

■ ■ ■ НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ■ ■ ■

УДК 621.762+541.124

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТАКТОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА**

© 2001 В.Н.Колесников, Б.А.Юдин

Рассмотрены пути улучшения функциональных характеристик электроконтактов низковольтной аппаратуры на основе химизации технологии изготовления и достижений материаловедения в системах серебро – оксид кадмия, серебро – никель, серебро – никель – графит и др. Резервы улучшения работы электроконтактов заключаются в оптимизации подбора контактных пар, легировании композиций СОК15м, СН30м оксидами металлов и использовании сверхпластичности мелкозернистого материала. Приведены результаты испытаний электроконтактов.

Материаловедение в области электроконтактов в своем развитии прошло несколько этапов. Еще в 30-е годы прошедшего столетия был сделан переход от индивидуальных металлов к использованию двухкомпонентных композиций. Затем, в конце 50-х г., дальнейший прогресс был достигнут на пути повышения дисперсности структуры материала контакта за счет химизации технологии получения шихты [1, 2]. Исследования и электрические испытания контактов [1-4] показали, что повышение дисперсности зерна и однородности распределения компонент в металлокерамических контактах уменьшает их электрический износ, увеличивает механическую прочность, твердость, плотность и электропроводность.

Повышение нагрузок на контакты, ужесточение других функциональных параметров аппаратуры постоянно предъявляют новые требования к разрабатываемым материалам. Поэтому, наряду с сохранением высокой дисперсности микроструктуры рабочего слоя контакта, исследователи идут по пути усложнения состава материала и подбора оптимального сочетания контактных пар. Имеются резервы повышения качества и в использовании технологических приемов, обусловленных, в частности, высокой пластичностью мелкозернистого композиционного материала. В последнее время острый дефицит серебра поставил вопрос о его экономии или даже замене композиций, содержащих серебро, на материалы на основе меди, конечно, без существенного снижения функциональных характеристик.

Рассмотрим некоторые проблемы и пути повышения качества электроконтактных материалов.

Контакты композиции серебро – оксид кадмия. Одни из самых распространенных в мировой практике композиционные контакты для низковольтной аппаратуры (НВА) относятся к системам серебро-оксид кадмия (СОК15) и серебро-никель (СН30 и др.), где цифра указывает массовое содержание (%) второго компонента. В серии работ [1-4] впервые было установлено, что электрическая износостойкость мелкозернистых контактов СОК15м, полученных из соосажденной гранулированной карбонатной системы, более чем в 3 раза выше, чем у крупнозернистых контактов такого же состава СОК15, полученных механическим смешением серебра и оксида кадмия, и в 1.4 раза выше по сравнению с мелкозернистыми контактами СОК15м, полученными из соосажденной гранулированной гидроксидной системы [5]. Контакты типа СОК15м в промышленное производство впервые были внедрены на Харьковском электромеханическом заводе в 1963 году [4] и в дальнейшем получили широкое распространение как в СССР, так и за рубежом [6-8]. В России в настоящее время контакты СОК15м производятся из шихты гидроксидного осаждения по известному методу [5].

Технология получения высокодисперсной шихты для изготовления контактов прессованием заключается в совместном осаждении из водного раствора трудно растворимых соединений серебра и кадмия с последующим термическим разложением их до серебра и оксида кадмия. При этом в качестве осадителя в одном случае используется гидрокарбо-

нат натрия [1-4], а в другом – гидроксид натрия [5, 6, 8]. Такая технология обеспечивает получение мелкозернистой структуры в готовом изделии с величиной зерна около 1 мкм, что примерно на два порядка меньше, чем в крупнозернистом материале СОК15. Для улучшения прессуемости влажные осажденные формы перед термолизом могут подвергаться грануляции.

Использование в качестве осадителя гидрокарбоната или гидроксида натрия приводит к тому, что конечный продукт может содержать примесь натрия, а это ухудшает физико-механические и эксплуатационные свойства электроконтактов НВА [9-12]. Поэтому необходимо производить очистку осажденных форм и шихты, получаемой их термолизом, путем многократной промывки водой. Ранее [12,13] установлено, что основное количество натрия удаляется из шихты уже после второй промывки ее водой, в то время как из солевой смеси – только после четвертой промывки. Следовательно, отмыка шихты эффективнее, чем отмыка соосажденных форм. Необходимо отметить, что содержание примеси натрия при использовании в качестве осадителя гидрокарбоната натрия является меньшим по сравнению с карбонатом и гидроксидом натрия. После двукратной промывки осажденная форма и изговленная из нее шихта содержат при гидрокарбонатном способе вдвое меньше натрия, чем в случае гидроксида натрия. Использование в качестве осадителя гидрокарбоната натрия и отмыка шихты позволяют значительно улучшить качество шихты и изготовленных из нее контактов.

Для повышения дугостойкости и сопротивления к свариванию в мелкозернистые материалы композиции серебро – оксид кадмия вводят оксиды других металлов. В США [14], Японии [15], ФРГ [16] получен ряд патентов на материалы на основе композиции серебро-оксид кадмия с добавками оксида олова и оксидов других металлов. По данным [14] контакты с добавками оксида цинка характеризуются повышенной эрозионной устойчивостью к электрической дуге, исключающей сваривание при коммутации контактов. По [15,17] добавка оксида свинца в материал контактов композиции серебро – оксид кадмия способствует гашению дуги.

В таблице 1 приведены результаты испытания мелкозернистых контактов в автоматических выключателях на номинальный ток 100 А с одноступенчатой контактной системой без дугогасительных контактов. Контакты считались выдержавшими испытания, если после требуемого числа операций включения-выключения тока (ВО) на них еще оставался слой контактного материала толщиной 0.5 мм.

Таблица 1. Результаты испытания выключателей на предельную коммутационную способность

Композиция (масс.%)	Коммутируемый ток, тыс. А	Напряжение, В Коэффициент мощности	Количество операций ВО
Серебро – оксид кадмия(10) – оксид олова(3)	30	440 0.5	12
Серебро – оксид кадмия(10) – оксид цинка(5)	30	440 0.5	10
Серебро – оксид кадмия(12) – оксид цинка(3)	30	440 0.5	10
Серебро – оксид кадмия(10) – оксид свинца(3)	29-35	380 0.47	10

Испытания показали, что износстойкость контактов указанных композиций в 3 раза выше, чем у применяемых в этих выключателях крупнозернистых контактов СН30 композиции серебро-никель. Случаев сваривания контактов не было. В указанном режиме контакты СОК15м без легирующих добавок дают прочные сваривания. Таким образом, добавка третьего компонента улучшает в этом случае эксплуатационные свойства контактного материала.

Другой путь улучшения свойств контактов заключается в изготовлении их штамповкой из полосы или проволоки [18]. Однако крупнозернистый материал, содержащий более 10 масс.% оксида кадмия, не поддается холодной протяжке. В работе [7] было установлено, что в отличие от крупнозернистого СОК15, мелкозернистый материал СОК15м легко под-

дается холодной протяжкой. Изготовленные из высокодисперсной гранулированной карбонатной шихты образцы в горячем состоянии выдерживали деформацию до 500% и легко поддавались ковке. Протяжкой при комнатной температуре из прутков нами была получена проволока, из которой, в свою очередь, высадкой на холода были получены контакты-заклепки состава СОК15м.

В таблице 2 приведены физико-механические характеристики этих контактов в сравнении с серийными СОК15м, полученными спеканием прессовок из шихты.

Таблица 2. Физико-механические свойства контактов композиции серебро – оксид кадмия

Наименование контактов	Плотность, г/ см ³	Твердость Hv, кг/ мм ²	Удельное электросопротивление, Ом·мм ² / м	Предел прочности, кг/ мм ²
СОК 15м (получены высадкой из проволоки)	10.0	106	0.024	58
СОК 15м (серийные, прессованные из шихты)	9.9	87	0.025	44
СОК 15 (серийные)	9.6	58	0.028	12

Из данных таблицы 2 следует, что контакты, полученные из проволоки, более компактны и имеют более высокие физико-механические свойства. Высокая пластичность (сверхпластичность) обусловлена тем, что в мелкозернистом материале СОК15м величина зерна серебра (~1 мкм) примерно на два порядка меньше, чем в крупнозернистом СОК15 [19]. Свойство сверхпластичности высокодисперсных материалов для электроконтактов до сих пор использовалось недостаточно, хотя и является перспективным для улучшения функциональных свойств электроконтактов НВА.

В таблице 3 приведены результаты сравнительных испытаний контактов, изготовленных из проволоки [20], и серийных контактов из сплава серебро(86) – кадмий(14) в трансмиттерных реле ТР-ЗБ. Реле коммутировали одну и ту же нагрузку в одинаковых условиях.

Как видно из таблицы 3, преимущество высокодисперсного материала СОК15м очевидно, так как при меньшей массе контакта эксплуатационные показатели выше по сравнению с серийным материалом. Высокая чувствительность пластической деформации к примесям делает актуальной обсуждавшуюся выше проблему очистки от примеси натрия при получении высокодисперсной шихты химическим способом.

Таблица 3. Результаты сравнительных испытаний контактов в реле ТР-ЗБ

Наименование контактов	Количество циклов ВО, x10 ⁶	Масса контакта до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Высота контакта, мм до	Высота контакта, мм после
Серийные контакты из сплава серебро-кадмий	33	0.640	0.370	3.7	с одной стороны
		0.640	0.370	3.7	полный износ
		0.640	0.370	3.7	
СОК 15м (получены из проволоки)	33	0.500	0.400	3.10	3.08
		0.500	0.400	3.13	3.10
		0.500	0.400	2.80	2.76

Контактные пары контакторов, пускателей и контроллеров. В этих аппаратах применяются контактные пары из одноименных мелкозернистых контактов СОК15м – СОК15м и композиции серебро – оксид меди СОМ10м – СОМ10м. Материал контактов этой композиции получается также по химической технологии через соосаждение малорастворимых соединений серебра и меди из водного раствора с последующим термическим разложением соосажденных форм [2,10]. Было установлено [2,21], что при коммутируании токов износстойкость неподвижных контактов контактных пар из одноименных компози-

ций несколько выше, чем подвижных. Поэтому при подборе контактных пар, для подвижных контактов следует применять более износостойкие материалы. Также и по данным других авторов [22] перспективным методом повышения износостойкости сильноточных контактов является использование разноименных пар. При их подборе необходимо, конечно, учитывать специфику функционирования аппарата [22, 23].

Так как электрическая износостойкость контактов СОК15м выше, чем у СОМ15м, и значительно выше, чем у СОМ10м, то контактную пару СОМ10м – СОМ10м, а также СОК15м – СОК15м целесообразно заменить на пару: подвижные контакты СОК15м, неподвижные – СОМ15м. При этом повышается электрическая износостойкость и сопротивление к свариванию, а также достигается экономия серебра и обеспечивается соизмеримый износ подвижных и неподвижных контактов. Такая контактная пара СОК15м – СОМ15м испытывалась в электрических аппаратах в режиме коммутирования номинального тока 100 А и токов короткого замыкания до $30 \cdot 10^3$ А при напряжении 380 В и дала положительные результаты испытаний по сравнению с ранее использовавшимися контактными парами.

Контактные пары автоматических выключателей. В различных типах автоматических выключателей на номинальный ток до 100 А при средних нагрузках и контактных нажатиях до 2.5 кг в качестве неподвижных контактов применяются крупнозернистые контакты композиции серебро-графит, содержащие до 3 масс.% графита, в паре с подвижными контактами композиции серебро – никель типа СН30м или крупнозернистыми СН30. В автоматических выключателях на номинальные токи 160-630 А, имеющих контактные нажатия свыше 2.5 кг, применяются в качестве неподвижных контакты композиции серебро-никель-графит СН29мГ2 (содержат масс.% никеля – 29, графита – 2, остальное – серебро) или композиции серебро-оксид кадмия СОК15м в паре с подвижными контактами СН30 или СН30м. Применение контактных пар СН30м-СГ3, СН30м-СН29мГ2, СН30-СОК15м в автоматических выключателях должно гарантировать несвариваемость контактов при коммутировании токов короткого замыкания, но при этом износ их существенно различен. При коммутировании токов короткого замыкания 10-50 тыс. А неподвижные контакты примерно втрое износустойчивее подвижных контактов СН30 или СН30м. При коммутировании же номинальных токов 10-630 А, наоборот, подвижные контакты СН30 или СН30м примерно в 5-10 раз износустойчивее неподвижных контактов СГ3 и СН29мГ2. Из этого следует, что наряду с повышением общего уровня износустойчивости контактных пар необходимо добиваться более соизмеримого износа подвижных и неподвижных контактов. Поиски показали, что наиболее перспективным путем повышения износостойкости контактных пар является разработка технологии, позволяющей повысить дисперсность и однородность структуры материала контактов, легирование их металлическими и неметаллическими добавками [24], а также уменьшение содержания графита в материале контакта. По имеющимся данным [25] при увеличении вдвое содержания графита в материале контакта его износ может увеличиться в 10-12 раз. Следовательно, с целью повышения электрической износостойкости контактных пар СН30м-СН29мГ2, СН30м-СГ3, по нашему мнению, целесообразно содержащийся в контактах СН29мГ2 и СГ3 графит распределить в оба контакта пары, не уменьшая общего его количества в контактной паре. Это позволит сохранить высокое сопротивление к свариванию контактной пары, что для выключателей является одним из основных параметров, и одновременно повысить ее электрическую износостойкость, долгостойкость и коммутационную способность.

В автоматических выключателях на номинальный ток 100 А была испытана контактная пара, подвижный контакт которой выполнен из композиции серебро – никель – графит СН29мГ3, а неподвижный – СГ3. Испытания проводились в трехфазной цепи при напряжении 420 В с ударным значением тока 23 тыс. А и коэффициентом мощности 0.3-0.4. Каждым образом было произведено по пять коммутационных циклов вместо требуемых четырех. После испытаний оставшийся контактный слой на наиболее изношенных контактах составил более 1 мм, выключатели пригодны к дальнейшей работе. Испытывавшиеся ранее в аналогичных условиях такие же выключатели с контактными парами СН30м – СГ3 и СН30 – СГ3 не выдержали испытаний из-за сваривания контактов, особенно при циклах ВО. На основании этого можно полагать, что применение контактной пары СН29Г3-СГ3 вместо пар СН30-СГ5, СН30м-СГ5, СН30-СГ3, СН30м-СГ3 в автоматических

выключателях на номинальный ток 100 А позволит повысить их качество и обеспечить значительную экономию серебра.

Выводы

1. Химическая технология получения высокодисперсной шихты композиции серебро – оксид кадмия, обеспечив более мелкозернистую и однородную структуру материала после спекания, позволила улучшить электрическую износостойкость контактов СОК15м по сравнению с СОК15. Дальнейшее улучшение функциональных характеристик контактов этой композиции в низковольтной аппаратуре может идти по пути усложнения состава, а также использования сверхпластичности материала с мелкозернистой структурой.

2. Большой резерв для улучшения работы НВА заключается в подборе оптимального сочетания контактных пар.

3. Использование в производстве низковольтной аппаратуры контактов СОК15м с легирующими добавками и композиционной проволоки при изготовлении контактов, а также предлагаемых контактных пар позволит повысить качество аппаратуры НВА и даст значительную экономию серебра.

Литература

1. Корниенко В.П., Смага Н.Н., Юдин Б.А. Электротехнич.пром-ть. 1961. Вып.1. С.20-24.
2. Корниенко В.П., Смага Н.Н., Юдин Б.А. Электротехнические металлокерамические изделия. М. ЦИНТИЭлектропром. 1962. С.113-114.
3. Бычков А.Д., Марков Е.В., Козырь Т.А., Пономарева Е.Н., Юдин Б.А. Способ получения мелкодисперсной шихты. А.с. СССР 183191. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. №13. 1966. С.17.
4. Смага Н.Н., Юдин Б.А., Марков Е.В. Электрические контакты. М. Энергия. 1964. С.278.
5. Аветисян В.Х., Амарян А.П., Андронов В.П., Галанкин И.И., Губарь К.В., Мелашенко И.П. А.с. СССР 173856, кл.21д.32. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. №19. 1968. С.187.
6. Мелашенко И.П., Губарь К.В. В кн. Порошковая металлургия. Минск. Высшая школа. 1966. С.306-310.
7. Юдин Б.А. Проблемы электроаппаратостроения и электробурения. Труды ВНИИЭлектроаппарат. М. Энергия. Вып.4. 1970. С.36-40.
8. Стюарт Г., Дуглас М., Маккорти М. Электротехническая пром-ть. 1979. Вып.7. С.17-18.
9. Лапинский А.М. Электротехническая пром-ть. 1975. Вып.7. С.26.
10. Корниенко В.П., Колесников В.Н., Юдин Б.А. Порошковая металлургия. 1972. №3. С.90-96.
11. Бругнер А., Сквер Д. Электротехническая пром-ть. 1979. Вып.3. С.18.
12. Колесников В.Н., Юдин Б.А. Вестник Харьк. ун-та. Химия. 1988. №319. С.14-16.
13. Юлиус Д., Симс А. Электротехническая пром-ть. 1979. Вып.3. С.26.
14. Патент США 4138251, кл.75/ 234(B22F 3/00), 1979.
15. Патент Японии 33-4553, кл.10A603, (59/ 3), 1958.
16. Шрайнер Хорст. Заявка ФРГ 2659012, кл.НО1Н ? (C22C 5/ 10). 1978.
17. Альтман А.Б., Быстрова Э.С. А.с. СССР 534509, кл.С22C 5/ 06. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. №41. 1976.
18. Мелашенко И.П. В кн. Электротехнические металлокерамические изделия. М. ЦБТИ НИИЭМ. 1959. С.81-82.
19. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М. Металлургия. 1975. 279 с.
20. Бела-Белов А.М., Колесников В.Н., Юдин Б.А., Зекцер Д.М. Тез. докладов Всесоюзн. науч.-техн. совещ. "Пути повышения качества и надежности электрических аппаратов". Л. МЭТП. 1978. С.186.
21. Чалыков И., Панчева М., Мошков К., Пейчев Л. Электротехническая пром-ть. М. 1974. Вып.1. С.19-21.

22. Мелашенко И.П. Электротехнические металлокерамические изделия. М. ЦИНТИ-Электропром. 1962. С.92-93.
23. Чалыков И., Панчева М., Казаков И. Электротехническая пром-ть. М. 1975. Вып.7. С.26-27.
24. Корниенко В.П., Юдин Б.А., Колесников В.Н., Луценко В.Г., Марков Е.В. Порошковая металлургия. 1973. №1. С.83-87.
25. Айзенкольб Ф. Успехи порошковой металлургии. М. Металлургия. 1968. С.454.

Поступила в редакцию 8 октября 2001 г.

Kharkov University Bulletin. 2001. №532. Chemical Series. Issue 7(30). V.N.Kolesnikov, B.A.Yudin. Compositional materials for low voltage electrical devices contacts and ways of improving their quality.

The ways of improving functional characteristics of electrical contacts of low voltage devices based on making the production technology a more chemical one and achievements of material science in the systems of silver-cadmium oxide, silver-nickel, silver-nickel-graphite etc. have been considered. The resources for improving the electrocontacts operation are in optimizing the choice of a contact pairs material in alloying materials SOC15m, SN30m with metal oxides, and in the use of superplasticity of a fine-grained material. Test results for electrocontacts are given here.