

МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ ПЕРМАЛЛОВЫХ КОНТАКТОВ ИМПУЛЬСНЫМИ РАЗРЯДАМИ

**И.А. Зельцер, С.М. Карabanов, д.т.н., Р.М. Майзельс, доктор электротехники,
Е.Н. Моос*, д.т.н., В.А. Саблин**

390027, ул. Новая 51В, Рязань, Россия, ОАО «РЗМКП»

*390000, ул. Свободы 46, г. Рязань, Россия,

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина

Проведены сравнительные испытания герконов МКА-14103 и МКА-14108, обработанных низко- и высоковольтными импульсными разрядами. Дано экспериментальное обоснование возможности создания герконов с модифицированной контактной поверхностью (вместо гальванопокрытия).

Comparison tests of reed switches МКА-14103 and МКА-14108 processed by low- and high-voltage pulsed discharges have been carried out. Experimental grounds to produce reed switches with a modified contact surface (instead of electroplating) are given.

Надежность коммутационных возможностей герконов в значительной мере определяется качеством работы контактных пружин. Износостойкость, величина и стабильность переходного сопротивления связаны с конструкцией и материалом контактов.

Контакты современных герконов изготавливают из пермаллоя и покрывают гальваническим способом для уменьшения износа (повышение сопротивления к коррозии и эрозии) благородными металлами, большей частью золотом, родием и рутением.

Отказ от применения благородных металлов и методов их осаждения, а также отказ от неоправданно высокой универсальности выпускаемых герконов может позволить производить изделия с конкурентоспособным соотношением цены-качества.

Целью работы является экспериментальное исследование возможности изготовления герконов с модифицированной пермалловой контактной поверхностью (вместо гальванопокрытия из драгметаллов).

Образцами являлись герконы МКА-14108, конструктивно выполненные на базе серийных приборов МКА-14103. Основная отличительная особенность этих герконов по сравнению с серийными приборами заключалась в отсутствии каких-либо специальных покрытий на пермалловых контактах. Контактные пружины штамповались из проволоки, обезжиривались и отжигались в атмосфере азота. В качестве газового наполнения при герметизации использовались спектрально чистые (99,999%) азот и аргон.

Обработка контактных поверхностей проводилась низко- и высоковольтными импульсными разрядами.

Низковольтные разряды ($U = 10 - 20$ В) образовывались при вакуумном пробое на малых межэлектродных промежутках ($d < 1$ мкм) в процессе автоматических колебаний контактных пружин, возбуждаемых специально изготовленным по схеме [1] генератором. Частота следования разрядов достигала 10 кГц. Полярность электродов изменялась с частотой 50 Гц.

Инициирование вакуумного пробоя обусловлено присутствием на поверхности катода отдельных микрон неоднородностей, которые имеют форму микрокристаллов (вискеров) высотой порядка единиц мкм, и интенсивной электронной эмиссией. Вначале происходит авто- затем термо- и, наконец, развивается аномальная термоэлектронная эмиссия [2]. Вследствие высокой плотности тока происходит испарение микровыступов на катоде, образуется катодный плазменный факел, а затем, вследствие десорбции, стимулированной электронными возбуждениями, происходят испарения материала анода, и образуется анодный плазменный факел [3]. В результате в «вакуумном» зазоре образуется плазменный

канал с высокой проводимостью, а на поверхности обоих контактов – эрозийные лунки, глубина которых составляет десятые доли микрона, диаметр – несколько микрон. При увеличении количества разрядов происходит перекрытие близкорасположенных лунок, и на поверхности контактных пружин появляется оплавленная область площадью около $100 \times 100 \text{ мкм}^2$ за 1-5 с обработки, по которой и происходит контактирование. В результате испарения загрязнений и сглаживания микровыступов в оплавленной области переходное сопротивление геркона уменьшается.

Высоковольтные разряды ($U \sim 1 \text{ кВ}$) инициировались на разомкнутых контактах геркона ($d = 20\text{-}30 \text{ мкм}$) искровым течеискателем «Тесла». В этом случае модификация поверхности происходит в результате ионного воздействия.

Известно [4], что главный эффект действия коррозии и загрязнений на электрические контакты заключается в нарушении проводимости, поэтому сопротивление контактов этим процессам может характеризоваться числом замыканий, при котором наступает нарушение проводимости. Сопротивление контактов эрозии может также характеризоваться числом замыканий, при котором наступает неразмыкание контактов.

Экспериментальные образцы герконов (после обработок низко- и высоковольтными разрядами и без таковых, с азотным и аргоновым газовыми наполнениями) и приборы МКА-14103 подвергались сравнительным коммутационным испытаниям. Испытания проводились на активную нагрузку и в режиме холостого хода.

Состояние поверхности контактов контролировалось методами оптической микроскопии, оже-электронной спектроскопии и по величине электрического сопротивления геркона R .

Это позволило оптимизировать режимы модификации низко- и высоковольтными разрядами поверхности контактных пружин экспериментальных образцов и изучить физические процессы, происходящие при этих обработках и коммутации контактов.

Сравнительные коммутационные испытания показали, что наработка опытных герконов, предварительно обработанных низковольтными разрядами, соответствует требованиям, предъявляемым к долговечности серийных приборов [5]. Однако у опытных образцов герконов после окончания коммутационных испытаний в микрорежимах наблюдается рост R по сравнению с его начальным значением.

Для выяснения причин этого роста были проведены испытания опытных образцов герконов и серийных приборов без нагрузки (на холостом ходу). Количество коммутаций изменялось поэтапно: $0, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7$ соударений. На каждом этапе испытаний герконов измерялась величина R (рис. 1). Изменения морфологии поверхности контактов в зависимости от количеств коммутаций изучались в металлографическом микроскопе (рис. 2).

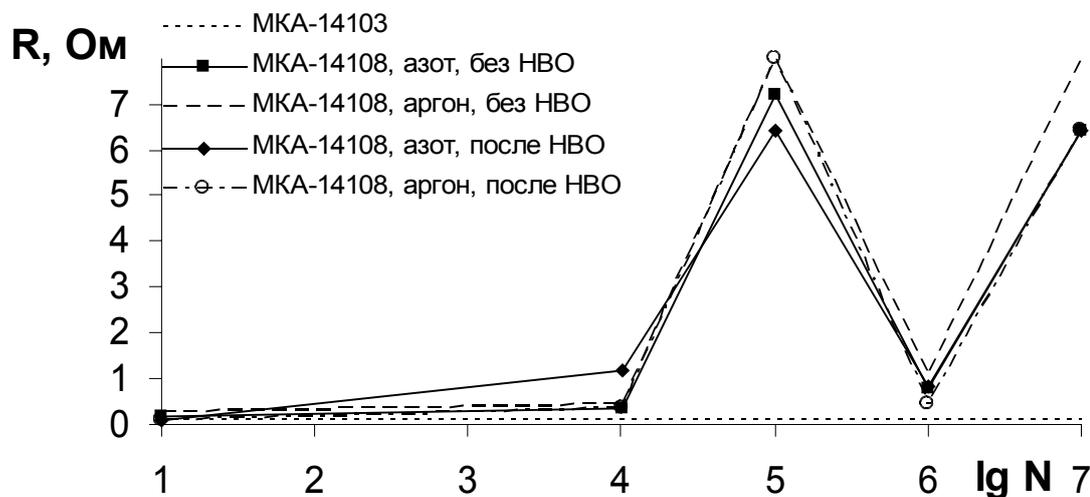


Рис. 1. Зависимость сопротивления геркона R от количества срабатываний N на холостом ходу (НВО – низковольтная обработка)

При количестве коммутаций 10^4 на поверхности контактов герконов без специальных покрытий, независимо от состава газового наполнения, в области контактирования появляются черные пятна. Это продукты термического разложения полимерных пленок, образующихся в процессе коммутаций из адсорбированных на поверхности контактов углерода, кислорода и водорода. Основным строительным материалом пленок является углерод. Из-за сложного рельефа поверхности после штамповки (рис. 3) углеводородные соединения плохо удаляются растворителями, а отжиг в азоте, как известно, углерод не удаляет.

С увеличением количества коммутаций до 10^5 размер и степень почернения этих пятен увеличивается, и синхронно с этим процессом возрастает R . В диапазоне $10^5 - 10^6$ наблюдается разрушение полимерных пленок и снижение R . При дальнейшем наращивании числа коммутаций (вплоть до 10^7) вместо разрушенных соударениями пленок начинают появляться новые полимерные покрытия, в результате чего R опять начинает увеличиваться.

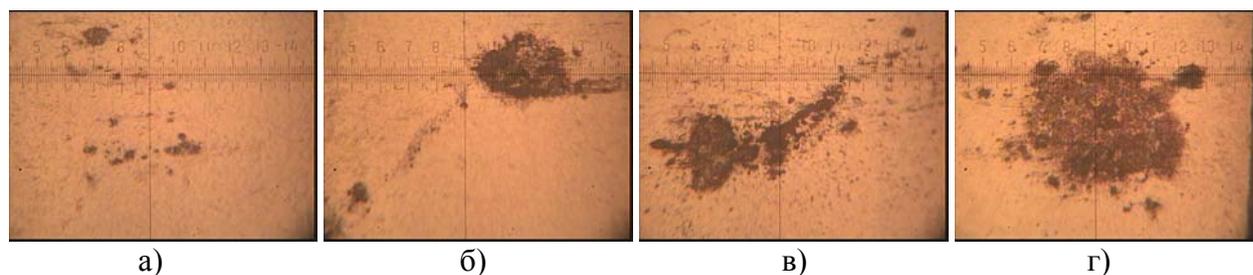


Рис. 2. Поверхности контактов герконов МКА-14108 после N коммутаций на холостом ходу, где N : а) 10^4 ; б) 10^5 ; в) 10^6 ; г) 10^7 . Увеличение 300.

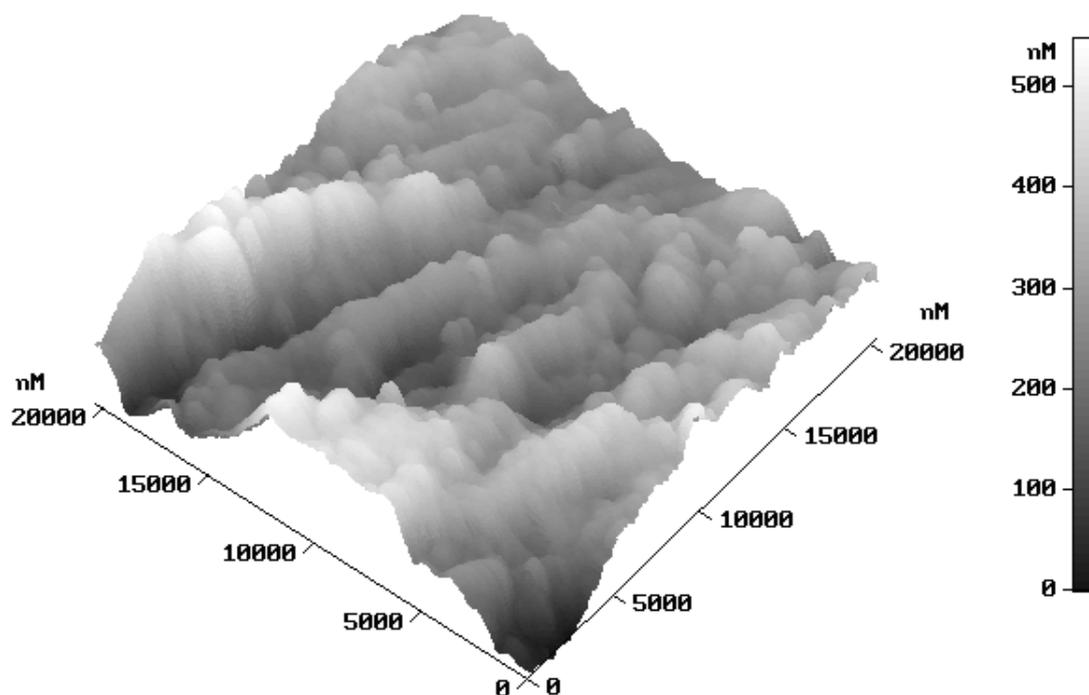


Рис. 3. Трехмерное АСМ–изображение участка поверхности пермаллоевой контактной детали после штамповки со следами волочения исходной проволоки [6]

На поверхности контактов герконов с золоторутениевыми покрытиями в процессе коммутаций полимерные покрытия не образуются, а R практически не меняется. Однако в тех случаях, когда в области контактирования нарушена сплошность покрытия, там так же (как и у контактов герконов без покрытия) образуются полимерные пленки, и наблюдается в этой связи рост R (рис. 4).

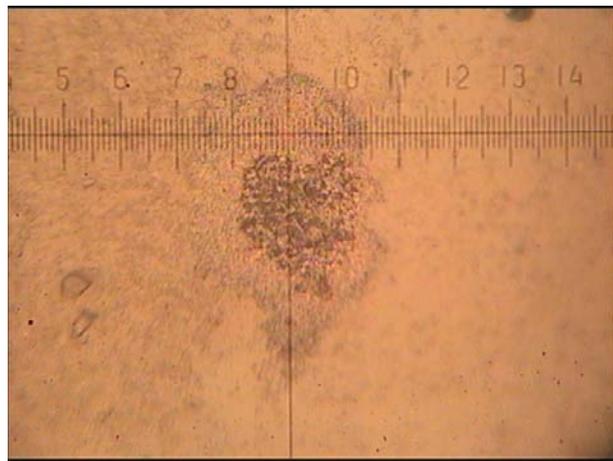


Рис. 4. Вид контактирующей поверхности геркона с гальваническим покрытием, обработанного методом автоколебаний, после коммутаций на холостом ходу (10^7 коммутаций). Сопротивление 1,2 Ом, увеличение 300

Следовательно, стабильность R при коммутациях у герконов со специальными покрытиями связана с экранировкой углеводородных загрязнений подложки золоторутениевым покрытием.

Необходимо отметить, что после удаления углеводородной пленки с поверхности пермаллоевых контактов с помощью искрового течеискателя «Тесла» и продолжения коммутаций, пленки не образуются, а R при этом практически не меняется и остается в пределах 0,1 Ом.

Коммутационные испытания серийно выпускаемых герконов МКА-14103 и опытных образцов герконов МКА-14108 показали, что наработка опытных герконов, предварительно обработанных высоковольтными импульсными разрядами, соответствует требованиям, предъявляемым к долговечности серийных приборов [5].

Таким образом, идея решения проблемы коррозионной и эрозионной устойчивости без применения покрытий из благородных металлов нашла свое экспериментальное подтверждение. Полученные результаты могут быть использованы при создании технологии производства герконов с модифицированной контактной поверхностью (вместо гальванопокрытия).

Литература:

1. Удалов В.Ф., Игнатов А.И., Ермаков В.М. Авторское свидетельство СССР, № 624307, 1977.
2. Зельцер И.А., Кукушкин С.А., Саблин В.А., Моос Е.Н. IX Международный семинар «Структурные основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий», (МНТ-IX), г. Обнинск, 12-16 июня 2007. Тезисы докладов. – С. 38.
3. Птицын В.Э. Письма в ЖЭТФ. – 1992. – Т. 55, вып. 6. – С. 325.
4. Разумихин М.А. Эрозионная устойчивость маломощных контактов. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 80 с.
5. Зельцер И.А., Карабанов С.М., Майзельс Р.М., Саблин В.А. Исследование и разработка методов модификации поверхности герметизированных магнитоуправляемых контактов // Сборник трудов второй Международной научно-практической конференции «Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе», 1–3 октября 2008 г. Под ред. д.т.н. С.М. Карабанова. – Рязань: Изд. «Полиграф», 2009.
6. Гололобов Г.П., Арефьев А.С., Трегулов В.Р., Уточкин И.Г., Киреева О.В. Исследование поверхности магнитоуправляемых контактов методом атомно-силовой микроскопии. – Рязань: Вестник РГРТА, Вып. 13. – 2003. – С. 66-69.