

**Абрамов А.А.,
Завгородний В.В.**

Хмельницкий национальный университет,
г. Хмельницкий, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗНОСА НАКОНЕЧНИКОВ ТОКОПОДВОДЯЩИХ МУНДШТУКОВ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК

Постановка проблемы

Наконечники токоподводящих мундштуков сварочных горелок, используемые при механизированной и автоматической дуговой сварке и наплавке, в процессе работы подвергаются интенсивному износу, что в конечном итоге приводит к ухудшению их контакта со сварочной проволокой. Негативное влияние использования сварочных горелок с сильно изношенными наконечниками на качество сварных швов и наплавленных слоев металла известно и подробно описано в литературе, в том числе, в [1 - 4].

Авторы работ отмечают, что первоначально происходит механический износ отверстий наконечников из-за действия на них сил трения со стороны скользящей сварочной проволоки. В результате между указанными деталями формируется зазор, в котором собираются продукты этого износа – пыль, масла и другие загрязнения. Вследствие этого и того, что в процессе выполнения сварочных работ между наконечником и проволокой действует электрическое поле и имеется разность потенциалов, в зазоре между ними могут возникать различные по величине и интенсивности электрические разряды в виде искр и микродуг.

С этого момента все больше и больше начинает проявлять себя процесс электроэрозионного воздействия на наконечники, который в значительной степени увеличивает величину их общего (суммарного) износа. Всё это в конечном итоге приводит к снижению ресурса работы наконечников, снижению качества сварочных работ и производительности труда сварщика.

В немногочисленных литературных источниках приводятся сведения об определении величины электроэрозионной составляющей в общем износе наконечников. К ним относятся работы [1, 3], в которых приводятся результаты проведенных испытаний, показывающие, что величина электроэрозионного износа наконечников при сварке в углекислом газе проволокой марки Св-08Г2С может в 1,5 - 2 раза превышать величину их износа от механического истирания. Однако представленные данные касаются в работе [1] лишь меди марки М1 и кермета МКВ-10, в работе [3] – меди марок М0, М1 и кермета МКК.

В связи с тем, что в настоящее время широкое применение на производстве получили наконечники из меди и хромоциркониевой бронзы зарубежного производства, их электроэрозионные составляющие в общем износе наконечников практически не исследованы. Кроме того, в приведенных работах величина износа наконечников электроэрозией рассчитывалась как разность между величинами их общего износа при сварке и механической составляющей износа, зафиксированной во время стендовых испытаний при температуре окружающей среды. Однако, известно, что в процессе сварки поверхности отверстий наконечников, контактирующие с электродной проволокой, могут нагреваться до температур, превышающих температуру их рекристаллизации – до 700 - 750 К и выше [5]. Поэтому, величину электроэрозионной составляющей наконечников, по нашему мнению, целесообразно находить как разность между величинами их общего износа в условиях совместного воздействия трения и электроэрозии и механической составляющей износа, зафиксированной во время стендовых испытаний при нагреве до исследуемых температур.

Целью настоящей работы является определение доли электроэрозионной составляющей износа в структуре общего износа наконечников, изготовленных из меди М1, меди E-Cu (Binzel) и хромоциркониевой бронзы (Binzel), при действии на них сил трения и электрических разрядов.

Методика проведения эксперимента

Ранее проведенными лабораторными испытаниями [6, 7] авторы данной статьи определили величину износа испытуемых наконечников в результате действия на их поверхность сил трения (величину механического износа). Для определения доли электроэрозионной составляющей в величине общего износа наконечников за основу была взята та же лабораторная установка (рис. 1, а), которая использовалась при определении величины механического износа.

Образцами служили такие же контактные наконечники со сформированными на их внешней поверхности площадками (лысками), с поверхностью которых контактировал вращающийся ролик с тороидальной ребордой, что имитировало скольжение электродной проволоки по поверхности отверстия в наконечнике. Однако в данном случае в конструкцию испытательной установки были внесены изменения, которые позволили сделать наконечники элементом электрической цепи (рис. 1).

Если подвод электрического тока к образцу 1, неподвижно закрепленному в головке нагружающего устройства 10, не вызывал затруднений, то подвод тока к контртелу – вращающемуся ролику 13 с ребордой представлял собою более сложную задачу.

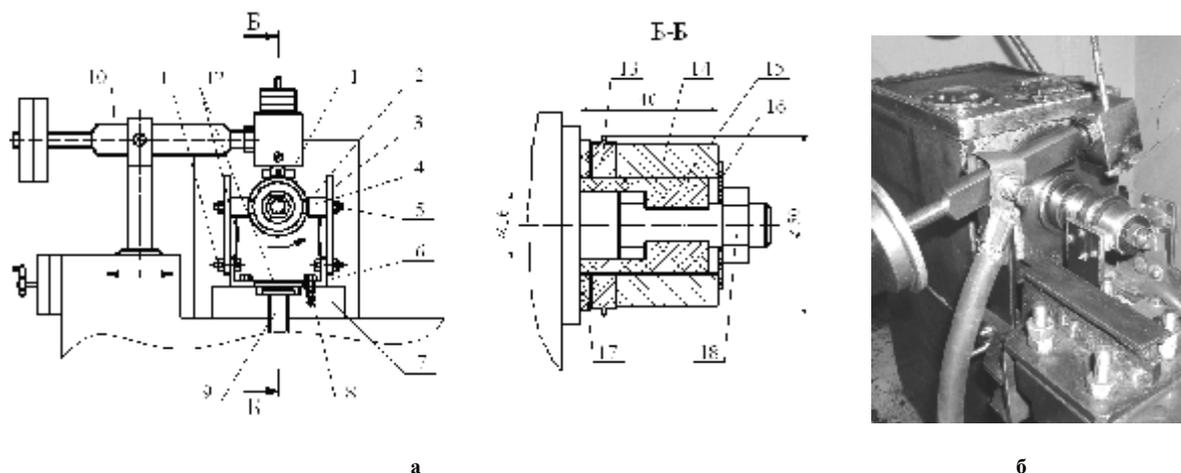


Рис. 1 – Схема установки (а) и общий вид ее рабочей зоны (б) для испытания образцов на электроэрозионный износ (б)

Для ее решения на суппорте токарного станка с помощью шпильки 9 закреплялась толстая пластина из текстолита 7, к которой болтами 8 привинчивались уголки 6 по одному с каждой стороны от оси вращения вала шпинделя. К этим уголкам болтами 11 прикреплялась текстолитовая стойка 3, служащая для закрепления на ней винтами 5 кожуха 4 из жести с размещенной внутри него меднографитовой щёткой 2, обеспечивающей непосредственный токосъём на латунную втулку 14. Прижим щётки к втулке обеспечивается пружиной, расположенной внутри кожуха за щёткой (на схеме пружина не показана). С целью обеспечения равномерности токосъёма обе щётки соединялись между собой медными шинами 12. Сама втулка вместе с роликом располагается на текстолитовой втулке 15 и поджимается гайкой 18. Между роликом и корпусом станка, а также между втулкой 14 и гайкой 18 находятся шайбы 16 и 17, также выполненные из текстолита. Применение изолирующих материалов вызвано необходимостью защиты механизмов токарного станка от электрического тока. Потенциал со знаком «-» подводился к ролику, потенциал со знаком «+» к образцу. В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель ВКСМ-1000.

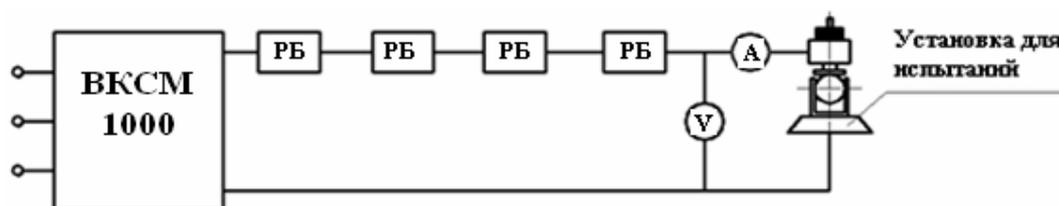


Рис. 2 – Схема подключения элементов установки к источнику питания

На рис. 2 представлена схема подключения испытательной установки к источнику питания при испытании образцов на износ, которая обеспечивает их изнашивание не только из-за действия сил трения, но и воздействия электрической эрозии. В состав схемы, помимо выпрямителя, входят четыре последовательно включенных балластных реостата РБ-302 (на схеме обозначены РБ), вольтметр и амперметр. С помощью балластных реостатов производилась ступенчатая регулировка величины тока.

Параметры проведения исследований по определению электроэрозионной составляющей совпадали с параметрами определения механической составляющей износа: использовалась схема испытаний «диск - плоскость», силы прижима образцов к ролику составляли 0,8; 2,4; 4,8; 7,2; 9,6 и 12 Н, которые соответствовали силам прижима сварочной проволоки к наконечнику на разных стадиях его износа [6]. Частота вращения ролика составляла 350 мин^{-1} , линейная скорость поверхности реборды ролика – 0,92 м/с, испытания при каждой нагрузке продолжались 20 минут, что обеспечивало прохождение пути трения 1104 метра.

При испытаниях использовался ролик из стали 40Х, термообработанный на твердость HRC 38. Внешний диаметр ролика по реборде составлял 50 мм, высота реборды равнялась 5 мм, толщина реборды с тороидальной поверхностью – 1,2 мм, что соответствовало диаметру проволоки, применяемой при механизированной сварке.

Измерения длины канавки износа, оставляемой роликом на поверхности испытуемого образца, проводились с помощью компаратора горизонтального типа ИЗА-2 с ценой деления 0,001мм.

Путём проведения пробных испытаний для исследования были выбраны три величины тока: 5, 8 и 11 А, при которых искрение было заметным (рис. 3). При меньших значениях тока искрение визуально не наблюдалось при силе прижима образцов к ролику в 9, 6 и 12 Н, в канавках износа практически отсутствовали лунки, кратеры, т.е. признаки электрического износа. При более высоких значениях тока и, особенно, при небольшой силе прижима (0,8 Н) искрение принимало непрерывный характер, вследствие чего поверхности образцов под роликом интенсивно выгорали.

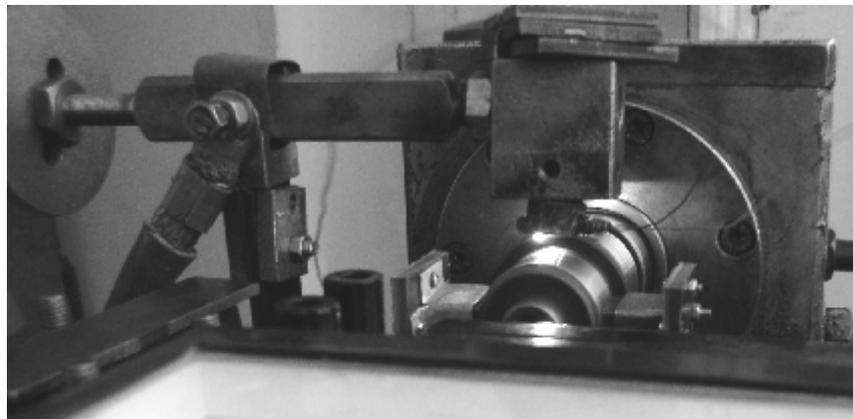


Рис. 3 – Вид искрения в зоне испытываемых наконечников

С целью измерения температуры образцов в ходе проведения эксперимента в каждый из них запрессовывалась хромель-копелевая термопара. Выводы термопары присоединялись к миллиамперметру с регистрацией значений протекающего по цепи тока через каждые 30 секунд, которые переводились в температуру нагрева по соответствующей таблице [7].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ результатов, представленных на рис. 4, показывает, что температура образцов - наконечников во время испытаний сначала росла довольно быстро – примерно до 600 К, после чего темп ее роста замедлялся. Заметно также, что в начале испытаний быстрее нагревались образцы из меди М1, медленнее всех – из хромоциркониевой бронзы. Однако с течением времени картина менялась: более нагретыми оказались наконечники из хромоциркониевой бронзы (ее теплопроводность самая низкая), менее нагретыми – из меди М1, которая имеет более высокую теплопроводность. Температура нагрева всех образцов с увеличением прижимной силы уменьшалась, что, по нашему мнению, связано с улучшением условий перехода электрического тока в зоне контакта ролика с наконечником.

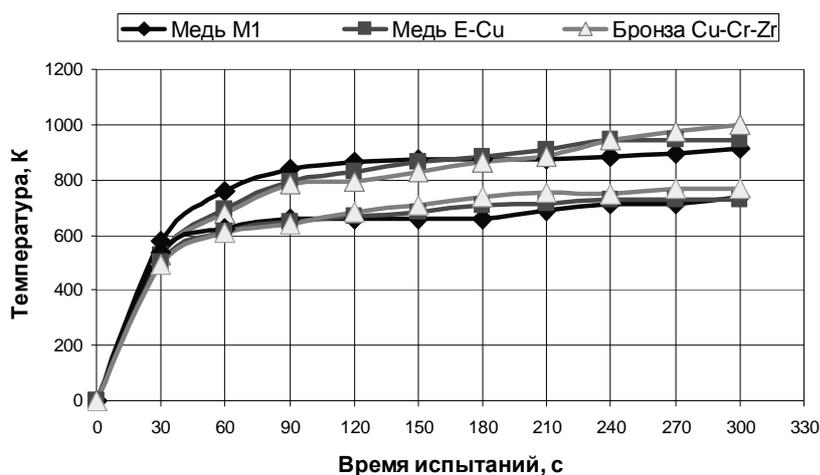


Рис. 4 – Температура нагрева наконечников во время испытаний:
(верхние три линии соответствуют силе прижима образцов к ролику в 2,4 Н, нижние – в 4,8 Н)

На рис. 5, а, б представлены фотографии образцов после проведения испытаний, на которых видно, что канавки износа имеют вытянутую форму. На дне канавок можно отчетливо рассмотреть лунки и кратеры, характерные для электрической эрозии.

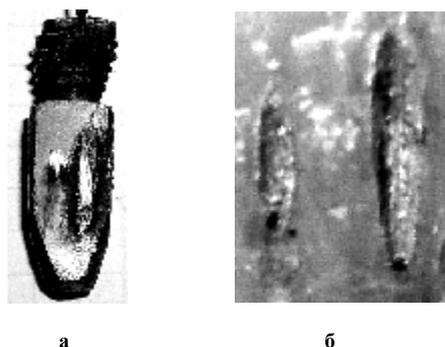


Рис. 5 – Виды канавок износа на образцах после испытаний на износ:
а – без увеличения; б – при десятикратном увеличении

Величину общего (суммарного) износа образцов-наконечников, определяемую при проведении таких испытаний, можно рассматривать как результат совместного воздействия на них механической и электроэрозионной составляющих. Поэтому величину электроэрозионной составляющей износа наконечников рассчитывали как разность между длинами канавок, зафиксированными на их поверхности при определении общего износа в данной работе, и длинами канавок, зафиксированными при определении величины их механического износа после нагрева пламенем горелки до температуры 773 К в ранее проведенных и опубликованных работах [8] и [9].

Результаты испытаний наконечников на общий, электроэрозионный и механический износ на пути трения 1104 м при разных прижимных усилиях и величинах тока приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения длин канавок на образцах, мм: от общего износа (слева в числителе), от механического износа при нагреве до 773 К (слева в знаменателе) и электроэрозионного износа (справа), полученные при разной силе прижима к ролику и тока в контактной зоне на пути трения 1104 м

Материал	Сила прижима образцов к ролику 0,8 Н						Сила прижима образцов к ролику 2,4 Н					
	сила тока I , А						сила тока I , А					
	5		8		11		5		8		11	
Медь М1	8,12	2,75	8,79	3,43	9,75	4,39	9,44	3,02	10,03	3,61	10,88	4,46
	5,37		5,36		5,36		6,42		6,42		6,42	
Медь Е-Cu	5,74	0,63	6,08	0,97	6,72	1,61	6,77	0,88	7,01	1,12	7,46	1,57
	5,11		5,11		5,11		5,89		5,89		5,89	
Бронза Cu-Cr-Zr	4,29	0,90	4,64	1,25	5,30	1,91	5,47	1,20	5,85	1,58	6,57	2,30
	3,39		3,39		3,39		4,27		4,27		4,27	
Материал	Сила прижима образцов к ролику 4,8 Н						Сила прижима образцов к ролику 7,2 Н					
	сила тока I , А						сила тока I , А					
	5		8		11		5		8		11	
Медь М1	9,58	2,30	10,40	3,12	11,03	3,75	10,07	1,61	11,13	2,67	11,75	3,29
	7,28		7,28		7,28		8,46		8,46		8,46	
Медь Е-Cu	7,54	0,83	7,89	1,18	8,83	2,12	8,42	0,93	9,25	1,76	9,48	1,99
	6,71		6,71		6,71		7,59		7,59		7,59	
Бронза Cu-Cr-Zr	6,43	1,22	6,95	1,74	7,89	2,68	7,24	1,30	7,82	1,88	8,37	2,43
	5,21		5,21		5,21		5,94		5,94		5,94	
Материал	Сила прижима образцов к ролику 9,6 Н						Сила прижима образцов к ролику 12 Н					
	сила тока I , А						сила тока I , А					
	5		8		11		5		8		11	
Медь М1	11,24	1,46	12,07	2,29	13,22	3,44	11,93	1,19	13,10	2,36	13,95	3,21
	9,78		9,78		9,78		10,74		10,74		10,74	
Медь Е-Cu	9,26	0,83	10,04	1,61	10,54	2,11	10,80	1,30	10,92	1,42	11,45	1,95
	8,43		8,43		8,43		9,50		9,50		9,50	
Бронза Cu-Cr-Zr	7,42	0,89	7,87	1,34	8,37	1,84	8,20	1,07	8,49	1,36	9,14	2,01
	6,53		6,53		6,53		7,13		7,13		7,13	

На основании приведенных экспериментальных данных вычислены средние значения (в %) доли электроэрозионной составляющей износа в общем износе испытуемых образцов (в диапазоне 5 - 11 А) для каждой из сил прижима ролика и силы электрического тока в контактной зоне. Зависимость таких долей электроэрозионной составляющей износа образцов от прижимных сил ролика представлена на рис. 6 и в виде экспоненциальных уравнений (1 - 3) типа $k = a \cdot e^{bQ}$ с достаточно высокой оценкой достоверности R^2 , где a и b – эмпирические коэффициенты, e – основание натуральных логарифмов, Q – сила прижима наконечника к ролику.

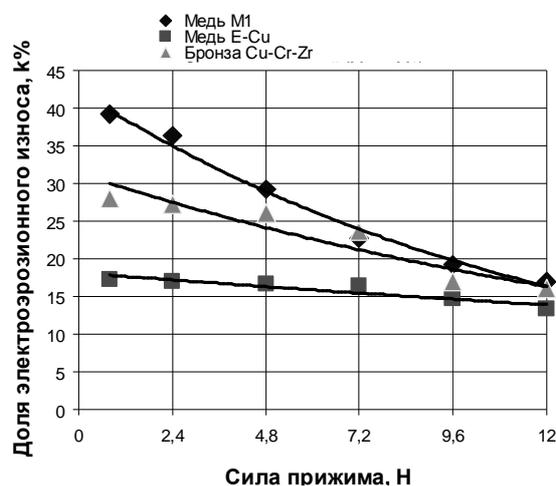


Рис. 6 – Зависимость доли электроэрозионного износа наконечника в его общем износе от силы прижима к нему ролика

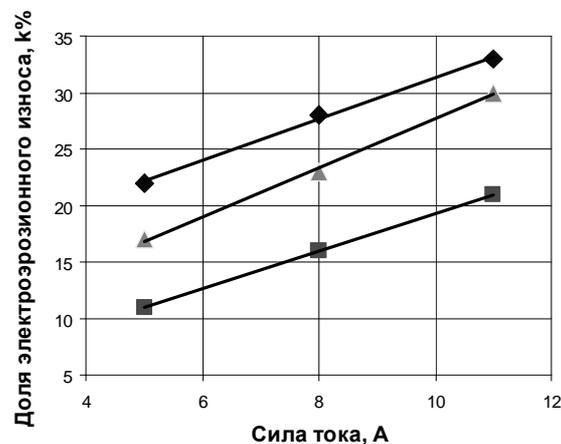


Рис. 7 – Зависимость доли электроэрозионного износа наконечника в его общем износе от силы тока в контактной зоне

- для меди марки М1: $k_{M1} = 42,354 \cdot e^{-0,0793Q}$, $R^2 = 0,9889$; (1)

- для меди системы Е-Сu: $k_{E-Cu} = 18,149 \cdot e^{-0,0224Q}$, $R^2 = 0,8798$; (2)

- для бронзы системы Cu-Cr-Zr: $k_{Cu-Cr-Zr} = 31,360 \cdot e^{0,054Q}$, $R^2 = 0,8968$, (3)

где Q – сила прижима ролика к образцу.

Зависимость средних долей электроэрозионной составляющей износа образцов от силы тока, протекающего через контактную зону, приведена на рис. 7 и описывается линейными уравнениями (4 - 6) типа $k = a \cdot I + b$ с оценкой их достоверности R^2 , где a и b – эмпирические коэффициенты, I – сила сварочного тока в контактной зоне.

- для меди марки М1:

$$k_{M1} = 1,833 \cdot I + 13, R^2 = 0,9973; \quad (4)$$

- для меди системы Е-Сu:

$$k_{E-Cu} = 2,167 \cdot I + 6, R^2 = 0,9980; \quad (5)$$

- для бронзы системы Cu-Cr-Zr:

$$k_{Cu-Cr-Zr} = 1,667 + 2,667I, R^2 = 1,0. \quad (6)$$

Вышеприведенные данные показывают, что с увеличением силы прижима наконечников к ролику с 0,8 до 12 Н растет величина их общего износа. Однако при этом доля электроэрозионного износа в общем износе наконечника уменьшается.

Уменьшение составляет:

- при силе тока 5 А для меди М1 с 34 до 11 % (в 3,1 раза), для меди Е-Сu с 12 до 10 % (в 1,2 раза), для хромоциркониевой бронзы с 21 до 11 % (в 1,9 раза);

- при силе тока 8 А для меди М1 с 39 до 10 % (в 3,9 раза), для меди Е-Сu с 16 до 13 % (в 1,2 раза), для хромоциркониевой бронзы с 27 до 16 % (в 1,7 раза);

- при силе тока 11 А для меди М1 с 45 до 23 % (в 2 раза), для меди Е-Сu с 24 до 17 % (в 1,4 раза), для хромоциркониевой бронзы с 36 до 21 % (в 1,7 раза).

В тоже время увеличение силы тока в месте контакта наконечника и ролика приводит к повышению общего износа наконечника и ещё более значительному росту его электроэрозионной составляющей.

На рис. 8 представлено графическое изображение совместного влияния силы прижима ролика к наконечнику и силы тока в контактной зоне на величину его электроэрозионного износа. Из рисунка видно, что доля электроэрозионного износа в структуре общего износа наконечников снижается при увеличении плотности контакта наконечника с роликом и возрастает при увеличении силы тока в той же контактной зоне.

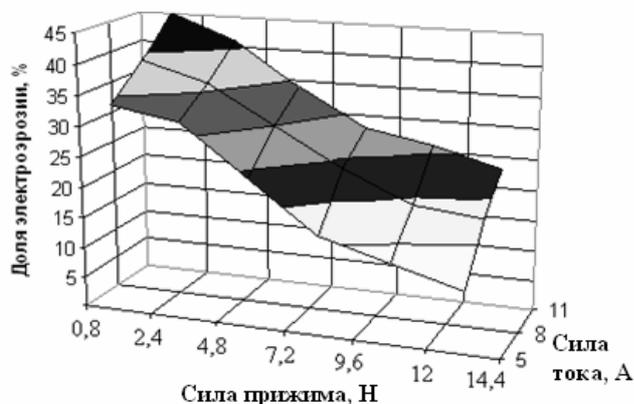


Рис. 8 – Влияние силы прижима ролика и силы тока в контактной зоне на долю электроэрозионного износа наконечника

Выводы

Предложен вариант определения доли электроэрозионного износа наконечников токоподводящих мундштуков сварочных горелок как разности между величинами их общего (суммарного) износа (при одновременном воздействии трения и электроэрозии) и механической составляющей износа, фиксируемой стендовыми испытаниями при их нагреве до температуры, превышающей температуру рекристаллизации.

Установлено, что доля электроэрозионного износа в структуре общего износа наконечников снижается при улучшении контакта наконечника с роликом и возрастает при увеличении силы тока в той же контактной зоне.

Получены сравнительные результаты общей и электроэрозионной стойкости наконечников, изготовленных из меди М1, меди E-Cu (Binzel) и хромоциркониевой бронзы (Binzel), при совместном действии на них сил трения и электрических разрядов.

Литература

1. Чубуков А.А. Влияние износа наконечника на технологические параметры процесса сварки // Свароч. пр-во. – 1980. – № 1. – С. 26-27.
2. Бригидин В.Я. О работе токоподводящих наконечников при дуговой сварке // Сварочное производство. – 1979. – № 8 – С. 20-21.
3. Чвертко А.И., Патон Б.Е., Тимченко В.А. Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. – М.: Машиностроение, 1981. – 264 с.
4. Воропай Н.М., Бринюк М.В. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки. // «Сварщик». – 2002. – № 4 (26). – С. 16-20.
5. Пентегов И.В., Петриенко О.И. Метод определения температуры проволоки на выходе из мундштука при механизированной сварке в защитных газах // Автомат. сварка. – 2005. – № 10 – С. 25-28.
6. Абрамов А.А., Завгородний В.В. Оптимизация геометрии наконечника токоподводящего мундштука для механизированной дуговой сварки // Автомат. сварка. – 2008. – № 1. – С. 53-55.
7. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, – 1990. – С. 86-87.
8. Абрамов О.О., Завгородний В.В. Механічна складова зносостійкості струмопідвідних наконечників зварювальних пальників // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – № 2. – С. 36-40.
9. Абрамов О.О., Завгородний В.В. Износостойкость меди и хромоциркониевой бронзы в условиях механического и электроэрозионного воздействия. // Вісник ДДМА. – Краматорськ, – 2011. – № 1 (22). – С. 6-11.

Надійшла 17.02.2012