

УДК 621.316

Т. П. ПАВЛЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
(г. Харьков, E-mail: khpravlenko@yandex.ru)

КОНТАКТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ МНОГОАМПЕРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается новый тип электрических контактов, так называемых «псевдожидкометаллических» (ПЖМК), которые совмещают свойства твердых и жидкометаллических составов композиций. Данные электрические контакты рекомендуются к применению в главных контактах многоамперных автоматических выключателей вместо твердых серийных образцов, содержащих серебро.

У статті розглядається новий тип електричних контактів, так званих «псевдорідиннометалевих» (ПРМК), які суміщають властивості твердих і рідиннометалевих складів композицій. Дані електричні контакти рекомендуються до застосування в головних контактах багатомперних автоматичних вимикачів замість твердих серійних зразків, що містять срібло.

Введение

Современные тенденции развития низковольтного электроаппаратостроения требуют уменьшения массогабаритных показателей автоматических выключателей при одновременном улучшении их защитных характеристик.

Автоматические выключатели предназначены для распределения электрической энергии а также защиты электрических цепей в аварийных режимах работы и используются в комплектных трансформаторных подстанциях. Отсюда следует, что автоматические выключатели должны обеспечивать:

- длительное пропускание номинальных токов и кратковременное – токов короткого замыкания у потребителей (т.е. обеспечивать селективность работы);
- нечастую коммутацию номинальных токов и короткого замыкания;
- мгновенное отключение сверхтоков.

Важнейшими параметрами, определяющими массу и габариты автоматического выключателя, являются: электродинамическая устойчивость (ЭДУ), предельная коммутационная способность (ПКС), включающая способность. Эти и другие параметры взаимосвязаны между собой и обеспечиваются, в основном, конструктивными решениями [1]:

- разделением контактов на дугогасительные и главные, что характерно для многоамперных автоматических выключателей;
- разделением главных контактов на ряд параллельных;
- обеспечением достаточной энергоемкости механизма включения;
- применением токоограничивающих устройств.

В главных контактах многоамперных автоматических выключателях применяются относительно недугостойкие, но с низким электрическим сопротивлением материалы. Как правило, такие материалы отличаются не только высокими электро- и теплопроводностью, но и невысокой твердостью, что позволяет уменьшить необходимые для достижения высокой ЭДУ контактные нажатия и тем самым – материалоемкость.

Надежность работы контактной системы повышают также подбором контактного материала, обладающего повышенной устойчивостью против сваривания, т.к. по мере роста температуры контактов и увеличения контактного нажатия происходит размягчение материала, что приводит к свариванию контактных пар. Увеличение площади контактирования в твердых контактах, в основном, обеспечивается увеличением контактного

нажатия, что не приводит к уменьшению массогабаритных характеристик. Таким образом, надежность работы контактной системы автоматического выключателя, в значительной степени, определяют технические взаимозависимые параметры, материалоемкость, а также расход драгоценных и дефицитных металлов.

Анализ существующих решений и состояние вопроса

В настоящее время ряд фирм США, Франции рекламируют коммутационные электрические аппараты с жидкометаллическими контактами, главными достоинствами которых являются габаритные малые размеры, незначительные контактные нажатия и отсутствие вибрации [2–4]. Конструкции таких контактных систем весьма разнообразны, при этом в их работе используются различные принципы приведения в контакт жидкой и твердой составляющих. Контакты работают за счет воздействия электромагнитного поля на ферромагнитный плунжер, благодаря действию капиллярных сил. В качестве жидкого металла используются легкоплавкие сплавы галлия, индия, олова, а также ртуть, щелочные металлы, цезий.

Анализ работы жидкометаллических контактов из сплава галлий–олово–индий показал, что в интервале контактных нажатий 4–10 кг (площадь контактирования 7 см²) переходное сопротивление изменяется незначительно и составляет около 5·10⁻⁶ Ом в начале опыта и около 1,5·10⁻⁶ Ом через 85 часов [2]. Переходное сопротивление остается неизменным в интервале величины тока 100–1200 А. Исследования влияния температуры (200–2300 °С) на величину переходного сопротивления показали, что начиная с 1500 °С, происходит интенсивное окисление сплава и, в конечном счете, потеря работоспособности контакта.

Необходимо отметить, что вплоть до тока 42,5 кА не наблюдалось вибрации контактов из-за воздействия электродинамических сил отталкивания, которые определяются как:

$$F = I^2 \ln \left(\frac{S}{S_0} \right) \cdot 10^{-7},$$

где I – величина проходящего тока,

S – реальная площадь контактирования;

S_0 – общая площадь поверхности контактов.

Расчет показал, что электродинамические силы отброса в жидкометаллических контактах примерно в 200 раз меньше, чем в твердометаллических как при пропускании сквозных токов, так и при включении на токи короткого замыкания.

В жидкометаллических контактах при выборе материала для жидкого наполнителя кроме температуры плавления ($T_{пл}$) учитывают также относительную температуру плавления ($T_{пл} / T_k$); относительный рабочий диапазон температур $(T_k - T_{пл}) \cdot T_k$; плотность тока ($\delta_{кр}$), при которой в единице объема жидкого металла выделяется мощность, достаточная для нагрева его от температуры плавления до температуры кипения:

$$\delta_{кр} = \sqrt{\gamma_{ср} c_{ср} \rho_{ср} (T_k - T_{пл})},$$

где $\gamma_{ср}$ – средняя удельная проводимость жидкого металла;

$c_{ср}$ – средняя удельная теплоемкость;

$\rho_{ср}$ – средняя плотность жидкого металла в диапазоне температур;

T_k – температура кипения.

Одним из главных недостатков жидкометаллических контактов является нестабильность свойств. Так в работе [3] указываются трудности использования жидкометаллических контактов в сильноточных электрических аппаратах из-за окисления жидкого металла и изменения его физико-химических свойств. Кроме того, токсичность и повышенная активность жидкого металла требуют создания непроникающего каркаса, что приводит к увеличению массогабаритных показателей.

Таким образом, жидкометаллические контакты, которые используются в электрических

аппаратах, имеют как достоинства, так и ряд недостатков.

Цель работы

Создание и исследование нового контактного материала, совмещающего свойства твердых и жидкометаллических контактов за счет изменения агрегатного состояния в точках контактирования, и определение возможности применения новых составов композиций в главных контактах многоамперных автоматических выключателей.

Результаты исследований

Полученные композиции электрических контактов состоят из тугоплавкой составляющей (матрицы) и легкоплавкой, температура плавления которой ниже температуры плавления токоведущих элементов электрического аппарата [5, 6]. Такие электрические контакты получили название «псевдожидкометаллические» (ПЖМК). При замыкании электрической цепи контакты твердые, и касание поверхностей происходит только по отдельным точкам контактирования при установленном контактном нажатии. Значительная плотность тока в точках касания приводит к локальному разогреву и плавлению легкоплавкой составляющей контакта. В момент расплавления площадь контактирования увеличивается, переходное сопротивление уменьшается вместе с уменьшением плотности тока, и дальнейшее расплавление материала не происходит, т.к. при постоянной величине тока, температуры и контактного нажатии фазовое состояние легкоплавкой составляющей будет находиться в состоянии динамического равновесия.

При уменьшении величины тока отдельные участки на поверхности контакта затвердевают, и контакты работают в сваренном состоянии (как жидкометаллические). Такой режим работы у главных контактов многоамперного автоматического выключателя. Для размыкания и замыкания контактов, а также для создания контактного нажатия используется механизм свободного расцепления. При использовании контактов ПЖМК в главных контактах многоамперного автоматического выключателя приводит к уменьшению контактного нажатия и усилия пружин, компенсирующих электродинамические силы отброса.

Заявленный контактный материал не имеет токсичных и дорогих элементов, обладает низким переходным сопротивлением, высокой электродинамической устойчивостью. При изготовлении контактной композиции использовалась медная или бронзовая основа, которая перед прессованием перемешивалась с разрыхлителем для образования пор (рис. 1, а). Количество разрыхлителя и материала основы изменялось в широких пределах. После прессования и спекания заготовки контактов пропитывались легкоплавкой составляющей (рис. 1, б).

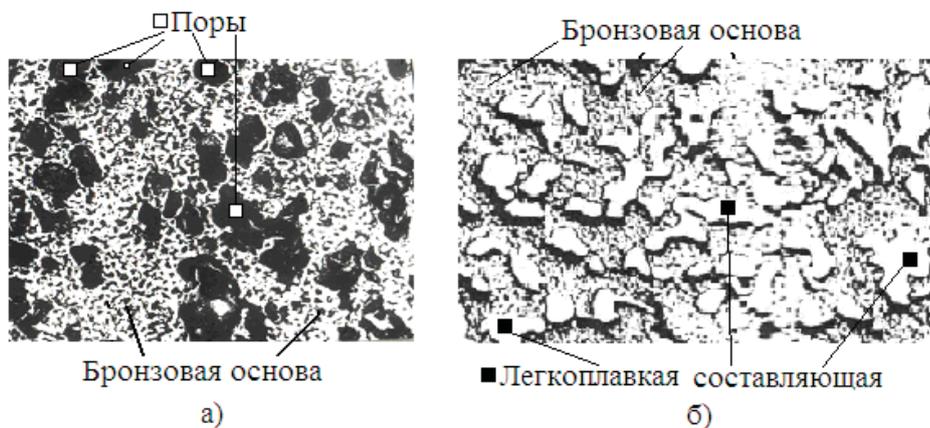


Рис. 1. Структура контактной композиции:
а) после спекания с образованием пор;
б) после пропитки легкоплавкой составляющей

После получения контактов были проведены металлографические исследования и определены необходимые параметры твердости и плотности согласно ГОСТ 19725.

Образцы электрических контактов $\varnothing 8$ мм прошли испытания в замкнутом состоянии при пропускании токов от 50 до 250 А при контактном нажатии 1,5; 2,6 и 4 кГс. Результаты предварительных исследований показали (рис. 2), что температура (рис. 2.1, кривая 3) и переходное сопротивление (рис. 2.1, кривая 2) экспериментальных образцов сначала имеет высокие значения, по сравнению с серебрясодержащими композициями. Ступенчатое увеличение тока вызывает повышение температуры и падение напряжения. Но по мере роста тока эти значения резко снижаются и стабилизируются.

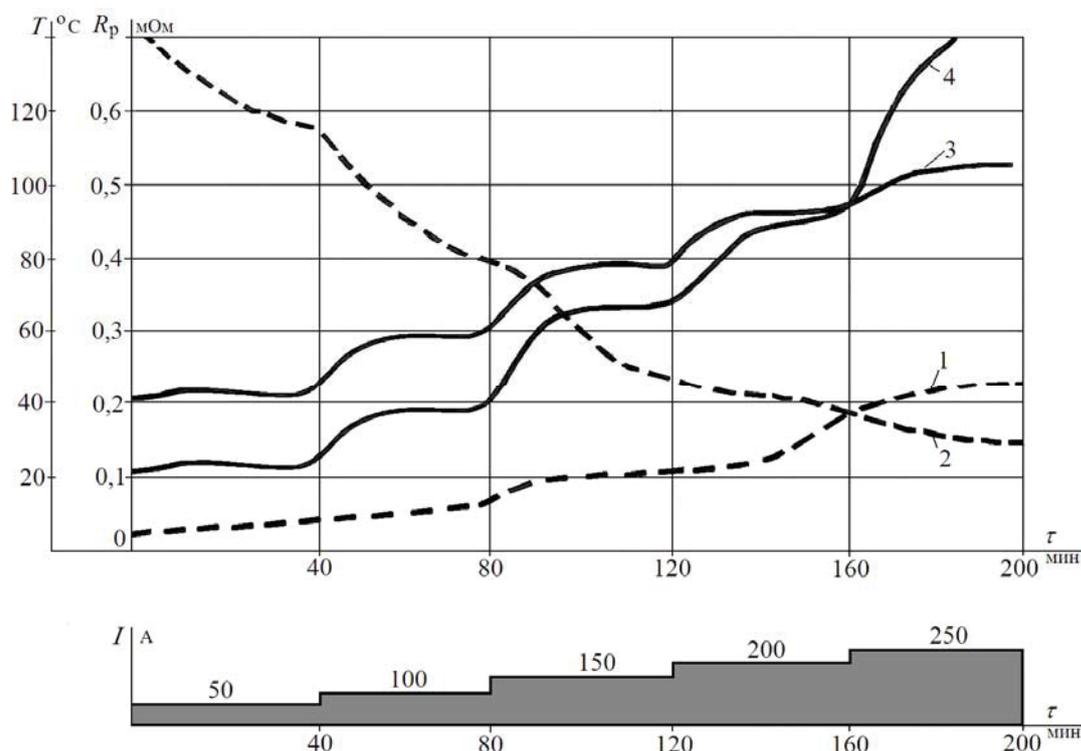


Рис. 2. Зависимость температуры на поверхности контактов и переходного сопротивления от величины тока, протекающего во времени при контактном нажатии $F_k = 2,6$ кГс

При сравнении с металлокерамическими серебрясодержащими образцами определено, что при пропускании тока переходное сопротивление их значительно меньше (рис.2.1, кривая 1), но с увеличением значения тока температура (рис. 2.1, кривая 4) на рабочей поверхности контактов увеличивается и, соответственно, растет переходное сопротивление.

Выводы

Создана бессеребряная композиция электрических контактов с низким переходным сопротивлением. Полученная композиция контактов совмещает свойства твердых и жидких составов существующих в настоящее время контактов. Предварительно выполненные исследования электрических контактов ПЖМК показали, что заложенные принципы перехода из одного агрегатного состояния в другое реализуются при пропускании тока любого из выше указанных значений.

Список литературы

1. Беляев В. Л. Особенности работы и конструкций многоамперных автоматических выключателей: Учеб. пособ. – СПб.:СЗТУ, 2005. – 254 с.

2. Брон О. Б., Беляев В. Л. Электрическая стойкость композиционных жидкометаллических контактов. / Электромеханика – М.: Изв. вузов, 1984. № 8. – С. 76–81.

3. Способ уменьшения сопротивления между контактными поверхностями. Патент США Н01Н 11/02 № 4513904.

4. Выключатель на основе металла с низкой температурой плавления. Япония. Н01Н 29/20 № 53-3431.

5. Павленко Ю. П., Гапоненко Г. Н., Крыгина Т.П. Новый контактный материал для многоамперных выключателей // Сб. научн. тр. «Низковольтные аппараты защиты и управления». – Харьков: ВНИИЭА, 1993. – С. 223–229.

6. Павленко Т. П. Псевдожидкометаллические контакты электрических аппаратов с бездуговой коммутацией / Інтегровані технології та енергозбереження, № 4. – Харків: ХДПУ, 1999. С. 69–72.

CONTACT COMPOSITIONS FOR A MULTIAMPERE CIRCUIT BREAKERS

T. P. PAVLENKO, D-r Sci. Tech, Professor

The new type of contacts pseudo liquidmetal is in the article, which combine properties of hard and liquidmetal of compositions. These contacts are recommended to application in the main contacts of multiampere circuit breakers argentic.

Поступила в редакцию 27.02 2013 г.