

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНТАКТНЫХ ПАР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИБОРОВ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ СЛОЯМИ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Канд. техн. наук КАРВАТ Ч.

*Люблинский технический университет (Польша)*

Наиболее ответственными элементами электротехнических устройств являются контактные пары выключателей. Их качество и надежность зависят во многом от материала, из которого они изготовлены, а также от типа покрытия, если оно было нанесено на поверхность контакта. Из традиционных материалов для изготовления контактных пар выключателей средних мощностей ( $U_{\text{н}} = 250 \dots 400 \text{ В}$ ,  $I \leq 25 \text{ А}$ ) наиболее часто применяют медь и ее сплавы.

В [1, 2] были приведены результаты сравнительных исследований работоспособности выключателей для приборов с медными контактными парами ( $U_{\text{н}} = 250 \text{ В}$ ,  $I = 10 \text{ А}$ ) и выключателей, медные контактные пары которых были заимплантированы ионами молекулярного азота  $\text{N}_2^+$  с энергией 200 кэВ, дозой  $2,5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, ионным током 2,5 мкА/см<sup>2</sup>. В работах были исследованы в циклическом режиме (с частотой около 1000 переключений в час) переходное сопротивление  $R_p$  контактной пары [1] и температура конектора неподвижного разрывного контакта [2]. Чаще всего зависимость  $R_p(N)$  для медных контактов представляет собой участки достаточно медленных роста и уменьшений, повторяющихся квазициклически. Ионная имплантация в сочетании с предварительной химической полировкой привела к снижению начальных значений  $R_p$  и исключила участок начального уменьшения  $R_p$ . Такая обработка поверхности изменила также характер  $R_p(N)$ , что проявилось в исчезновении участков медленного снижения  $R_p$  и их замене на участки уменьшения  $R_p$  в течение нескольких циклов.

В результате комбинированной обработки поверхности контактов, состоящей из химической полировки и ионной имплантации, уменьшились также средняя и максимальная температуры работы выключателей [2].

Одним из известных способов улучшения условий работы медных контактов является нанесение на их поверхность слоя золота, серебра и других металлов [3]. Связано это прежде всего с тем, что указанные выше материалы обладают рядом более высоких, чем медь, параметров, среди которых можно назвать коррозионную и химическую стойкость, а также стойкость по отношению к воздействию электрической дуги. Как было указано выше, имплантация ионов азота в медные контакты улучшает условия их работы. В связи с этим целью работы было создание поверхностных защитных слоев для медных контактов, которые бы сочетали в себе позитивные свойства как слоев указанных металлов, так и слоев меди, содержащих большие концентрации внедренного азота.

Для модификации металлов и электротехнических материалов с использованием ионных технологий на кафедре электрических устройств и ТВН Люблинского технического университета был разработан и изготовлен специальный имплантатор [4, 5]. Установка содержит новые решения, защищенные патентами и заявками на них. Большинство составляющих элементов, таких как блок высокого напряжения 150 кВ, сепарационный трансформатор низкого напряжения с изоляцией между первичной и вторичной обмотками на 150 кВ, блок питания источника ионов, источник ионов, ускоряющая система, были специально спроектированы и изготовлены. Имплантатор не содержит магнитной сепарации, что позволило упростить конструкцию установки. На ней можно проводить модификацию поверхностных слоев образцов материала с диаметром до 6 см ионами с энергией до 150 кэВ.

Динамическое ионное перемешивание можно проводить на этой установке, укрепляя на держателе образцов усеченный конус, изготовленный из тонкой жести выбранного материала, обращенным большим основанием в сторону пучка ионов. Для модификации поверхностного слоя материала требуется вести имплантацию образца пучком ионов (например ионами молекулярного азота  $N_2^+$ ), перпендикулярным к образцу с диаметром, по крайней мере, равным большому диаметру конуса. Часть ионов пучка, ударяя во внутреннюю стенку конуса, производит его распыление. Выбитые атомы стремятся к образцу, осаждаются на его поверхности или внедряются в подложку. Остальная часть пучка, непосредственно бомбардируя поверхность образца, производит динамическое ионное перемешивание его материала с ионами пучка и атомами материала конуса.

Для определения эксплуатационных свойств элементов электрических аппаратов нами разработан стенд, в котором проводятся измерения падения напряжения на контактной паре и температуры неподвижного контакта после каждого цикла переключения. Управление устройством, измерение и регистрацию обеспечивает компьютерная система.

В исследованиях, представленных в статье, контактные поверхности выключателей (~250 В, 10 А) модифицированы описанным выше методом динамического ионного перемешивания. Были использованы ионы молекулярного азота  $N_2^+$  с энергией 110 кэВ, плотность ионного тока  $6,7 \text{ мкА/см}^2$ , доза  $3 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Рабочие поверхности контактных пар легированы атомами химических элементов золота, серебра, вольфрама, молибдена и никеля. Далее модифицированные контактные пары монтировались в выключатели и проводились их испытания при максимальном токе 10 А (220 В), число переключений составляло 10000. Во время испытаний регистрировалась температура выходящего наружу выключателя коннектора неподвижного разрывного контакта и падение напряжения в замкнутом состоянии контактной пары.

Проведены также измерения микротвердости методом Викерса для нагрузки на пирамиду силой  $F$  величиной от 0,02 до 0,15 Н для образцов, изготовленных из меди. Измерения проведены для чистой меди, а также образцов, модифицированных методом динамического перемешивания с применением атомов тех же металлов, которые были использованы при модификации поверхности контактных пар, с такой же энергией, плотностью ионного тока и дозой имплантации. Результаты проведенных экспериментов и вычислений показывают, что в зависимости от металла, ис-

пользованного в ионном динамическом перемешивании, изменяются в разной степени механические, температурные и электрические свойства поверхностных слоев образцов модифицированной меди.

Для удобства анализа полученные зависимости  $R_p(N)$  были пересчитаны в распределения  $N_i(R_p)$ , показывающие число циклов, переходное сопротивление которых находится в интервале  $R_{pi} + \Delta R_p$ , где шаг  $\Delta R_p = 5$  мОм. Аналогичные распределения  $N_j(T)$  получены для циклов, температура которых находится в интервале  $T_j + \Delta T$ , где  $\Delta T = 10$  °С.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости  $N_i(R_p)$  и  $N_j(T)$  для контактов, содержащих примеси золота, серебра, вольфрама, молибдена и никеля и, для сравнения, для контактов из чистой меди. Как видно из рис. 1, модифика-

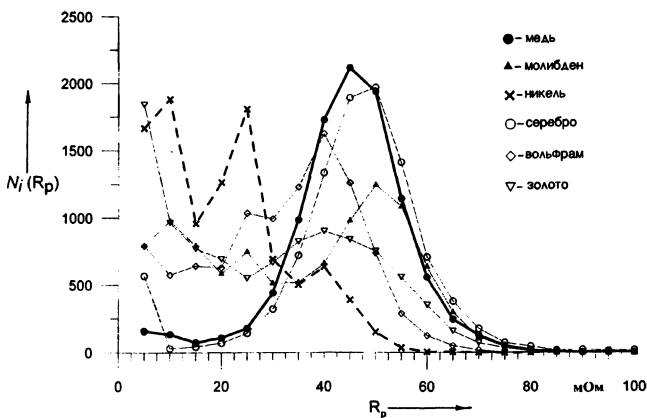


Рис. 1. Распределение числа циклов  $N_i$  в зависимости от величины переходного сопротивления  $R_p$  для интервалов  $\Delta R_p = 5$  мОм

ция контактных пар серебром практически не изменила зависимости  $N_i(R_p)$ . Модификация с использованием остальных металлов привела  $N_i(R_p)$  к существенному изменению характеристик распределения, а именно – к уменьшению числа циклов переключений, в которых наблюдаются большие (40 мОм и более) значения  $R_p$ , и увеличению числа циклов с  $R_p < 40$  мОм. Наиболее существенное изменение  $N_i(R_p)$  происходит при применении никеля. Аналогичные изменения наблюдаются и для распределения температуры  $N_j(T)$  (рис. 2). В этом случае модификация контактных пар

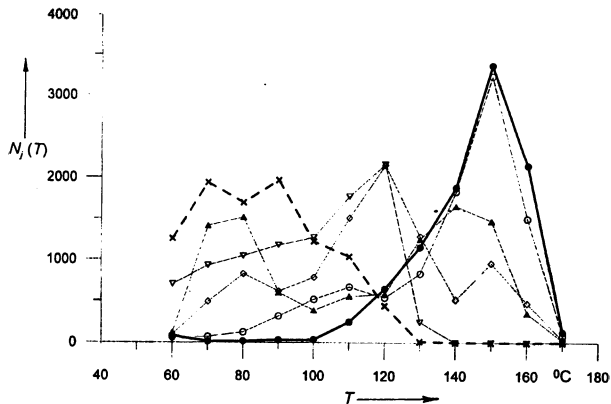


Рис. 2. Распределение числа циклов  $N_j$  в зависимости от температуры  $T$  конектора неподвижного контакта для интервалов  $\Delta T = 10$  °С: обозначения – на рис. 1

серебром также практически не изменила распределения температуры. При использовании остальных металлов количество циклов с  $T > 130^\circ\text{C}$  уменьшилось и с  $T < 130^\circ\text{C}$  увеличилось. Наиболее существенное улучшение температурного режима выключателей наблюдается при применении никеля. В этом случае температура не превышает  $130^\circ\text{C}$ , в то время как для выключателей с контактами из меди и со слоем серебра в 77 и 68 % циклов соответственно она выше  $130^\circ\text{C}$ .

На рис. 3 приведены результаты измерений микротвердости образцов меди методом Викерса, модифицированных методом динамического ионного перемешивания и необработанного образца. Как видно из рисунка, микротвердость всех модифицированных образцов превосходит микротвердость меди, а использование никеля увеличивает микротвердость меди более чем в два раза.

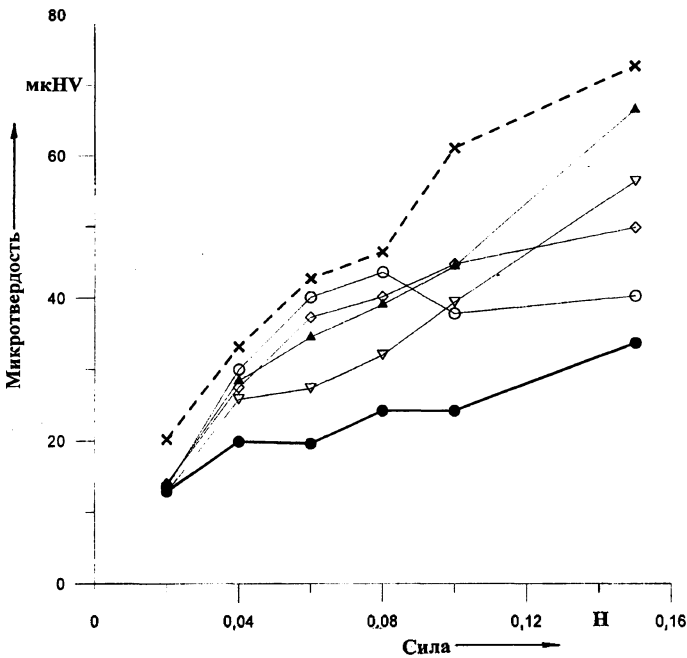


Рис. 3. Зависимость микротвердости Викерса мкНВ от силы давления  $F$ : обозначения – на рис. 1

Анализируя результаты электрических и тепловых испытаний модифицированных методом динамического ионного перемешивания контактов и механических свойств модифицированных слоев меди, можно сделать следующие выводы:

модификация методом динамического ионного перемешивания с использованием никеля, золота и вольфрама приводит к существенному уменьшению переходного сопротивления и температуры выключателей ( $\sim 250\text{ В}$ ,  $10\text{ А}$ ) в течение 10000 циклов включения–отключения;

защитное покрытие, содержащее молибден, хотя несколько и уменьшает переходное сопротивление и температуру, но является менее эффективным, чем при применении никеля, золота и вольфрама;

использование серебра практически не изменяет параметров выключателей, что может быть связано с его малой дугостойкостью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карват Ч., Жуковски П., Меконнен В. Мегерса. Изменение переходного сопротивления выключателей для приборов // Энергетика...(Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 2. – С. 43–50.
2. K a r w a t C z. The effect of nitrogen ion irradiation on the operational temperature regime of working surfaces of electrical contacts // Vacuum. – 2001. – Vol. 63. – № 4. – P. 665–669.
3. Ч у н и х и н А. А. Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. К а р в а т Ч. Установка для нанесения слоев методом динамического перемешивания // Вестник БГУ. – Сер. 1. – 2001. – № 1. – С. 31–34.
5. К а р в а т Ч. Применение ионных технологий для модификации материалов и элементов электротехнических устройств // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы IV междунар. конф. – Мн., 2001.

Представлена научным семинаром  
кафедры электрических  
устройств и ТВН

Поступила 12.11.2001