

## Влияние качества пайки контактов на эрозионную стойкость и стойкость против сваривания

М. П. Афонин, М. Н. Овчинникова

ЗАО “НПО “Благовест”, ЗАО “Благовест-Истра”, Россия

e-mail: blagovest-istra@mail.ru

*Установлено, что в исследованном интервале значений степени “непропая” 5—90% эрозионная стойкость и стойкость контактов против сваривания значительно снижаются при увеличении степени “непропая” свыше 20—40%.*

**Ключевые слова:** “непропай”, стойкость против сваривания, электроэрозионная стойкость.

Принято считать, что снижение качества пайки контактов на контактодержатели приводит к ухудшению потребительских свойств низковольтных коммутационных аппаратов. Однако исследований, подтверждающих эту точку зрения и содержащих количественные результаты, крайне мало [1]. Одним из показателей качества пайки является наличие пор и несплошностей в паяном соединении контакт—контактодержатель, которое количественно может характеризоваться степенью “непропая”, то есть отношением площади этих дефектов к площади контакта в плоскости соединения.

В настоящей работе приведены результаты исследования зависимости эрозионной стойкости и стойкости против сваривания контактов от степени “непропая”, созданного искусственным путем, в интервале 5—90%.

Контактные свойства исследовали на стенде ЭМ150 по методике согласно ГОСТ 25188 [2] и на универсальном испытательном стенде по методике, представленной в работе [3]. На стенде ЭМ150 определяли эрозионную стойкость. Между неподвижными контактами, установленными с начальным зазором 0,3 мм, инициировался дуговой разряд прямоугольной формы амплитудой 150 А и длительностью 2 мс. Через 2 с инициировался очередной дуговой разряд. Таким образом, длительность одного цикла испытания составляла 2 с. Испытания проводили при постоянной полярности в течение 500 разрядов. Эрозионную стойкость оценивали по удельному (на 1 цикл) уменьшению массы изнашиваемого анода. Чем она меньше, тем выше эрозионная стойкость.

На универсальном стенде изучали эрозионную стойкость и стойкость против сваривания. Испытания осуществляли в режиме, предусматривающем замыкание и размыкание контактов, установленных с начальными провалом 1 мм и зазором 2 мм; контактное нажатие составляло 5 Н. При замыкании контактов разряжалась батарея конденсаторов, создающая разряд тока с амплитудой 1500 А. Время падения тока в разряде до нуля не превышало 1 мс. После замыкания контакты оставались замкнутыми в течение 10 мс. Размыкание контактов происходило без тока. Напряжение на разомкнутых контактах — 300 В. Через 10 с наблюдалось очередное замыкание контактов. Таким образом, длительность одного цикла испытания составляла 10 с. Через каждый цикл в течение 1000 циклов меняли полярность контактов. Эрозионную стойкость оценивали по удельному (на 1 цикл) уменьшению массы контактной пары. Стойкость против сваривания определяли по количеству свариваний контактов контактной пары с силой, превышающей установленные пороговые значения 3 и 30 Н. Чем больше число свариваний за время испытаний, тем ниже стойкость против сваривания.

Каждому виду испытаний подвергалось по 10 контактных пар, состоящих из контактов, припаянных к контактодержателям с различной степенью “непропая”. За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение определяемого показателя по 8 контактными парам (наименьшее и наибольшее значения отбрасывались). Значимость отличий средних арифметических значений проверяли по  $t$ -критерию для  $\alpha = 0,05$  [4].

Объектом исследования явились модельные образцы, представляющие собой контакты, припаянные к контактодержателям через промежуточную медную пластинку (рисунок). Промежуточная медная пластинка имела толщину 1,0 мм и разную площадь в плоскости соединения, что обеспечивалось высверленными отверстиями в пластине либо применением кольцеобразных пластин и таковых с высверленными отверстиями. В зависимости от площади пластины в плоскости соединения имитировалась различная степень “непропая”.

Контакты изготавливали из композиции серебро—20% (мас.) оксида олова. Средний размер частиц оксида 15 мкм. Контакты имели типоразмеры ПП0812 (диаметр 8,0 мм, толщина 1,2 мм), ПП0816 (диаметр 8,0 мм, толщина 1,6 мм), ПП0820 (диаметр 8,0 мм, толщина 2,0 мм) и СП0814 (диаметр 8,0 мм; толщина 1,4 мм) по ГОСТ 3884. На стенде ЭМ150 катодом служил контакт СП0814. На универсальном стенде контакт СП0814 являлся подвижным контактом.

Результаты испытаний контактов различной толщины и с различной степенью “непропая” приведены в табл. 1—3. На основании анализа результатов установлены некоторые закономерности. Значимые отличия в величине удельного уменьшения массы анода с ростом степени “непропая” при испытаниях на стенде ЭМ150 наблюдаются начиная со степени “непропая” 18% для контактов толщиной 1,2 мм. При увеличении степени “непропая” выше 18% удельное уменьшение массы анода увеличивается.

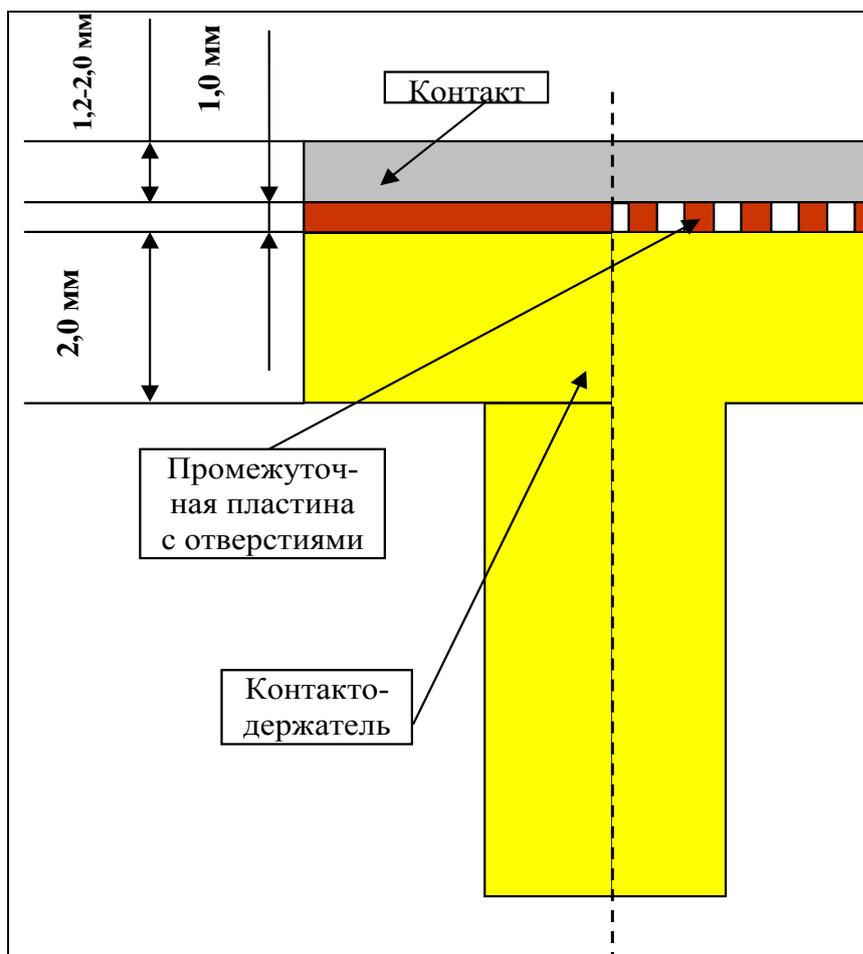


Рис. 1. Эскиз объекта исследования.

Значимые отличия в величине удельного уменьшения массы контактной пары с ростом степени “непропая” при испытаниях на универсальном стенде имеют место начиная со степени “непропая” 48% для контактной пары с неподвижным контактом толщиной 1,2 мм. При увеличении степени “непропая” выше 48% удельное уменьшение массы контактной пары увеличивается.

Увеличение толщины контакта повышает степень “непропая”, значительно изменяет эрозионную стойкость. При испытаниях на стенде ЭМ150 заметные отличия в величине удельного уменьшения массы анода с ростом степени “непропая” для контактов толщиной 1,6 мм фиксируются начиная со степени “непропая” 48%, а для контактов толщиной 2,0 мм — со степени “непропая” 55%.

При испытаниях на универсальном стенде заметные отличия в величине удельного уменьшения массы контактной пары с ростом степени “непропая” для неподвижных контактов толщиной 1,6 мм отмечаются начиная со степени “непропая” 55%, а для неподвижных контактов толщиной 2,0 мм — со степени “непропая” 69%.

Таким образом, при испытаниях на обоих стендах фиксируются некоторые минимальные значения степени “непропая”, до достижения которых “непропай” на эрозионную стойкость

контактов не влияет. При более высоких значениях эрозионная стойкость контактов закономерно снижается с ростом степени “непропая”.

**Т а б л и ц а 1. Удельное уменьшение массы (мкг/цикл) анода при различной толщине контакта и степени “непропая”. Стенд ЭМ150**

Испытуемый анод	Степень “непропая”, %									
	6	10	14	18	21	48	55	69	83	90
ПП0812 (толщина 1,2 мм)	5,8	5,9	5,7	6,4	6,7	6,8	7,3	8,4	10,2	12,0
ПП0816 (толщина 1,6 мм)	6,1	6,0	5,7	6,0	5,9	6,6	6,9	7,5	8,8	9,7
ПП0820 (толщина 2,0 мм)	5,8	6,2	5,8	5,7	6,0	6,0	6,5	6,8	7,5	8,5

**Т а б л и ц а 2. Удельное уменьшение массы (мкг/цикл) пары контактов при различной толщине контактов и степени “непропая”. Универсальный стенд**

Испытуемая контактная пара	Степень “непропая”, %									
	6	10	14	18	21	48	55	69	83	90
ПП0812/ СП0814	23	26	23	27	25	34	38	45	53	68
ПП0816/ СП0814	20	25	22	26	25	26	31	37	44	55
ПП0820/ СП0814	24	21	21	23	24	20	28	32	37	46

Аналогичные зависимости от степени “непропая” наблюдаются и для стойкости против сваривания. Имеет место тенденция к увеличению числа свариваний с усилием >3 и 30 Н с ростом степени “непропая” при значениях степени “непропая” 48% и выше.

В рамках исследования была предпринята попытка найти объяснение наблюдаемых зависимостей.

Разогрев контактов под действием электрической дуги и в результате протекания тока мог быть одной из причин, провоцирующих эрозию материала контакта и снижение стойкости против сваривания. Однако простой расчет показывает, что за время протекания тока через контакт в течение 1 цикла выделяется энергия, не способная вызвать его разогрев более чем на десятые доли градуса. Кроме того, за время между дуговыми разрядами накапливаемая тепловая энергия рассеивается в окружающую среду, в том числе через контактодержатели.

Существенно изменить ситуацию с интегральным нагревом контактов в условиях эксперимента не способна и энергия, выделяющаяся в электрической дуге. Общий подъем температуры контактов за время испытаний по результатам прямых замеров не превышал 20 °С. В то же время непосредственно в очаге поражения электрической дугой температура достигает весьма высоких значений, превышающих температуры плавления и даже испарения материала.

В контексте этого общеизвестного факта представляло интерес связать наблюдаемую в настоящем исследовании зависимость контактных свойств от степени “непропая” с характером поражения материала контакта электродуговым разрядом.

Структурным исследованиям подвергали анод в испытаниях на стенде ЭМ150 с неподвижно установленными контактами. Плоскую поверхность анода предварительно полировали и изучали в оптическом и растровом электронном микроскопах после воздействия на поверхность контакта одного дугового разряда.

В результате исследования установлено, что на аноде образуются очаги поражения в виде вертикально уходящих вглубь материала контакта воронкообразных каналов диаметром 30—70 мкм в плоскости рабочей

поверхности контакта. Глубину каналов оценивали на оптическом микроскопе с помощью микрометрического винта по разнице значений, соответствующих установлению резкого изображения на уровнях пересечения канала с рабочей поверхностью контакта и на условном дне воронкообразного канала. Условность была вызвана тем, что при наблюдениях не было получено доказательств того, что ось канала была действительно перпендикулярна поверхности контакта. Тем не менее, при исследовании контактов различной толщины (ПП0812, ПП0816, ПП0820) выявлено, что измеряемая глубина воронкообразных каналов при увеличении степени “непропая” с 6 до 90% в среднем возрастает более чем в 4 раза — с 30 до 150 мкм. Значимой зависимости измеряемой глубины воронкообразных каналов от толщины контактов в рамках настоящего исследования обнаружить не удалось.

**Т а б л и ц а 3. Число свариваний контактов при различной толщине и степени “непропая” с усилием >3 и 30 Н**

Испытуемая контакт- ная пара	Усилие прива- рок, Н	Степень “непропая”, %									
		6	10	14	18	21	48	55	69	83	90
ПП0812/ СП0814	>3	72	82	76	73	81	90	92	105	115	127
	>30	45	41	41	45	47	53	56	56	60	60
ПП0816/ СП0814	>3	75	71	80	75	80	87	90	97	105	113
	>30	42	39	43	43	40	49	56	60	59	63
ПП0820/ СП0814	>3	68	71	68	73	68	83	88	92	98	107
	>30	40	40	41	40	38	50	49	56	59	62

Полученные результаты представляются нам достаточно интересными, поскольку показывают, во-первых, что достаточно удаленные от поверхности контакта дефекты в виде несплошностей, не вызывая изменения теплофизических характеристик материала приповерхностных слоев, интенсифицируют электроэрозионные процессы на поверхности контакта, а, во-вторых, очаг поражения на поверхности анода из крупнодисперсных композиций носит вид воронкообразного канала, а интенсификация эрозии с ростом степени “непропая” происходит за счет увеличения глубины этого канала.

В рамках настоящей работы нет возможности изучить наблюдаемые явления подробнее. Тем не менее, обусловленность зависимости эрозионной стойкости от степени “непропая” изменением характера очагов поражения на аноде представляется достаточно явной. Поскольку изменение характера эрозии неизбежно должно сопровождаться и изменением структуры “слоев наработки” на поверхности контактов, установленная зависимость стойкости против сваривания от степени “непропая” также представляется логичной.

Остается, однако, открытым вопрос, каким образом дефекты в переходном слое между контактом и контактодержателем оказывают влияние на поведение электрической дуги.

Пока уместно только предположить, основываясь на экспериментальных наблюдениях о локализации электрической дуги на аноде на областях материала, обладающих минимальной теплопроводностью и сравнимых по размерам с анодным пятном, что развитие эрозии контакта возможно [5]. Электрическая дуга, закрепившись на аноде на сравнительно крупных по размеру частицах оксидов, вызывает их эрозию и создает первоначальный кратер глубиной, соответствующей размеру конгломерата частиц. При этом участок материала на дне кратера становится, по терминологии работы [5], областью наименьшей теплопроводности в двухфазной композиции серебро—оксид олова, перемещаться с которой электрической дуге энергетически “невыгодно”. Происходит дальнейшая эрозия материала вглубь кратера и формируется воронкообразный канал. Распространению линий тока в стороны от очага поражения при этом препятствуют удаляемые по внешней поверхности неэлектропроводные пары металла, что, в свою очередь, провоцирует эрозию материала со дна воронкообразного канала и приводит к увеличению его глубины.

1. *Janitzki A. S., Schaefer B.* The influence of the quality of brazing in the erosion of contacts // Proc. Holm conf. on Electrical Contacts. — 1978. — P. 389—394.
2. *ГОСТ 25188-82.* Контакт-детали электрические. Метод определения эрозионной стойкости в электродуговом режиме.
3. *Болдырев С. Н., Бойко А. В.* Универсальный испытательный стенд проверки контакт-деталей в режимах включения и отключения тока // Электрические контакты и электроды. — К.: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 2006. — С. 110—119.
4. *Шторм Р.* Математическая статистика. — М.: Мир, 1970. — 368 с.
5. *Правоверов Н. Л., Афонин М. П.* Взаимодействие электродугового разряда с поверхностью электродов из многофазных материалов на основе серебра // Электротехника. — 1982. — № 7. — С. 46—50.