

УДК 621.316.933.064.4

Т.П. Павленко

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## СОСТАВЫ КОМПОЗИЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Низковольтные коммутационные электрические аппараты представляют собой номенклатуру электротехнических устройств, необходимых не только в системе энергоснабжения, а также в промышленности, на транспорте и в быту. Работоспособность таких электрических аппаратов зависит от контактных систем. В данной работе предлагается замена существующих в настоящее время контактных композиций на составы, работа которых основана на термоэмиссионных явлениях. Полученные составы композиций контактов обладают повышенной дугостойкостью, не имеют токсичных и дорогостоящих элементов.*

**Ключевые слова:** электрический контакт, контактная композиция, дугостойкость, термоэмиссионные явления.

### Введение

**Постановка проблемы.** Рост энергопотребления приводит к созданию конкурентоспособных

низковольтных электрических аппаратов, выполняющих функции управления технологическими процессами, защиты и коммутации электрических сетей [1].

Учитывая такую необходимость в низковольтной электрической аппаратуре, перед исследователями стоит вопрос постоянного ее обновления. Поиск новых решений дает возможность уменьшения габаритных размеров электрических аппаратов, улучшения параметров и характеристик срабатывания, путем создания новых материалов для контактных, магнитных, токоведущих и т.п. систем.

Одним из основных узлов коммутационных электрических аппаратов является контактная система (рис. 1), которая служит для замыкания электрической цепи при нормальных режимах работы и, соответственно, ее размыкания в случае создания аварийной ситуации.

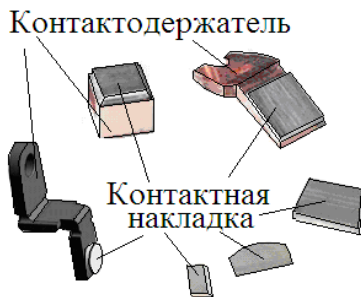


Рис. 1. Конструкции контактных систем электрических аппаратов

Контактная система (электрический контакт) состоит из контактодержателя и контактной накладки. Для надежной работы электрических аппаратов в состав композиций контактных накладок входят дорогостоящие, дефицитные, токсичные элементы и различные соединения, например, такие как палладий, платина, серебро, медь, никель, вольфрам, окись кадмия, ртуть и др.

Наиболее широко, в электрических аппаратах с дуговой коммутацией тока, применяются контакты, изготовленные способом порошковой металлургии

Самыми распространенными композициями электрических контактов, согласно ГОСТ–19725 являются, например: серебро–никель (КМК А30м), серебро–окись кадмия (КМК А10м), серебро – графит (КМК А41м) и другие (где «м» – мелкодисперсная структура композиции).

Основными требованиями к таким составам композиций электрических контактов являются высокие значения температуры плавления, твердости. Наряду с данными параметрами необходимы также высокие характеристики по дугостойкости, предельной коммутационной способности (ПКС), коммутационной износостойкости и др.

Работа любой композиции электрических контактов зависит от многих параметров, но основными из них являются [2, 3]:

- размер и форма контактных накладок;
- процентное содержание необходимых элементов в составах композиций контактов;

- совместимость элементов, входящих в составы композиций электрических контактов;
- способ изготовления контактов;
- особенность движения дуги по рабочей поверхности электрического контакта, время ее существования и скорость перемещения ее опорной точки;
- особенность конструкции дугогасительного устройства, а также способа гашения дуги;
- температура окружающей среды в зоне горения электрической дуги и на рабочей поверхности электрических контактов.

При работе электрических аппаратов на рабочей поверхности контактов в момент возникновения электрической дуги и при повышении температуры происходят различные физико-химические процессы, которые приводят к образованию катодных или анодных пятен I – III рода. В зависимости от длительности существования опорной точки дуги на контактной поверхности образуются очаги ее разрушения, приводящие к эрозии (рис. 2) [2, 3].

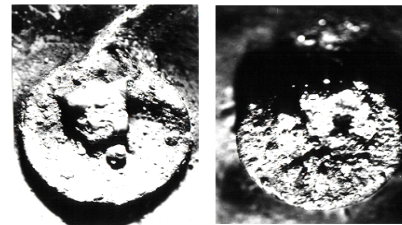


Рис. 2. Внешний вид рабочих поверхностей подвижного и неподвижного контактов при их работе в электрическом аппарате

Совокупность таких явлений и процессов приводит к свариванию контактных пар и созданию аварийной ситуации.

Таким образом, основной вклад в разрушение рабочей поверхности электрических контактов вносят электрическая дуга и процессы, протекающие как на рабочей поверхности контактов, так и в приэлектродных областях, а конкретно, в прикатодной области. Скорость роста эрозии на поверхности катода электрического контакта находится в тесной связи с плотностью тока, температурой катодного пятна, катодного падения потенциала и т.п.

**Цель статьи** – определение составов композиций контактов повышенной дугостойкости, изучение их свойств и определение возможности их применения в коммутационных электрических аппаратах.

## Основной материал

Для исследований были созданы составы композиций электрических контактов с особыми термоэмиссионными свойствами не имеющие токсичных элементов с грубодисперсной структурой на основе серебро–никель (AgNi).

Результаты теоретических исследований предлагаемых составов композиций показали, что процес-

сы развития дугового разряда, сопровождаются эмиссионными явлениями, связанными с возбуждением и девозбуждением электронных уровней частиц, их колебательных и вращательных перемещений, а также механизмами рекомбинации, ионизации, диффузии и перезарядки. Совокупность таких действий приводит к образованию химических соединений и радикалов, упругим рассеяниям и распределениям частиц [2, 3], что и способствует разрушению рабочей поверхности электрических контактов.

Анализируя развитие дугового разряда и дальнейшее горение электрической дуги, определено, что электрическая дуга играет и положительную роль [3]. Например, при размыкании цепи постоянного тока происходит накопление электромагнитной энергии. Если бы электрическая дуга не возникала в межконтактном промежутке, то эта энергия преобразовалась бы в электростатическую энергию поля, что приводит к перенапряжениям электрической цепи и пробоем изоляции или к невозможности отключения цепи электрическим аппаратом.

Таким образом, возникающая электрическая дуга аккумулирует в своем столбе тепловую энергию, преобразуя ее в электромагнитную энергию цепи. При этом тепловая энергия рассеивается в окружающую среду.

Что касается гашения дуги на переменном токе, то здесь также могут возникать перенапряжения, если бы не было электрической дуги. Роль электрической дуги заключается в том, что она обеспечивает связь от момента размыкания электрических контактов до полного перехода тока через нуль, когда электромагнитная энергия становится равной нулю. В результате создаются благоприятные условия для гашения электрической дуги.

Очевидно, что явления в приэлектродных слоях имеют сильно выраженный неравномерный характер. Прямое экспериментальное исследование их очень сложно и, по сути дела, недостаточно изучено, т.к. явления не имеют прозрачной экспериментальной базы и носят отчасти умозрительный характер. Поэтому изучение приэлектродных явлений необходимо рассматривать с точки зрения физики газового разряда, с определенными положениями, допущениями и условиями.

Анализируя положительные и отрицательные стороны развития дугового разряда и продолжительность горения электрической дуги, очевидно, что необходимо искать решения повышения дугостойкости электрических контактов. Это можно достичь за счет увеличения скорости перемещения опорной точки дуги по рабочей поверхности электрических контактов, причем, до момента исчезновения угрозы появления перенапряжений в электрической цепи.

Одним из таких решений является активирование состава композиций электрических контактов по

всему объему, что и рассматривается в данной работе [4, 5]. Полученные составы композиций электрических контактов обладают особыми термоэмиссионными свойствами. Особенностью состава композиций контактов с такими свойствами является то, что в них используются элементы, обладающие малой работой выхода электронов с рабочей поверхности контактов при низких значениях температур.

Для получения составов композиций с особыми термоэмиссионными свойствами используются активирующие добавки в разном процентном соотношении. Причем активирующая добавка совместима по многим направлениям и даже при изменении условий эксплуатации электрических контактов.

Металлографический анализ полученных образцов составов композиций электрических контактов показал, что активирующая составляющая разной формы расположена в зернах никеля или на границе раздела фаз никеля и серебра.

В результате активирования состава композиции электрических контактов (Ag-Ni) по всему объему работа выхода элементов значительно снижается, а именно для серебра с 4,3 эВ до 1,56 эВ, для никеля с 4,5 эВ до 1,52–2,6 эВ.

Кроме того, активирующие составляющие имеют высокую температуру плавления 1920°C по сравнению с никелем (1460°C) и серебром (960°C), а также низкую температуру спекания 760°C по сравнению с составом (Ag-Ni), который имеет температуру спекания 860°C [2, 3].

Проведенные исследования эмиссионной структуры активированных составов полученных композиций, с помощью эмиссионного микроскопа, показали неоднородность поверхности образцов (рис. 3) при активировании.

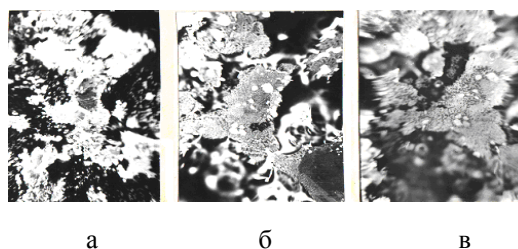


Рис. 3. Процесс активации рабочей поверхности электрических контактов при разных температурах

Как видно из рисунка зерна серебра на общем фоне по сравнению с зернами никеля имеют темный цвет. Самый яркий фон имеет активирующая составляющая, причем скопления ее видны по границам зерен.

Как показали исследования, уже при температуре  $T = 600^\circ\text{C}$  начинают светиться частички активирующей составляющей (рис. 3, а), что и подтверждает ее низкую работу выхода при данном составе композиции электрических контактов.

Процесс активирования никеля наблюдался при температуре  $T = 700^{\circ}\text{C}$ , что подтверждается наличием образования светлой пленки (рис. 3, б).

Разная яркость зерен элементов состава композиции электрических контактов, объясняется разной их кристаллографической ориентацией.

Дальнейшее повышение температуры до  $T = 750^{\circ}\text{C}$  приводит к росту яркости частиц активатора, но и активное состояние никеля также сохра-

няется. При температуре  $850^{\circ}\text{C}$ , судя по яркости зерен состава композиции электрических контактов, происходит дезактивация никеля при дальнейшем увеличении эмиссии частиц активирующей добавки (рис. 3, в).

Полученные образцы контактных композиций прошли предварительные испытания, как на установках, так и в натуральных образцах электрических контактов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты испытаний электрических контактов на установке, имитирующей работу автоматических выключателей (масштабы осциллограмм напряжения, тока, времени:  $M_U = 40 \text{ В/дел}$ ;  $M_I = 1,5 \text{ кА/дел}$ ;  $M_t = 1 \text{ мс/дел}$ );  $\tau_d$  – время горения дуги, мс;  $l_k$  – расстояние между контактами, мм;  $h_k$  – высота контактов, мм;  $\gamma$  – средний удельный износ, г/цикл

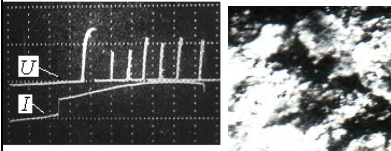
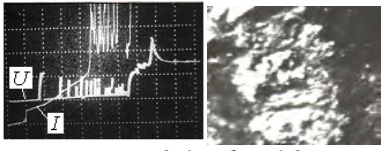
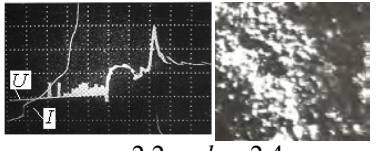
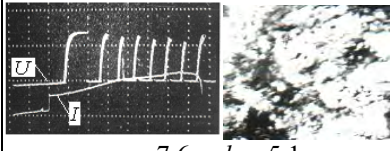
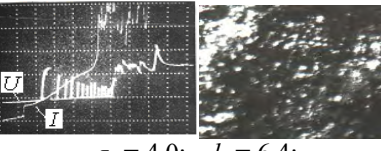
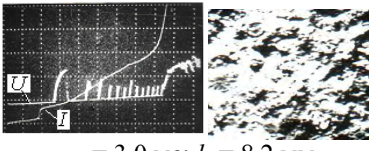
Наличие системы дугогашения		
Без магнитного дутья	С системой магнитного дутья	
Значение максимума импульсов токов $I_m$ , кА		
3,7	7,3	10,5
Промышленная композиция контактных пар КМКА30 / КМКА10м (осциллограммы и рабочие поверхности)		
 $\tau_d = 7$ ; $l_k = 4,4$ $h_k = 3,7$ ; $\gamma = 0,1055$	 $\tau_d = 3,4$ ; $l_k = 4,2$ $h_k = 3,07$ ; $\gamma = 0,1732$	 $\tau_d = 2,2$ ; $l_k = 2,4$ $h_k = 2,85$ ; $\gamma = 0,1511$
Композиция с активной составляющей (осциллограммы и рабочие поверхности)		
 $\tau_d = 7,6$ ; $l_k = 5,1$ $h_k = 3,7$ ; $\gamma = 0,0482$	 $\tau_d = 4,0$ ; $l_k = 6,4$ $h_k = 3,6$ ; $\gamma = 0,1125$	 $\tau_d = 3,0 \text{ мс}$ ; $l_k = 8,2 \text{ мм}$ $h_k = 3,9$ ; $\gamma = 0,1237$

Таблица 2

Результаты испытаний составов композиций электрических контактов в автоматических выключателях

Тип выключателя	ВА 51–35	ВА 51–37	ВА 51–39	ВА 57–31
Номинальное значение тока, А	250	400	630	100
Коммутационный износ – количество циклов / износ, %				
Контактные композиции КМКА30м/КМКА10м	4000 / 40	2000 / 35	2000 / 40	2000 / 35
Контактные композиции с активирующими составляющими	4000 / 20	2000 / 25	2000 / 30	2000 / 25
Предельная коммутационная способность: протекающий ток, кА / износ, %				
Контактные композиции КМКА30м/КМКА10м	15–18 / 100	25 / 100	35 / 100	25–60 / 100
Контактные композиции с активирующими составляющими	15–18 / 80	25 / 80–90	35 / 85	25–75 / 85

В процессе испытания (табл. 1) определялось время горения  $\tau_d$  электрической дуги на рабочих поверхностях электрических контактов и расстояние

$l_k$  между контактами, соответствующее моменту схода электрической дуги с рабочей поверхности электрических контактов. До и после испытания

определялась высота образцов  $h_k$  и удельный износ контактов методом взвешивания их до испытаний и после испытаний, а также визуально методом металлографического исследования. Многочисленные испытания показали [5, 6], что в первую очередь работа любых образцов электрических контактов зависит от действия дугогасительной системы способствующей перемещению основания дуги на новую точку. Иначе процесс пойдет вглубь контакта.

Как показали результаты испытаний, износ рабочей поверхности активированных образцов незначительный, по сравнению с промышленными образцами, где наблюдаются участки оплавлений и глубоких кратеров, что свидетельствует о эрозии рабочей поверхности с образованием катодных пятен III рода. В данном случае существует угроза сваривания контактных пар. Результаты эксплуатационных испытаний в автоматических выключателях (табл. 2) в среднем показали, что на рабочей поверхности электрических контактов с активирующей составляющей видны следы незначительной эрозии и контактодержатели сохраняют свою форму. К сожалению, то же самое нельзя сказать о рабочей поверхности неактивированных образцов.

В статье приводятся только некоторые результаты испытаний электрических контактов с активирующей добавкой и без нее. На самом деле результаты износа рабочих поверхностей постоянно повторялись при различных видах испытаний, как на коммутационную способность, так и на предельную коммутационную износостойкость.

## Выводы

1. В результате проведенных теоретических и экспериментальных физико-химических исследований были созданы составы, имеющие грубодисперсную структуру, удовлетворяющие основным техническим условиям.

2. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили, наличие особых

термоэмиссионных свойств у активированных составов композиций электрических контактов по всему объему, что и приводит к уменьшению работы выхода электронов и образованию на поверхности катодных пятен I рода.

3. Эксплуатационные испытания электрических контактов показали, что характер износа рабочей поверхности активированных образцов не изменяется и имеет равномерный мелкоточечный рельеф.

4. Полученные составы композиций электрических контактов могут применяться в коммутационных электрических аппаратах с дуговой коммутацией тока при наличии дугогасительного устройства, что подтверждено результатами многочисленных испытаний.

## Список литературы

1. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова. – М.: Академия (изд. 2-е, стереотипн.), 2005. – 445 с.
2. Намитоков К.К. Электроэрозионные явления / К.К. Намитоков. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
3. Брон О.Б. Поток плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов / О.Б. Брон. – Л.: Энергия. 1975. – 211 с.
4. Павленко Т.П. Термоэмиссионная активность композиционных контактных материалов / Т.П. Павленко // Вестник НТУ "ХПИ". "Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов". – Х.: НТУ"ХПИ". – 2005. – № 48. – С. 115–118.
5. Павленко Т.П. Физические процессы на поверхности контактов с учетом потоков плазмы и термоэмиссионной активности материала / Т.П. Павленко // Електротехніка і Електромеханіка. – Х., – 2009. – № 1. – С. 25–28.
6. Мильх В.И. Электрические контакты для автоматических выключателей и электромагнитных контакторов / В.И. Мильх, Т.П. Павленко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка. – 2011. – № 3. – С. 325–326.

Поступила в редколлегию 6.02.2013

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Ф. Болюх, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

## СКЛАДИ КОМПОЗИЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ ДЛЯ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Т.П. Павленко

Розглядаються питання про необхідність втілення нових електричних контактів, які мають особливі термоемісійні властивості та призначені для низьковольтних комутаційних електричних апаратів. Низьковольтні комутаційні електричні апарати є номенклатурою електротехнічних пристроїв, необхідних не тільки в системі енергопостачання, а також в промисловості, на транспорті і в побуті. Працездатність таких електричних апаратів залежить від контактних систем. У даній роботі пропонується заміна контактних композицій, що існують в даний час, на склади, робота яких заснована на термоемісійних явищах. Отримані склади композицій контактів володіють підвищеною дугостійкістю, не мають токсичних і дорогих елементів.

**Ключові слова:** електричний контакт, контактна композиція, дугостійкість, термоемісійні явища.

## THE ELECTRICAL CONTACT COMPOSITIONS FOR LOW VOLTAGE ELECTRIC APPARATUS

T.P. Pavlenko

The question of the need the new electrical contacts are discussing in the work. These contacts have special thermo-emission properties and intended for low-voltage switchgear electrical apparatus. Low-voltage interconnect electric vehicles are a nomenclature of electrical engineering's devices, necessary not only in the system of energy supply, and also in industry, on a transport and in the way of life. The capacity of such electric vehicles depends on the contact systems. In this work, substituting of existing presently contact compositions is offered by compositions work of which is based on the thermo-emission phenomena. The got compositions of compositions of contacts possess enhanceable arc resistance, does not have toxic and expensive elements.

**Keywords:** electric contact, contact composition, arc resistance, thermo-emission phenomena.