

**Завгородний В.В.,
Абрамов А.А.,
Кузьменко А.Г.**

Хмельницкий национальный университет,
г. Хмельницкий, Украина

МОДЕЛИ ИЗНАШИВАНИЯ НАКОНЕЧНИКОВ ТОКОПОДВОДЯЩИХ МУНДШТУКОВ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК

Введение

Увеличение времени работоспособности наконечников токоподводящих мундштуков сварочных горелок, применяемых при механизированной дуговой сварке в среде активных газов, является одной из актуальных научных и производственных задач. Наиболее часто такая задача решается путем разработки для наконечников новых более износостойких материалов и нахождения оптимального режима сварки заготовок разных толщин. Одновременно проводятся работы, направленные на установление влияния различных факторов на износ наконечников и закономерностей самого процесса изнашивания.

Данные о величине износа и интенсивности изнашивания любых материалов можно получить или путём проведения эксперимента в условиях реального сварочного процесса, или путём лабораторных испытаний в условиях, в значительной степени соответствующих реальным условиям. Первый путь получения данных является более точным, но требует, как правило, использования задействованного в технологический процесс сварочного оборудования, второй – позволяет проводить опыты на относительно несложных лабораторных установках.

Главной задачей лабораторных испытаний материалов на износ является получение достаточно количества необходимых экспериментальных данных, на базе которых можно, например, составить модели изнашивания этих материалов и оценивать по ним величины влияния на этот процесс интересующих факторов. Кроме того, модели изнашивания могут служить основой для прогнозирования величины износа материалов в условиях эксплуатации, если эти условия близки к условиям лабораторных испытаний.

Состояние вопроса

Известно, что износ отверстий в токоподводящих наконечниках происходит, в основном, путем их механического истирания сварочной проволокой и воздействия электроэрозии [1 - 4]. Механическая составляющая износа проявляет своё влияние на всех стадиях эксплуатации наконечников, электроэрозийная, – в основном, на более поздних стадиях, когда из-за значительного износа отверстия ослабляется контакт между его поверхностью и скользящей по ней сварочной проволокой.

Для такой схемы контактного взаимодействия интенсивность износа материалов автор [5] рекомендует рассчитывать по предложенному им универсальному уравнению модели изнашивания:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m(s), \quad (1)$$

где u_w – износ испытуемого материала;

s – путь трения;

k_w, m – параметры модели изнашивания;

σ – контактное давление.

При этом подчеркивается, что решение данного уравнения возможно лишь на основе имеющихся численных результатов износа интересующих материалов, определяемых путем проведения лабораторных испытаний. При их наличии необходимые расчеты могут проводиться по двум методам, исходя из принятия следующих начальных условий:

- метод 1 – начальная площадка соприкосновения пары контактирующих материалов (образец – контртело дисковой формы) представляет собой точку (нулевая площадка контакта);

- метод 2 – начальная площадка соприкосновения пары тех же контактирующих материалов по своим размерам равна площадке, характерной для начала установившегося износа (ненулевая площадка контакта).

Составление модели изнашивания в случае начальной площадки контакта в точке сводится к следующему [5]. Измеренные значения длины a_e и ширины b_e каждой из эллиптических канавок износа (рис. 1), которые образуются при испытании на поверхности образцов, приводятся к радиусу эквивалентной круговой площадки контакта a по формуле:

$$a = \left(\frac{a_e}{2} \cdot \frac{b_e}{2} \right)^{0,5} \quad (2)$$

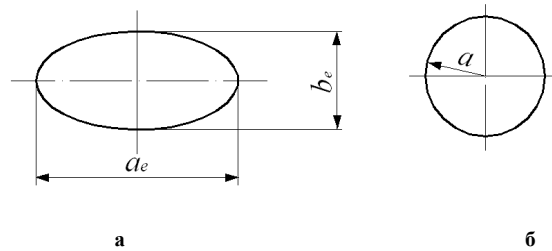


Рис. 1 – Площадки контакта образцов с контртелом:
а – эллиптическая;
б – эквивалентная круговая

Затем, на основе нескольких значений радиуса a эквивалентной круговой площадки контакта при различном пути трения S , полученных во время лабораторных испытаний, находится математическая зависимость $a(S)$ от пути трения S в виде степенной функции:

$$a(S) = cS^\beta \quad (3)$$

Параметр аппроксимации c в такой экспериментальной зависимости определяется по значению радиуса эквивалентной круговой площадки контакта a_1 (в начальной точке 1), параметр β – по двум значениям: a_1 и a_2 . В свою очередь, значения a_1 и a_2 рассчитываются по геометрическим размерам эллиптических канавок износа a_e и b_e на пути трения S_1 и S_2 .

Для расчета указанных параметров аппроксимации используются формулы:

$$c = \frac{a_1}{S_1^\beta}; \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2}. \quad (5)$$

Найденные значения параметров c и β позволяют определить параметры m и k_w модели изнашивания (1) по формулам (6) и (7):

$$m = \frac{1 - 2\beta}{2\beta}; \quad (6)$$

$$k_w = \frac{c^{2+2m\beta}}{R'_n (Q/\pi)^m}. \quad (7)$$

где R'_n – приведенный радиус условного шара, мм, значение которого рассчитывается на основе схемы лабораторных испытаний на износ (формула и методика расчета приведены ниже);

Q – сила прижима контртела к испытуемому материалу, Н.

При составлении модели изнашивания по методу с ненулевой начальной площадкой контакта параметры аппроксимации c и β находятся по формулам (4) и (5), параметры модели изнашивания m – из уравнения (8), k_w – из уравнения (9) [5]:

$$\frac{a_1^{2m+2} - a_0^{2m+2}}{a_2^{2m+2} - a_0^{2m+2}} = \frac{S_1}{S_2}; \quad (8)$$

$$k_w = \frac{a_1^{2m+2} - a_0^{2m+2}}{R'_n (2m+2)(Q/\pi)^m S_1}. \quad (9)$$

В уравнениях (8) и (9) a_0 представляет собою радиус эквивалентной круговой площадки контакта. Он рассчитывается по значениям a_e и b_e , зафиксированным на испытуемых образцах в момент начала установившегося износа.

Численные значения параметров модели изнашивания делали бы ее рабочей в режиме оценки износа токоподводящих наконечников сварочных горелок на производстве в том случае, если бы условия их работы не сильно отличались от условий лабораторных испытаний. Однако, реальные условия работы таких наконечников более напряженные, так как они, кроме механического износа проволокой, подвергаются дополнительному воздействию других факторов, в числе которых:

- электроэрозия из-за искрения в зоне контакта поверхности их отверстий с движущейся сварочной проволокой;
- нагрев из-за электроэрозии и их сопротивления протеканию электрического тока;
- увеличение размера отверстий вследствие износа, что приводит к уменьшению силы прижима сварочной проволоки к их поверхности, ухудшению электрического контакта и, следовательно, к росту воздействия электроэрозии;
- взаимовлияние с одной стороны силы прижима проволоки на величину износа отверстий и, с другой стороны, величины их износа на силу прижима к ним проволоки.

Цель работы

Целью данной работы является корректировка выражения модели изнашивания (1) для обеспечения возможности расчета интенсивности износа наконечников токоподводящих мундштуков сварочных горелок во время выполнения сварочных работ на основе определения величины механической составляющей их износа лабораторными испытаниями.

Методика и результаты работы

В работе первоначально рассчитаны параметры аппроксимации и параметры модели механического изнашивания наконечников, изготовленных из меди марки М1, меди Е-Сu и бронзы системы Cu-Cr-Zr, на основе результатов, полученных нами ранее во время их испытания на износ в лабораторных условиях [6]. Такие испытания проведены при нормальной температуре по схеме «диск-плоскость» при нагрузках от 0,8 до 12 Н на пути трения 55, 275 и 1104 м с использованием в качестве контртела дискового ролика радиусом R_1 (из меди М1) с ребордой, имеющей радиус округления контактной поверхности R_2 (рис. 2).

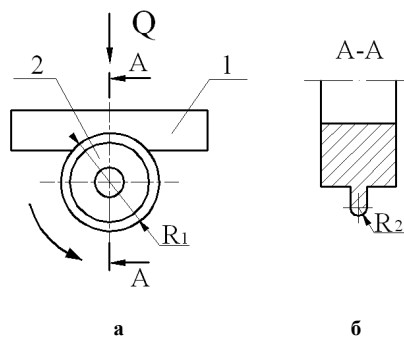


Рис. 2 – Схема испытания наконечников на износ (а) и вид ролика в сечении (б):

- 1 – наконечник;
2 – дисковый ролик (контртело)

Для представленной схемы испытания степенная функция (3), согласно [5], может находиться при условии, что линейные размеры a_e и b_e эллиптической площадки износа в контактной зоне значительно меньше радиусов \square и \square контактирующего с ними диска.

Для пользования уравнениями (7) и (9) приведенный радиус условного шара R_n^* рассчитывали по формуле $R_n^* = (R_1 \cdot R_2)^{1/2}$, в которой за R_1 принят радиус вращающегося ролика (25 мм), за R_2 – радиус кривизны контактной части реборды ролика в поперечном сечении (0,6 мм). Значение приведенного радиуса R_n^* составило 3,87 мм.

Результаты выполненных нами расчетов параметров аппроксимации и моделей изнашивания наконечников при воздействии на них механической составляющей представлены в табл. 1 - 3.

Для составления модели изнашивания наконечников, учитывающей одновременное влияние вышеперечисленных дополнительных факторов (электроэрозию и нагрев наконечников, ослабление прижима проволоки к их поверхности т.д.), проведены следующие производственные испытания. На шести наконечниках, изготовленных из каждого испытываемого материала (медь М1, медь Е-Сu и бронза системы

Cu-Cr-Zr), при выполнении механизированной дуговой сварки листового металла омедненной сварочной проволокой марки Св-08Г2С (использовался аппарат «КЕМРПИ»), измерялась величина их износа после 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 часов практически непрерывной работы сварщика и в момент появления признаков неустойчивого горения дуги.

Таблица 1

Значения параметров аппроксимации и параметров модели изнашивания наконечников из меди М1 при их испытании на износ дисковым роликом из меди М1

Сила прижима наконечников к ролику, Н	Параметры аппроксимации экспериментальной зависимости		Параметры модели изнашивания с нулевой начальной площадкой контакта		Параметры модели изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта	
	c	β	m	$k_w \cdot 10^{-7}$, (мм ² /Н) ^{β}	m	$k_w \cdot 10^{-8}$, (мм ² /Н) ^{β}
0,8	0,127	0,144	2,472	6,54	2,65	62,5
2,4	0,168	0,133	2,759	1,08	2,77	8,7
4,8	0,236	0,117	3,274	0,33	3,24	2,6
7,2	0,300	0,106	3,717	0,15	3,64	1,2
9,6	0,341	0,103	3,854	0,10	3,47	1,0
12,0	0,400	0,096	4,208	0,06	3,60	0,7

Таблица 2

Значения параметров аппроксимации и параметров модели изнашивания наконечников* из меди E-Cu при их испытании на износ дисковым роликом из меди М1

Сила прижима наконечников к диску, Н	Параметры аппроксимации экспериментальной зависимости		Параметры модели изнашивания с нулевой начальной площадкой контакта		Параметры модели изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта	
	c	β	m	$k_w \cdot 10^{-8}$, (мм ² /Н) ^{β}	m	$k_w \cdot 10^{-8}$, (мм ² /Н) ^{β}
0,8	0,114	0,149	2,356	45,1	2,67	51,0
2,4	0,191	0,121	3,132	8,3	3,42	7,1
4,8	0,163	0,144	2,472	4,4	2,31	3,7
7,2	0,329	0,097	4,155	0,8	4,15	0,7
9,6	0,353	0,099	4,051	0,7	4,13	0,6
12,0	0,435	0,088	4,682	0,3	4,76	0,3

Таблица 3

Значения параметров аппроксимации и параметров модели изнашивания наконечников* из бронзы системы Cu-Cr-Zr при их испытании на износ дисковым роликом из меди М1

Сила прижима наконечников к диску, Н	Параметры аппроксимации экспериментальной зависимости		Параметры модели изнашивания с начальной площадкой контакта в точке		Параметры модели изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта	
	c	β	m	$k_w \cdot 10^{-10}$, (мм ² /Н) ^{β}	m	$k_w \cdot 10^{-7}$, (мм ² /Н) ^{β}
0,8	0,040	0,176	1,841	60,0	1,05	70,0
2,4	0,040	0,190	1,632	30,0	1,24	40,0
4,8	0,080	0,149	2,356	6,4	2,23	6,2
7,2	0,112	0,133	2,759	2,5	2,43	3,3
9,6	0,147	0,120	3,167	1,0	2,95	1,2
12,0	0,206	0,101	3,950	0,2	4,08	0,13

*Примечание: изготовлены фирмой «Binzel».

При сварке поддерживались неизменными: сила сварочного тока 206 А, напряжение на дуге 19,2 В, скорость подачи проволоки 0,079 м/с. Количество израсходованной проволоки в метрах, а, следовательно, и пути трения за это время составили соответственно 143, 285, 428, 570, 713 и 1890 метров. Все пути трения, кроме последнего, разбили на участки, равные 143 метрам, чтобы каждый из них можно было рассматривать как путь, состоящий из суммы n одинаковых участков. Путь трения 1890 м был разбит на пять участков длиной 143 метра и участок длиной 1175 метров. Предположили также, что прижимная сила Q проволоки к наконечнику в пределах каждого участка пути изменяется линейно.

После отработки контрольного времени все наконечники были распилены вдоль продольной оси для установления формы отверстий и измерения их геометрических размеров. На рис. 2 видно, что форма отверстия на выходе из наконечника с увеличением пути трения последовательно всё больше приобретает вид усечённого конуса. В каждом наконечнике с помощью компаратора ИЗА-2 измерялись начальный диаметр его отверстия D_0 , диаметр отверстия на торце D_1 и высота усечённого конуса H (длина изношенной части вдоль продольной оси).

По результатам измерения были вычислены площади боковой поверхности усечённых конусов (площадок износа) $F_{\text{ок}}$ по выражению:

$$F_{\text{ок}} = \pi \cdot L \cdot \frac{D_1 + D_0}{2}, \quad (10)$$

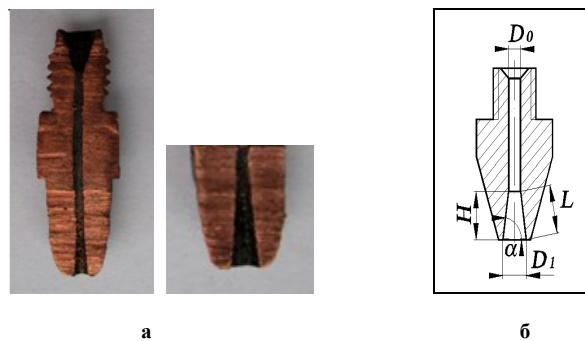


Рис. 2 – Внешний вид изношенного отверстия в наконечнике (а) и его геометрические параметры (б)

В выражении 10 величина L является длиной образующей конуса, которая, в свою очередь, рассчитывалась по формуле:

$$L = \frac{D_1 - D_0}{2 \cos \alpha}. \quad (11)$$

Очевидно, что величина боковой поверхности конуса $F_{\text{ок}}$ является одновременно величиной площади износа наконечника на определённом пути трения.

Далее, по методике I и формуле (12) произведён расчет прижимной силы Q_i^I сварочной проволоки к наконечникам в конце каждого i -го участка всего контролируемого пути трения [8].

$$Q_i^I = \frac{3}{2} \cdot \frac{E \cdot I}{L(D-d)} \cdot \left[1 - \frac{2(D-d) \cdot \sqrt{R_{12}^2 - L^2} + L^2 - 2R_{12}(D-d)}{\sqrt{L^4 - 4(D-d)^2 \cdot L^2}} \right]; \quad (12)$$

В этой формуле в качестве R_{12} принимается значение радиуса сворачивания сварочной проволоки в кольца после ее прохождения через подающие ролики. Величина R_{12} определялась непосредственными замерами на заводском сварочном оборудовании и составила 500 мм.

Величина Q_i^I является силой прижима сварочной проволоки к наконечнику в конце каждого участка пути. Начальной силой прижима для каждого из участков будет сила прижима проволоки в конце предыдущего отрезка Q_{i-1}^I . Таким образом, в пределах каждого отрезка пути происходит изменение силы прижима проволоки к наконечнику от величины Q_{i-1}^I до величины Q_i^I . Но, поскольку ранее в ра-

боте было принято, что изменение прижимной силы в пределах каждого отдельного участка носит линейный характер, то в качестве расчётного использовалось среднее значение этой силы Q_i^{cp} :

$$Q_i^{cp} = \frac{Q_{i-1}^I + Q_i^I}{2}. \quad (13)$$

При этом величины прижимных усилий изменяются на всех участках пути трения от Q_0^I изношенного наконечника до Q_n^I в конце каждого контролируемого пути трения. Измерения размеров наконечников показали: диаметр отверстия D_0 в неизношенных наконечниках из меди марки М1 составляет 1,4 мм, в наконечниках из меди Е-Сu и бронзы системы Cu-Cr-Zr – 1,22 мм. Величина прижимной силы Q_0^I сварочной проволоки к поверхности отверстий в неизношенных наконечниках из меди марки М1 составляет 0,88 Н, для наконечников из меди Е-Сu и бронзы системы Cu-Cr-Zr эти силы оказываются равными 1,26 Н.

Очевидно, что износ наконечника на каждом контрольном пути трения можно рассматривать как его суммарный износ на n - ом количестве участков одинаковой длины (по 143 метра), входящих в этот контрольный путь:

$$u_w(s) = \sum_{i=1}^n u_w^i [Q_i^{cp}(s)]. \quad (14)$$

После нахождения средних значений прижимных сил на всех шести путях трения аппроксимацией полученных данных получены зависимости $Q^{cp}(s)$ в виде экспонент:

$$\text{- для меди М1: } Q_{M1}^{cp}(s) = 0,7712 \cdot e^{-0,0019 \cdot s}; \quad (15)$$

$$\text{- для меди Е-Сu: } Q_{E-Cu}^{cp}(s) = 1,1710 \cdot e^{-0,0011 \cdot s}; \quad (16)$$

$$\text{- для бронзы Cu-Cr-Zr: } Q_{Cu-Cr-Zr}^{cp}(s) = 1,2584 \cdot e^{-0,0006 \cdot s}. \quad (17)$$

Далее, для всех наконечников по всем путям трения вычислены величины контактных давлений σ , аппроксимацией полученных результатов составлены зависимости $\sigma(s)$ в виде степенных функций:

$$\text{- для меди М1: } \sigma_{M1}(s) = 19247 \cdot s^{-2,2756}; \quad (18)$$

$$\text{- для меди Е-Сu: } \sigma_{E-Cu}(s) = 1718,4 \cdot s^{-1,7169}; \quad (19)$$

$$\text{- для бронзы Cu-Cr-Zr: } \sigma_{Cu-Cr-Zr}(s) = 290,17 \cdot s^{-1,26}. \quad (20)$$

Методом интерполяции произведен пересчёт параметров β , c , m , k_w , приведенных в табл. 1, по всем прижимным силам Q^{cp} для каждого из материалов наконечников и пути трения как для моделей изнашивания с начальной площадкой контакта в точке, так и для моделей изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта. Но, поскольку величины прижимных сил $Q^{cp}(s)$ зависят от пути трения, то и параметры моделей изнашивания сами являются функциями пути трения.

Для начальной площадки контакта в точке аппроксимацией интерполированных результатов получены зависимости $m(s)$ и $k_w(s)$ в виде линейных функций:

$$\text{- для меди М1: } m_{M1}(s) = 0,0009 \cdot s + 2,7919; \quad k_{w(M1)}(s) = -2 \cdot 10^{-10} \cdot s + 3 \cdot 10^{-7}; \quad (21)$$

$$\text{- для меди Е-Сu: } m_{E-Cu}(s) = 0,0012 \cdot s + 2,6640; \quad k_{w(E-Cu)}(s) = -10^{-10} \cdot s + 2 \cdot 10^{-7}; \quad (22)$$

$$\text{- для бронзы Cu-Cr-Zr: } m_{Cu-Cr-Zr}(s) = 0,0013 \cdot s + 1,7761; \quad k_{w(Cu-Cr-Zr)}(s) = -2 \cdot 10^{-12} \cdot s + 3 \cdot 10^{-9}. \quad (23)$$

Для ненулевой начальной площадки контакта параметры $m(s)$ и $k_w(s)$ представимы в виде:

$$\text{- для меди М1: } m_{M1}(s) = 0,0005 \cdot s + 2,9235; \quad k_{w(M1)}(s) = -2 \cdot 10^{-10} \cdot s + 3 \cdot 10^{-7}; \quad (24)$$

$$\text{- для меди Е-Сu: } m_{E-Cu}(s) = 0,0011 \cdot s + 2,8105; \quad k_{w(E-Cu)}(s) = -10^{-10} \cdot s + 2 \cdot 10^{-7}; \quad (25)$$

$$\text{- для бронзы Cu-Cr-Zr: } m_{Cu-Cr-Zr}(s) = 0,0016 \cdot s + 1,2236; \quad k_{w(Cu-Cr-Zr)}(s) = -3 \cdot 10^{-12} \cdot s + 4 \cdot 10^{-9}. \quad (26)$$

Затем вычислены:

- приведенный радиус R_p^* условного шара по схеме сопряжений контактирующих тел 34 TR1/TR3E [5], которая подходит для пары «токоподводящий наконечник – сварочная проволока», по формуле:

$$R_p^* = (R_1^* \cdot R_2^*)^{1/2}; \quad (27)$$

при этом:

$$R_1^* = \frac{R_{11} R_{21}}{R_{21} - R_{11}}; \quad (28)$$

$$R_2^* = R_{12}; \quad (29)$$

где R_{11} – радиус сварочной проволоки, равный 0,6 мм;

R_{21} – радиус выходного отверстия токоподводящего наконечника на торце ($R_{21} = D_1 / 2$);

R_{12} – значение радиуса сворачивания сварочной проволоки в кольца после ее прохождения через подающие ролики, равное 500 мм;

- радиус круговой эквивалентной площадки контакта a_n и величина площадки износа F_n испытуемого на производстве сварочного наконечника, рассчитанной по модели изнашивания с начальной площадкой контакта в точке, по формуле:

$$a_n^{2m+2}(s) = R \cdot k_w (2m + 2) (Q/\pi)^m s; \quad (30)$$

- радиус круговой эквивалентной площадки контакта $a_{не}$ и величина площадки износа $F_{не}$, рассчитанной по модели изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта, по формуле:

$$a_{не}^{2m+2}(s) = R \cdot k_w (2m + 2) (Q/\pi)^m s + a_0^{2m+2}. \quad (31)$$

Величины поверхностей износа наконечников, полученные расчетом по моделям изнашивания с нулевой F_n и ненулевой $F_{не}$ площадками контакта, отличаются от значений поверхностей износа $F_{ок}$ наконечников, измеренных нами при механизированной сварке во время проведения исследований на предприятии. Так, при расчетах по методу с начальной площадкой контакта в точке, поверхности износа наконечников из меди М1 на всех путях трения оказались меньшими величин износа тех же наконечников на производстве в среднем в 2,6 раза, при расчётах с ненулевой начальной площадкой контакта – в 2,8 раза.

Для наконечников из меди Е-Си расчётные значения площадей износа как с начальной площадкой контакта в точке F_n , так и с ненулевой начальной площадкой контакта $F_{не}$, оказались также более низкими по сравнению с величинами площадей износа наконечника $F_{ок}$ на производстве в среднем соответственно в 1,6 и 1,7 раза, для наконечников из бронзы – в среднем в 2,6 и 2,9 раза.

Столь существенные расхождения между расчётными (модельными) значениями и значениями величины износа наконечников при выполнении сварочных работ объясняются тем, что при составлении моделей изнашивания на основе результатов лабораторных испытаний и в дальнейших расчетах не учитывались, как уже подчеркивалось выше, электроэрозионная составляющая износа, влияние температуры на этот процесс и некоторые другие параметры.

Для устранения вышеуказанных недостатков моделей износа наконечников, составленных на основе лабораторных испытаний, и согласования полученных по ним результатов с результатами их износа на производстве, в данной работе предложено использовать поправочный множитель M .

Для моделей изнашивания с начальной площадкой контакта в точке и для моделей изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта значения этого коэффициента рассчитывались по следующим формулам:

$$M_n = \frac{F_{ок}}{F_n}; \quad (32)$$

$$M_{не} = \frac{F_{ок}}{F_{не}}. \quad (33)$$

Поправочные коэффициенты вычислялись для каждого материала по всем шести нагрузкам, по которым находилось среднее значение:

$$M_{cp} = \frac{M_n + M_{не}}{2}. \quad (34)$$

При этом коэффициенты M_{cp} меняют свои значения в зависимости от количества сварочной проволоки, прошедшей через наконечник, т.е. от пути трения. Аппроксимацией полученных результатов установлены экспоненциальные зависимости $M_{cp}^{np}(s)$:

$$\text{- для меди М1: } M_{cp(M1)}(s) = 1,4035 \cdot e^{0,0008 \cdot s}; \quad (35)$$

$$\text{- для меди Е-Сu: } M_{cp(E-Cu)}(s) = 1,0094 \cdot e^{0,0006 \cdot s}; \quad (36)$$

$$\text{- для бронзы Сu-Сr-Zr: } M_{cp(Cu-Cr-Zr)}(s) = 1,9697 \cdot e^{0,0004 \cdot s}. \quad (37)$$

Оценка погрешностей полученных выражений для моделей изнашивания наконечников с начальной площадкой контакта в точке и ненулевой начальной площадкой контакта через коэффициент погрешности $\Psi_{н,не}$, % по отдельным путям трения рассчитывалась по формуле:

$$\Psi_{н,не}, \% = \frac{M_{cp}(s) \cdot F_{н,не} - F_{\text{ок}}}{F_{\text{ок}}}, \% , \quad (38)$$

а окончательная погрешность расчётов износа по формуле:

$$\Psi_{срн,не}, \% = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Psi_{срн,не}, \% . \quad (39)$$

Средние значения погрешности расчётов износа наконечников, изготовленных из исследуемых материалов, по моделям изнашивания с нулевой начальной площадкой контакта в точке составили: для меди М1 – 10 %, для меди Е-Сu – 11 %, для бронзы системы Сu-Сr-Zr – 16 %. Средние значения погрешности расчётов износа наконечников по моделям изнашивания с ненулевой начальной площадкой контакта оказались практически такими же: для меди М1 – 7 %, для меди Е-Сu – 10 %, для бронзы системы Сu-Сr-Zr – 13 %.

Все результаты расчётов на износ наконечников из меди М1, меди Е-Сu и бронзы системы Сu-Сr-Zr сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты измерений и расчетов износа наконечников из различных материалов

Величины и параметры	Время испытания t , мин (в числителе), путь трения S , м (в знаменателе)					
	30/143	60/285	90/428	120/570	159/713	400/1890
I	2	3	4	5	6	7
Медь марки М1						
D_1 , мм	1,53	1,60	1,68	1,76	1,80	2,48
$F_{\text{ок}}$, мм ²	5,2	8,6	12,30	16,2	20,1	59,3
Q^I , Н	0,61	0,47	0,30	0,14	0,05	-
Q^{cp} , Н	0,75	0,54	0,39	0,22	0,10	0,03
$\sigma \cdot 10^{-2}$, МПа	14,4	6,3	3,2	1,4	0,5	0,05
R_p^* , мм	37,3	34,6	32,4	30,7	30,0	29,1
F_n , мм ²	2,89	5,21	7,07	8,32	9,04	9,59
$F_{не}$, мм ²	2,66	4,82	6,54	7,67	8,31	8,76
M_n	1,80	1,65	1,74	1,95	2,22	6,18
$M_{не}$	1,95	1,78	1,88	2,11	2,42	6,77
M_{cp}	1,88	1,72	1,81	2,03	2,32	6,48
Ψ_n , %	12,7	6,7	13,8	13,5	11,5	3,0
$\Psi_{не}$, %	19,7	1,4	5,3	4,6	2,5	5,9

Медь E-Cu						
l , мм	1,35	1,43	1,51	1,59	1,66	2,27
$F_{ок}$, мм ²	4,7	7,8	11,1	14,6	17,8	51,6
Продолжение таблицы 4						
l	2	3	4	5	6	7
Q^l , Н	0,99	0,82	0,65	0,49	0,34	-
Q^{cp} , Н	1,13	0,91	0,74	0,57	0,42	0,17
$\sigma \cdot 10^{-2}$, МПа	24,0	11,7	6,7	3,9	2,4	0,3
l , мм	52,0	43,2	38,2	35,0	32,9	25,2
F_n , мм ²	3,53	6,61	9,27	11,54	13,45	15,45
$F_{не}$, мм ²	3,40	6,29	8,83	10,99	12,76	14,43
M_n	1,33	1,18	1,20	1,27	1,32	3,34
$M_{не}$	1,38	1,24	1,26	1,33	1,39	3,58
M_{cp}	1,36	1,21	1,23	1,30	1,36	3,46
Ψ_n , %	17,4	1,7	8,6	12,2	17,1	6,0
$\Psi_{не}$, %	20,4	3,2	3,4	6,9	11,1	12,2
Бронза системы Cu-Cr-Zr						
l , мм	1,30	1,34	1,38	1,42	1,46	1,81
$F_{ок}$, мм ²	2,8	4,3	5,9	7,4	9,0	25,2
Q^l , Н	1,09	1,01	0,92	0,84	0,76	0,03
Q^{cp} , Н	1,18	1,05	0,97	0,88	0,80	0,40
$\sigma \cdot 10^{-2}$, МПа	42,1	24,4	16,4	11,9	8,9	1,6
l , мм	62,4	53,6	48,0	44,0	41,0	29,8
F_n , мм ²	1,06	1,98	2,83	3,62	4,34	5,22
$F_{не}$, мм ²	0,95	1,80	2,55	3,24	3,90	5,03
M_n	2,64	2,17	2,08	2,04	2,07	4,83
$M_{не}$	2,95	2,39	2,31	2,28	2,31	5,01
M_{cp}	2,78	2,28	2,20	2,16	2,19	4,92
Ψ_n , %	20,9	1,8	12,2	20,8	26,3	13,2
$\Psi_{не}$, %	29,1	7,5	1,1	8,1	13,5	16,4

Использование поправочного множителя M_{cp} делает необходимым замену параметра k_w в уравнении (1) на параметры k_w^i , k_w'' и k_w''' . При этом уравнения для расчётов общего износа наконечников в условиях сварочного процесса по каждому из исследуемых материалов примут вид:

$$\text{- для меди М1: } \frac{du_w}{ds} = k_w^i(s) \sigma^{m(s)}(s); \quad (40)$$

$$\text{- для меди E-Cu: } \frac{du_w}{ds} = k_w''(s) \sigma^{m(s)}(s); \quad (41)$$

$$\text{- для бронзы Cu-Cr-Zr: } \frac{du_w}{ds} = k_w'''(s) \sigma^{m(s)}(s). \quad (42)$$

где $k_w' = k_w \cdot M_{cp(M1)}$;

$k_w'' = k_w \cdot M_{cp(E-Cu)}$;

$k_w''' = k_w \cdot M_{cp(Cu-Cr-Zr)}$.

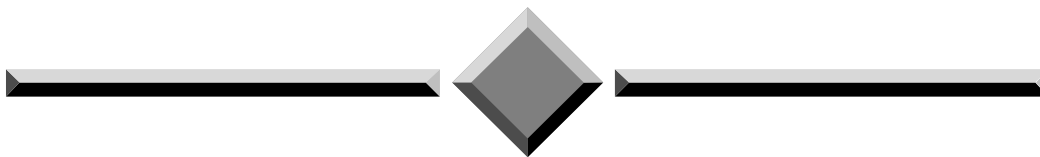
Выводы

Предложена методика составления модели общего (суммарного) износа наконечников токоподводящих мундштуков сварочных горелок при механизированной дуговой сварке в защитных газах на основе величины механической составляющей их износа, определенной во время лабораторных испытаний по схеме «диск-плоскость».

Литература

1. Бригидин В.Я. О работе токоподводящих наконечников при дуговой сварке // Сварочное производство. – 1979. – № 8. – С. 20-21.
2. Чубуков А.А. Влияние износа наконечника на технологические параметры процесса сварки // Сварочное производство. – 1980. – № 1. – С. 26-27.
3. Воропай Н.М., Бринюк М.В. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки // «Сварщик». – 2002. – № 4 (26). – С. 16-20.
4. Дмитрик В.В., Притула С.И. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок // Автоматическая сварка. – 2005. – № 3. – С. 44-47.
5. Кузьменко А.Г. Метод подобия в решении контактных задач для тел двоякой кривизны // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2008. – № 2. – С. 25-55.
6. Абрамов О.О., Завгородний В.В. Механічна складова зносостійкості струмопідвідних наконечників зварювальних пальників // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – № 2. – С. 36-40.
7. Завгородний В.В., Абрамов А.А. Сила прижима проволоки к поверхности токоподводящих наконечников сварочных горелок // Вісник ХНУ. – 2008. – № 5. – С. 51-58.

Надійшла 29.11.2010



ЧИТАЙТЕ
журнал
“Problems of Tribology”
во всемирной сети
INTERNET!

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>