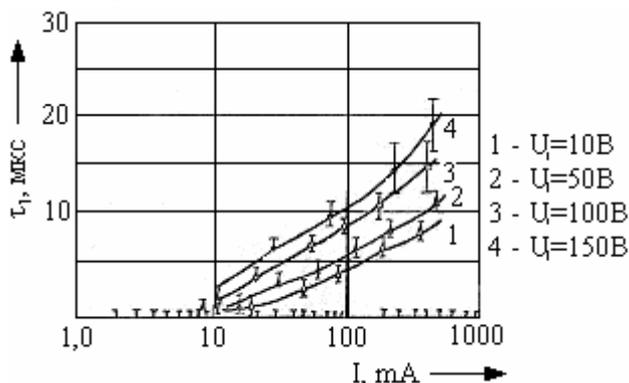


Рисунок 2 – Электрическая схема для исследования параметров режима коммутации герконов

Основные характеристики, которые фиксировались в измерениях: длительность первой стадии дуги  $\tau_1$  и максимальное напряжение разрыва  $U_1$ . На рисунке 3 представлены зависимости этих характеристик от величины коммутируемого тока для герконов с родиевым и золотым покрытиями.



**Рисунок 3** – Зависимости длительности первой стадии дуги  $\tau_1$  и максимального напряжения разрыва  $U_1$  от величины коммутируемого тока для герконов с родиевым и золотым покрытиями

Как видно из графиков, длительность первой стадии микродуги монотонно увеличивается по мере возрастания коммутируемого тока, в то время как напряжение размыкания в зависимости от тока  $I$  имеет тенденцию к насыщению, которое достигается на уровне 2 В уже при токах в десятки миллиампер. Отметим, что для золоченых поверхностей напряжение разрыва в 1,5 – 2 раза ниже, чем для родиевых при идентичной конструкции геркона и одинаковом коммутируемом токе. Также и длительность микродуги для золоченых контактов несколько короче, чем для родиевых.

Ввиду прямолинейного хода зависимости  $\tau_1$  от логарифма коммутируемого тока зависимость аппроксимируем выражением

$$\tau_1 = C \cdot \lg\left(1 + \frac{I}{I_0}\right),$$

где  $I_0$  – предельный (минимальный) ток контактной микродуги.

Необходимо отметить, что все приведенные выше количественные результаты получены на герконах с малой степенью износа контактных поверхностей.

При появлении же дефектов поверхностей в процессе срока службы или при наличии исходных дефектов контакт – деталей осциллографическая картина размыкания претерпевает заметные изменения:  $\tau_2$  может увеличиться в 2 и более раз, в некоторых случаях увеличивается и  $U_1$ . Особенно заметно степень износа и дефекты контактных поверхностей проявляются в воз-

никновении (или резком увеличении) нестабильности момента размыкания.

В случае значительной эрозии (например, полного уничтожения покрытия или образования наростов) эта нестабильность может составить 40 – 60 мкс для золотых и 10 – 15 мкс для родиевых.

Таким образом, появление нестабильности момента размыкания в контактах может служить признаками износа контактных поверхностей.

Снимая характеристику первой стадии микродуги на произвольно отобранной партии герконов одного типа, можно встретить характеристики, значительно отличающиеся от приведенных выше. Наиболее часто встречающееся отличие выражается в значительном превышении длительности  $\tau_1$  (особенно при малых токах порядка 2 – 10 мА) над значениями, вытекающими из приведенной выше эмпирической формулы.

В процессе исследования было установлено, что появление проводимости в период паузы приходится на моменты максимального сближения электродов при существовании их собственных колебаний. На основании этого было сделано предположение, что проводимость в период паузы обусловлена наличием острых дефектов на контактных поверхностях, которые при приближении электродов могут стать центрами автоэлектронной эмиссии. Поскольку в таких герконах всегда наблюдается аномальная характеристика  $\tau_1 = f(I)$  (т.е. резко завышенные значения по сравнению с вытекающими из эмпирической формулы), то естественно было ожидать определенной связи  $\tau_1$  с дефектами поверхности.

Для проверки этого предположения несколько герконов с завышенными значениями  $\tau_1$  были вскрыты и рассмотрены под микроскопом. Результаты этого анализа подтвердили сделанные предположения. В герконах с нормальной характеристикой  $\tau_1 = f(I)$  названные дефекты не обнаружены.

**Заключение.** Таким образом, характеристика переходного процесса в герконе – длительность первой стадии контактной микродуги – служит инструментом для выявления грубых дефектов на контактных поверхностях. Такие дефекты повышают вероятность преждевременного выхода приборов из строя, хотя на стандартных параметрах могут и не сказаться.

#### **Библиографический список**

1. Мирдель Г.И. Электрофизика. – М.: Мир, 1972.
2. Раховский В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. – М.: Наука, 1970.