

Влияние содержания и дисперсности оксидов на эрозионную стойкость и стойкость против сваривания контактов из композиционных материалов на основе серебра

М. П. Афонин, М. Н. Овчинникова

НПО “Благовест”, г. Истра, Московская обл., Россия

Исследовано влияние содержания (10–25% (мас.)) и дисперсности (0,1–17 мкм) оксидов кадмия и олова на эрозионную стойкость и стойкость против сваривания контактов из композиционных материалов систем серебро—оксид олова, серебро—оксид кадмия. Показано, что увеличение эрозионной стойкости материала, как правило, сопровождается снижением стойкости контактов против сваривания. Для установления оптимальных областей применения материалов серебро—оксид металла с различной дисперсностью и массовой долей оксидов в серебре целесообразно проведение испытаний контактов из этих материалов в реальных коммутационных аппаратах.

Ключевые слова: композиты серебро—оксиды, дисперсность, контакты, эрозионная стойкость, сваривание.

Исследования влияния содержания и дисперсности оксидов на контактные свойства композиционных материалов на основе серебра всегда уделялось повышенное внимание разработчиков электрических контактов. В России такие исследования на системной основе проводились в коллективе Московского научно-исследовательского института электро-механики [1]. Их результатом явилось освоение в серийном производстве в 70-х годах прошлого столетия контактов, изготавливаемых методом прессования-спекания из смеси порошков серебра и оксида кадмия, получаемой совместным осаждением гидроксидов этих металлов из растворов их солей, которые эффективно заменили контакты из механической смеси порошков серебра и оксида кадмия.

Однако за прошедшие годы произошли изменения, которые вновь сделали подобные исследования актуальными. В результате совершенствования технологий производства контактов появилась возможность их промышленного изготовления при содержании оксида кадмия в серебре выше 15% (мас.). В результате освоения новых технологий получения порошковых композиций стало возможным увеличение дисперсности частиц оксидов металла с достижением среднего размера частиц в серебряной матрице 0,1 мкм и менее. В результате возросших экологических требований в качестве альтернативы композиции серебро—оксид кадмия был разработан материал серебро—оксид олова. Без системных экспериментальных данных сложно оценивать перспективы и целесообразность новых направлений в области контактных материалов.

© М. П. Афонин, М. Н. Овчинникова, 2010

В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на получение и систематизацию именно таких данных.

Объектом исследования явились контакты из композиций серебро—10—25% (мас.) оксида кадмия и серебро—10—20% (мас.) оксида олова. Контакты получали из механической смеси порошков серебра и оксида металла горячим прессованием при температуре 630 ± 20 °С.

Дисперсность исходных порошков варьировали таким образом, чтобы получить композиции со структурой различной дисперсности. Из композиции серебро—оксид кадмия изготавливали контакты со средним размером частиц оксидов в плоскости шлифа в интервале 0,1—17 мкм. Из композиций серебро—оксид олова изготавливали контакты со средним размером частиц оксидов в интервале 0,5—15 мкм. Структуру контактов оценивали методами оптической и растровой электронной микроскопии. Анализ изображений осуществляли с использованием программного обеспечения Image Scope M.

Контактные свойства определяли на стенде ЭМ150 по методике, описанной в ГОСТ 25188 [2], и на универсальном испытательном стенде по методике, описанной в работе [3].

На стенде ЭМ150 определяли и эрозионную стойкость. Между неподвижными контактами, установленными с начальным зазором 0,3 мм, инициировали дуговые разряды амплитудой 150 А и длительностью 2 мс. Испытания проводили при постоянной полярности в течение 500 импульсов. Эрозионную стойкость оценивали по удельному (на 1 импульс) уменьшению массы изнашиваемого анода. Чем меньше удельное уменьшение массы, тем выше эрозионная стойкость.

На универсальном стенде определяли эрозионную стойкость и стойкость против сваривания. Испытания проводили в режиме, предусматривающем замыкание и размыкание контактов с начальными провалом 1 мм и зазором 2 мм; контактное нажатие — 5 Н. При замыкании контактов разряжалась батарея конденсаторов, создающая импульс тока с амплитудой 1500 А. Через замкнутые контакты в течение 10 мс протекал ток 300 А. Размыкание контактов происходило без тока. Напряжение на разомкнутых контактах — 300 В. Через каждый цикл в течение 1000 циклов происходила смена полярности контактов. Эрозионную стойкость оценивали по удельному (на 1 цикл) уменьшению массы контактной пары, стойкость против сваривания — 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.

Испытывали контактные пары ПП0614/СП0614 с размерами по ГОСТ 3884. На стенде ЭМ150 анодом служил контакт СП0614. На универсальном стенде контакт СП0614 являлся подвижным контактом. Каждому виду испытаний подвергали по 15 контактных пар, состоящих из контактов одного фазового состава и структуры. За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение определяемого показателя по 13 контактным парам (наименьшее и наибольшее значения отбрасывались). Значимость отличий средних арифметических значений проверяли по t -критерию для $\alpha = 0,05$ [4].

Результаты испытаний приведены в табл. 1—3. Из анализа результатов можно установить некоторые закономерности.

Эрозионная стойкость контактов из композиции серебро—оксид кадмия в условиях испытаний немонотонно изменяется при увеличении содержания оксида кадмия в серебряной матрице от 10 до 25% (мас.). Максимальной эрозионной стойкостью характеризуются контакты из композиции серебра с 15% (мас.) оксида кадмия. Аналогичная закономерность наблюдается и для контактов из композиции серебро—оксид олова при изменении содержания оксида от 10 до 20% (мас.). Максимальной эрозионной стойкостью характеризуются контакты из композиции серебра с 12% (мас.) оксида олова.

Эрозионная стойкость контактов из композиции серебра с оксидом кадмия в условиях испытаний монотонно возрастает при уменьшении размера частиц оксидов от 17 до 0,1 мкм. Подобная зависимость отмечается и для контактов из композиции серебро—оксид олова при уменьшении размера частиц оксидов от 15 до 0,5 мкм.

При близких содержаниях оксидов (плотность CdO — 8,15 г/см³, SnO₂ — 7,05 г/см³) в серебряной матрице в условиях испытаний в целом фиксируется более высокая эрозионная стойкость контактов из композиций серебро—оксид кадмия.

Стойкость против сваривания контактов из композиции серебро—оксид кадмия в условиях испытаний немонотонно изменяется при увеличении содержания оксида кадмия в серебряной матрице от 10 до 25% (мас.). Аналогичная закономерность наблюдается и для контактов из композиции серебро—оксид олова при изменении содержания оксида от 10 до 20% (мас.).

Немонотонный характер изменения стойкости против сваривания в зависимости от размера частиц оксидов отмечается для контактов из обеих исследованных композиций. Наибольшей стойкостью против сваривания характеризуются контакты, имеющие средний в исследованном интервале размер частиц оксидов.

Т а б л и ц а 1. Удельное уменьшение массы (мкг/импульс) анода из материалов Ag—MeO при различном содержании и размере частиц оксидов. Испытания на стенде ЭМ150

Материал контакта	Средний размер частиц оксидов, мкм									
	0,1	0,5	1,1	1,4	4,7	6,5	9	12	15	17
AgCdO10	1,9			1,7	2,4			2,9		3,3
AgCdO12,5	1,3			1,5	1,2			2,1		2,5
AgCdO15	1,3			1,3	1,5			1,8		2,3
AgCdO20	2,2			2,6	3,4			3,5		3,8
AgCdO25	3,4			4	5,3			6,3		6,2
AgSnO ₂ 10		1,3	1,3			1,8	2,5		3,2	
AgSnO ₂ 12		0,8	0,9			1,4	1,9		2,6	
AgSnO ₂ 15		2,5	2,9			3,1	3,3		3,7	
AgSnO ₂ 20		3,7	4			4,8	5,2		5,8	

Т а б л и ц а 2. Удельное уменьшение массы пары контактов из материала Ag—MeO при различном содержании и размере частиц оксида. Испытания на универсальном стенде

Материал контактов	Средний размер частиц оксидов, мкм									
	0,1	0,5	1,1	1,4	4,7	6,5	9	12	15	17
AgCdO10	3,6			5,5	10			13		12
AgCdO12,5	3,6			5,5	7,4			7,8		7,3
AgCdO15	1,5			1,8	3			5,6		6,7
AgCdO20	1,3			3,2	3,5			6,7		9,6
AgCdO25	6,9			11	16,4			18		18,3
AgSnO ₂ 10		5,7	6,4			10,3	12		13,3	
AgSnO ₂ 12		4,9	5,2			9,3	8,9		11,5	
AgSnO ₂ 15		8,7	10,1			14	13,4		16	
AgSnO ₂ 20		17	18			27	31		26	

Т а б л и ц а 3. Число свариваний контактов из материала Ag—MeO при различных содержании, размере частиц оксида и усилии приварок

Материал контактов	Усилие приварок, Н	Средний размер частиц оксидов, мкм									
		0,1	0,5	1,1	1,4	4,7	6,5	9	12	15	17
AgCdO10	>3	165			125	84			90		90
	>30	77			52	36			58		52
AgCdO12,5	>3	92			80	40			47		56
	>30	39			31	26			29		43
AgCdO15	>3	140			127	70			67		95
	>30	64			40	40			37		53
AgCdO20	>3	105			87	76			83		85
	>30	53			35	35			44		44
AgCdO25	>3	125			122	91			94		103
	>30	73			54	44			60		55
AgSnO ₂ 10	>3		63	59			48	48		50	
	>30		32	25			18	27		23	
AgSnO ₂ 12	>3		51	45			36	40		49	
	>30		19	14			18	20		25	
AgSnO ₂ 15	>3		68	69			53	58		63	
	>30		30	25			27	23		35	
AgSnO ₂ 20	>3		64	52			58	54		69	
	>30		37	31			34	31		47	

При близких содержаниях оксидов в серебряной матрице в условиях испытаний в целом отмечается более высокая стойкость против сваривания у контактов из композиций серебро—оксид олова.

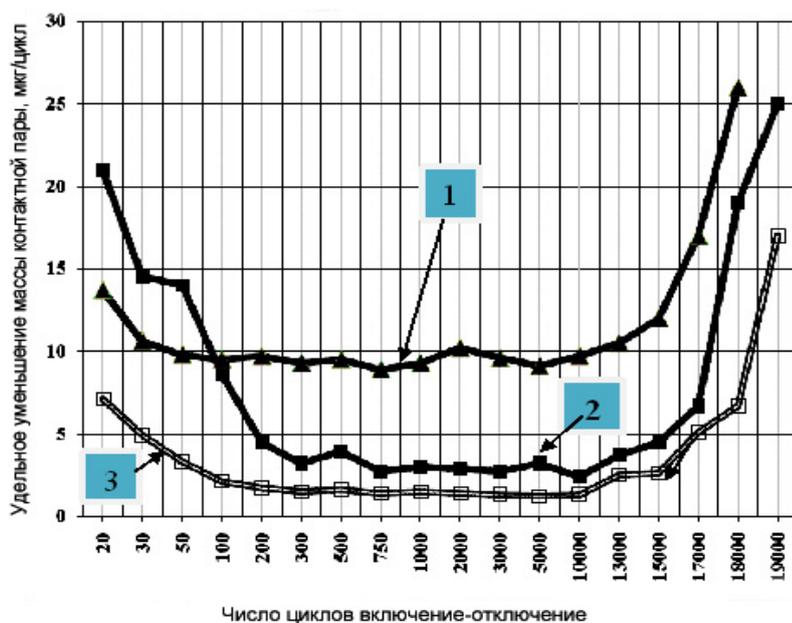
Удельный износ, величины которого представлены в таблицах, получен после 500 импульсов прямоугольного дугового разряда на установке ЭМ150 или после 1000 циклов включение—отключение тока на универсальном стенде, когда глубина эрозии материала в очаге поражения контакта в среднем не превышает 0,1—0,2 мм. Известно, однако, что по мере формирования слоев наработки в ходе испытаний, то есть слоев материала на поверхности контактов с отличной от основного материала структурой, эрозионная стойкость контактов изменяется [5, 6]. Исследованиями установлено, что на контактах из композиций серебро—оксид кадмия в течение небольшого числа коммутаций тока могут образовываться как защитные, уменьшающие интенсивность эрозии, слои наработки, так и слои наработки, провоцирующие эрозию [6].

В настоящей работе эти исследования были продолжены. На рисунке представлены типичные зависимости (полулогарифмические) величины удельного уменьшения массы контактов от числа циклов коммутации тока на универсальном стенде. В течение нескольких сотен циклов включение-отключение эрозионная стойкость в условиях испытаний возрастает. Для контактов из композиции серебро—оксид кадмия этот рост существенно больше, чем для контактов из композиции серебро—оксид олова. Возрастание эрозионной стойкости контактов Ag—CdO совпадает по времени с формированием на поверхности контактов слоев наработки первого типа, характеризующихся слоистым строением. Для контактов из композиций с размерами частиц оксида, большими 1 мкм, структура материала слоев наработки отличается также и большей дисперсностью. Для контактов с размером частиц оксида кадмия 0,1 мкм различия в дисперсности материала слоев наработки и основного материала менее очевидны.

На поверхности контактов из композиции серебро—оксид олова при коммутации формируются слои наработки второго типа. Независимо от размера частиц оксидов основного материала контактов структура слоев наработки не отличается большей по сравнению со структурой основного материала дисперсностью.

При наработке свыше нескольких сотен циклов и вплоть до 10 000 циклов включение-отключение эрозионная стойкость контактов из обеих композиций стабилизируется или продолжает медленно и монотонно возрастать. В течение всего этого времени структура слоев наработки сохраняется неизменной. Выборочные микрорентгеноспектральные исследования свидетельствуют об устойчивой тенденции к изменениям химического состава материала слоев, которые во всех случаях усредненно имеют более высокую концентрацию серебра, чем основной материал.

При наработке свыше 10 000 циклов включение-отключение в основном материале и в материале слоев наработки появляются и развиваются трещины. Первые микротрещины образуются, как правило, у скоплений оксидов в слоях наработки, которые к этому времени для контактов из композиции Ag—CdO также приобретают характерные черты слоев наработки второго типа. Ветвление трещин в основном материале и слое



Зависимость эрозионной стойкости контактов от наработки: 1 — контакты из композиции Ag—12% (мас.) SnO₂; размер частиц оксида — 6,5 мкм; 2 — контакты из композиции Ag—15% (мас.) CdO; размер частиц оксида — 4,7 мкм; 3 — контакты из композиции Ag—15% (мас.) CdO; размер частиц оксида — 0,1 мкм.

наработки, образование скоплений оксидов в слое наработки обуславливают интенсификацию эрозии и снижение эрозионной стойкости. Начиная с наработки 10 000 циклов включение-отключение тока неоднородность структуры слоев наработки возрастает, эрозионная стойкость постоянно и прогрессивно падает.

Полученные результаты выявили, таким образом, некоторые закономерности в зависимостях эрозионной стойкости и стойкости против сваривания от размера частиц оксидов и их содержания в серебре, присущие как контактам из композиции серебро—оксид кадмия, так и контактам из композиции серебро—оксид олова. Выявленные закономерности представляют научный интерес и расширяют наши представления о контактных свойствах материалов систем серебро—оксид металла. Вместе с тем на основании этих результатов трудно сделать однозначный вывод о перспективности тех или иных исследованных композиций, поскольку увеличение эрозионной стойкости материала, как правило, сопровождается снижением стойкости контактов против сваривания. Представляется целесообразным продолжить изучение влияния дисперсности и содержания оксидов на контактные свойства, в том числе при испытаниях контактов в реальных коммутационных аппаратах, для установления оптимальных областей применения материалов серебро—оксид металла с различной дисперсностью и массовой долей оксидов в серебре.

1. Мелашенко И. П. Электрические коммутационные контакты и материалы для них. — М.: Информэлектро, 1976. — 68 с.

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., Дорожкин А. К. и др. Особенности эрозии и структура электроконтактных материалов серебро—интерметаллид // Порошковая металлургия. — 1980. — № 9. — С. 28—34.
6. Правоверов Н. Л., Афонин М. П. Слои наработки и эрозионная стойкость разрывных электрических контактов // Электротехника. — 1984. — № 10. — С. 66—70.

Вплив вмісту і дисперсності оксидів на ерозійну стійкість і стійкість проти зварювання контактів з композиційних матеріалів на основі срібла

М. П. Афонін, М. М. Овчіннікова

Вивчено вплив вмісту (10—25% (мас.)) і дисперсності (0,1—17 мкм) оксидів кадмію і олова на ерозійну стійкість і стійкість проти зварювання контактів з композиційних матеріалів систем срібло—оксид олова, срібло—оксид кадмію. Показано, що збільшення електроерозійної стійкості матеріалу, як правило, супроводжується зниженням стійкості контактів проти зварювання. Для встановлення оптимальних областей використання матеріалів срібло—оксид металу з різною дисперсністю і масовою долею оксидів в сріблі доцільно проведення випробувань контактів з цих матеріалів в реальних комутаційних апаратах.

Ключові слова: композити срібло—оксиди, дисперсність, контакти, стійкість проти ерозії, зварювання.

Effect of the content and dispersivity oxides on the erosion resistance and resistance to the welding of the contact from the composite materials on the silver base

M. P. Afonin, M. N. Ovchinnikova

The effect of the cadmium and tin oxide content (from 10 to 25% (mass.) and its dispersivity (from 0,1 to 17 μm) on the erosion resistance and resistance to the welding of the contacts made of the composite materials of the silver—tin oxide, silver—cadmium oxide systems has been studied. It was shown that increasing of materials resistance to electric erosion as role is followed by decreasing of contacts resistance against welding. For recognizing of optimal field of uses of Ag—MeO materials with different dispersivity and mass content of oxides in silver is worthwhile the performance of endurance test of these materials in real commutative apparatus.

Keywords: composite, silver—oxide, dispersivity, contacts, erosion resistance, welding.