

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, проф.,
Кудеников Е.Ю., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБЪЕМНОГО ИЗНОСА ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ОТ ГЛУБИНЫ ОБРАБОТКИ

kudеников@bk.ru

В процессе электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра нижние участки электрода-инструмента подвергаются воздействию боковых разрядов дольше, чем верхние, что приводит к увеличению погрешности формы получаемого отверстия. В статье анализируется зависимость величины возникающего объемного износа электрода-инструмента от глубины обработки. Установлено, что величина объемного износа возрастает с увеличением глубины обработки. На основе экспериментальных данных получена функция, наиболее точно моделирующая контур рабочей части электрода-инструмента. Описана методика оптимизации объемного износа, позволяющая определить величину дополнительного калибровочного прохода при заданном допуске на диаметр отверстия. Предложенный способ позволит повысить точность размерной электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра.

Ключевые слова: точность электроэрозионной обработки, конусность отверстий малого диаметра, объемный износ электрода-инструмента, калибровочный проход, торцевание электрода-инструмента, глубина электроэрозионной обработки.

Известно, что в процессе ЭЭО по зазору между стенками отверстия и ЭИ движется жидкость, насыщенная продуктами эрозии, которые создают условия для паразитных разрядов [1-5]. Так как нижние участки электрода-инструмента (ЭИ) подвергаются действию боковых разрядов дольше, чем верхние, то ЭИ в процессе обработки заостряется, что приводит к увеличению погрешности формы (в т. ч. конусности) получаемого отверстия. Для снижения величины конусности производится калибрование отверстия путем дополнительной подачи или повторная обработка отверстия отторцованным электродом-инструментом [6]. Характер износа и его величина в зависимости от глубины обработки изучены не были. При этом калибруется отверстие до прекращения боковых разрядов, что приводит к увеличению таких видов погрешности как конусность и овальность [7-10]. Методы оптимизации величины калибровочного прохода не разработаны. Настоящая работа направлена на изучение закономерностей объемного износа и разработку методики его оптимизации.

Для выявления математической модели зависимости (1) значения износа ЭИ по диаметру γ_d от величины подачи ЭИ h был проведен ряд экспериментов на электроэрозионном станке 04ЭП10М.

$$\gamma_d = f(h) \quad (1)$$

Эксперименты проводились на следующих режимах: частота генератора импульсов - 25 кГц; энергия импульса - 9,25 мкДж; материал электрода-детали - коррозионностойкая сталь 08X18H10T, электрода-инструмента - вольфрам

в виде проволоки, рабочая среда - вода водопроводная.

Эксперимент проводился следующим образом. Электродом-инструментом диаметром $d=100$ мкм прошивались отверстия с величиной подачи ЭИ $h=100\dots500$ мкм с шагом 100 мкм. После обработки каждого отверстия с помощью цифрового микроскопа Levenhuk D70L делался ряд снимков рабочей части ЭИ, после чего электрод-инструмент торцевался на величину, превышающую значение подачи на 50-100 мкм и производилась обработка следующего отверстия. На рис.1. представлены контуры рабочей части электрода-инструмента.

Анализируя форму износа электрода-инструмента, в качестве функции, описывающей контур рабочей части ЭИ, были предложены показательная функция (2) и функция эллипса (3).

$$\gamma_{d1}(r) = ab^r, \quad (2)$$

$$\gamma_{d2}(r) = h - h \left[1 - \frac{r^a}{a/2} \right]^{1/b}, \quad (3)$$

где a, b - коэффициенты, изменяющиеся в зависимости от глубины отверстия, h - величина подачи ЭИ, мкм, d - диаметр ЭИ, мкм.

С помощью системы Mathcad, используя экспериментальные значения длины изношенной части ЭИ γ_{d3} , находим коэффициенты a и b функций (2) и (3). Подставим их в (2) и (3) и найдем значения γ_{d1}, γ_{d2} в 6 точках (при $r=0\dots50$). Полученные значения для $h=100$ мкм сведем в табл.1.

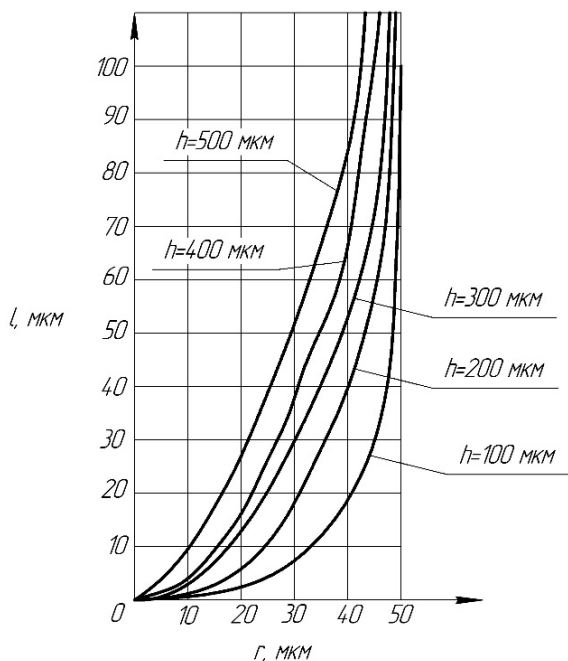


Рис. 1. Контуры рабочей части электрода-инструмента при величине подачи $h=100\dots500$ мкм.

Выполним аналогичные расчеты для других значений величины прохода ЭИ h , результаты сведем в табл.2.

Анализируя значения, представленные в табл.2, можно сделать вывод о том, что функция эллипса (3) более точно описывает форму рабочей части электрода-инструмента.

Найдем зависимость длины изношенной части электрода-инструмента γ_d от величины подачи ЭИ h через коэффициенты a и b функции (3). Для этого построим графики (рис.2) функций

$$a = f(h), \tag{4}$$

$$b = f(h), \tag{5}$$

Анализируя графики (рис.2), можно сделать вывод о том, что значение коэффициентов a и b изменяется по линейному закону. Определим вид функций (4) и (5):

$$a = -0.3686h + 3.2576, \tag{6}$$

$$b = 1.0862h + 1.6248 \tag{7}$$

Определим функцию зависимости длины изношенной части электрода инструмента γ_d от величины подачи h при заданном допуске на отверстие Δ , подставив вместо коэффициентов a и b функции (6) и (7):

$$\gamma_d(h) = h - h \cdot \left[1 - \frac{\Delta^{-0.3686h+3.2576}}{a} \right]^{\frac{1}{1.0862h+1.6248}} \tag{8}$$

Таблица 1

Сравнение экспериментальных значений величины износа ЭИ γ_d с расчетными в зависимости от радиуса r

r , мкм	0	10	20	30	40	50
γ_{d_3} , мкм	0	0.65	2.43	7.39	18.75	100
$\gamma_{d_1}(r)$, мкм	0.035	0.173	0.851	4.198	20.701	102.087
$\gamma_{d_2}(r)$, мкм	0	0.379	2.396	7.46	18.737	100
$(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_1}(r))^2$	1.225×10^{-3}	0.228	2.493	10.191	3.806	4.354
$(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_2}(r))^2$	0	0.073	1.129×10^{-3}	4.863×10^{-3}	1.74×10^{-4}	0
$\Sigma(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_1}(r))^2$	21.072					
$\Sigma(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_2}(r))^2$	0.079					

Таблица 2

Значения сумм квадратов отклонений экспериментальных значений γ_d от расчетных

h , мкм	100	200	300	400	500
$\Sigma(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_1}(r))^2$	21.072	125.202	387.488	840.553	1904
$\Sigma(\gamma_{d_3}-\gamma_{d_2}(r))^2$	0.079	5.685	7.861	9.585	11.48

Полученная зависимость (8) позволяет для конкретного рассматриваемого случая точно определить величину калибровки отверстия или торцевания электрода-инструмента, что позволит уменьшить конусность.

Таким образом, можно сделать следующие обобщающие выводы.

1) При электроэрозионной обработке малых отверстий объемный износ электрода-инструмента увеличивается с увеличением глубины обработки.

2) Описанный объемный износ ЭИ с наибольшей точностью моделируется зависимостью эллипсного типа.

3) Разработанная методика позволяет определить с высокой точностью величину дополнительного калибровочного прохода ЭИ после

«вскрытия» отверстия с целью обеспечения требуемой точности обрабатываемого отверстия.

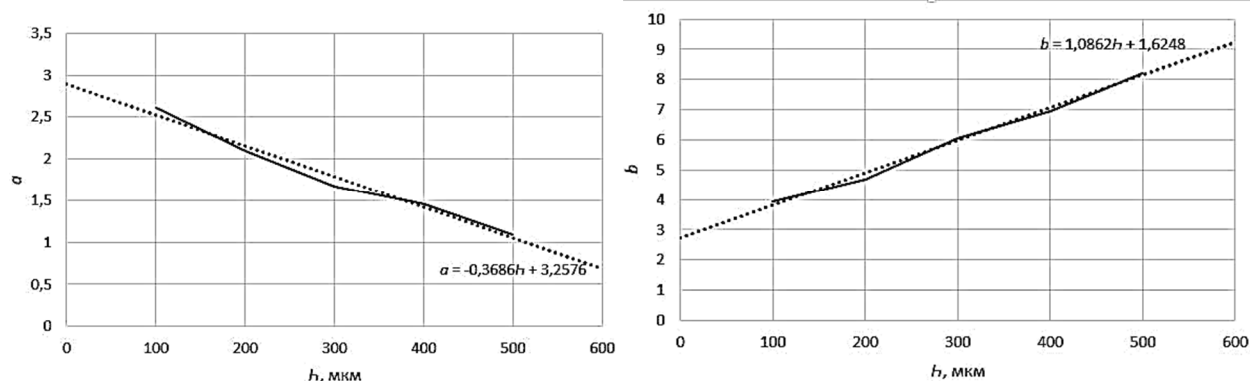


Рис. 2. Зависимость коэффициентов a (а) и b (б) от величины подачи ЭИ h .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левинсон Е.М., Лев В.С., Гуткин В.Г., Лившиц А.Л., Юткин Л.А. Электроразрядная обработка материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 256 с.
2. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки микроотверстий. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. 314 с.
3. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки. М.: Машиностроение, 1977. 44 с.
4. Попилов Л.Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 544 с.
5. Фатеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.
6. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов. М.: Машиностроение, 1950. 164 с.
7. Артамонов Б.А., Вишницкий А.Л., Волков Ю.С., Глазков А.В. Размерная электрическая обработка металлов. М.: Высш. школа, 1978. 336 с.
8. Левинсон Е.М. Отверстия малых размеров. Л.: Машиностроение, 1977. 152 с.
9. Гуткин Б.Г. Автоматизация электроэрозионных станков. Л.: Машиностроение, 1971. 160 с.
10. Левинсон Е.М., Лев В.С. Электроэрозионная обработка металлов. Л.: Лениздат, 1972. 328 с.

Boyko A.F., Kudenikov E.U.

RESEARCH OF DEPENDENCE OF WEAR ELECTRODE-TOOL FROM THE DEPTH OF PROCESSING

During EDM holes of small diameter portions of the lower electrode-tool bits are exposed to the side longer than the upper, which leads to increased errors resulting from the opening. The article analyzes the dependence of emerging volumetric wear of the electrode-tool machining depth. It is found that the magnitude of the volumetric wear increases with the depth of processing. Based on experimental data obtained by the function that most closely simulates the contour of the working part of the tool-electrode. A method for optimizing the volumetric wear, which allows to determine the amount of additional calibration passes at a given tolerance on hole diameter. The proposed method will increase the accuracy of dimensional electrical discharge machining of small diameter holes.

Key words: precision EDM, taper holes of small diameter, volumetric wear of the electrode-tool calibration run, trimming tool-electrode EDM depth.

Кудеников Евгений Юрьевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. E-mail: kudenikov@bk.ru

Бойко Анатолий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.