

DOI: 10.12737/24719

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ 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 профиль полученных методом электроэрозионной обработки отверстий. Установлено, что величина конусности возрастает с увеличением глубины обработки. Экспериментально подтверждена адекватность методики определения величины дополнительного калибровочного прохода с использованием функции эллипса. Полученные данные позволяют 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. При этом прецизионная обработка микроотверстий в большинстве случаев выполняется на заключительных этапах технологического процесса, что значительно повышает затраты в случае получения брака. Для снижения величины конусности производится калибрование отверстия путем дополнительной подачи или повторная обработка отверстия отторцованным электродом-инструментом [6]. При этом калибровка путем дополнительной подачи ЭИ проводится до прекращения боковых разрядов [7–11], что зачастую приводит к превышению допуска на диаметр отверстия в верхней части обрабатываемой детали, а торцевание ЭИ с последующей калибровкой отверстия значительно снижает производительность обработки. Предложенный в [12] метод определения величины калибровочного прохода основывается на измерении бокового износа электрода-инструмента и позволяет математически описать контур рабочей части ЭИ с помощью функции эллипса при различных режимах обработки. При этом степень соответствия контура рабочей части ЭИ профилю получаемого отверстия изучены не были.

Настоящая работа направлена на изучение профиля отверстий, получаемых методом ЭЭО, определения степени соответствия их контуру рабочей части ЭИ, а также на определение величины дополнительного калибровочного прохода.

Для определения профиля получаемых микроотверстий на электроэрозионном станке 04ЭП10М был проведен эксперимент при следующих режимах обработки: частота генератора импульсов – 25 кГц; энергия импульса – 352,56 мкДж; материал электрода-детали – коррозионностойкая сталь в виде 10 скрепленных между собой бритвенных лезвий толщиной 100 мкм каждое, материал электрода-инструмента – вольфрам в виде проволоки, рабочая среда – вода водопроводная.

Эксперимент проводился следующим образом. В качестве обрабатываемой детали использовались 10 бритвенных лезвий, плотно скрепленных между собой механическим способом. Электродом-инструментом диаметром $d=100$ мкм прошивалось сквозное отверстие. Обработка останавливалась сразу после «вскрытия» отверстия. Далее лезвия раскреплялись и с помощью цифрового микроскопа Levenhuk D70L выполнялась серия снимков рабочей части ЭИ и полученных отверстий на каждом лезвии. На рис. 1. представлены снимки полученных отверстий.

Анализируя рис. 1. следует отметить, что с увеличением глубины обработки диаметр отверстий уменьшался, причем в лезвиях, установленных последними в связке, диаметр

полученных отверстий значительно меньше, чем в верхних. На практике при обработке подобного отверстия без калибровочного прохода это привело бы к браку изделия.

Снимок рабочей части электрода-инструмента приведен на рис. 2.

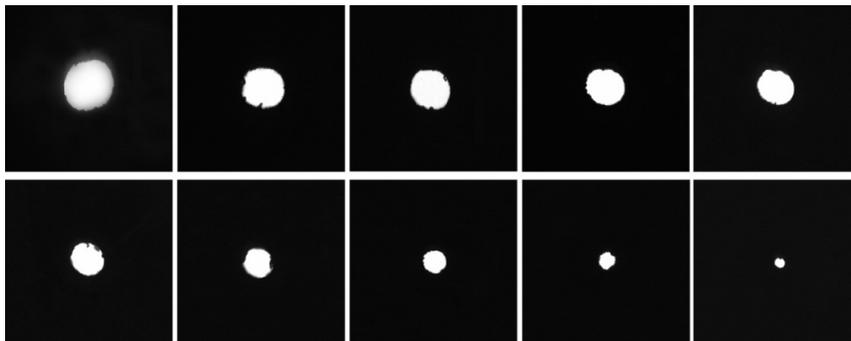


Рис. 1. Снимки отверстий, полученных в лезвиях, находящихся на различных глубинах обработки



Рис. 2. Снимок рабочей части электрода-инструмента

Определим диаметры полученных отверстий, а также диаметр электрода-инструмента в соответствующих точках, полученные данные представим в виде рис. 3.

Определим величину зазора между электродом-инструментом и обработанным отверстием, значения сведем в табл. 1.

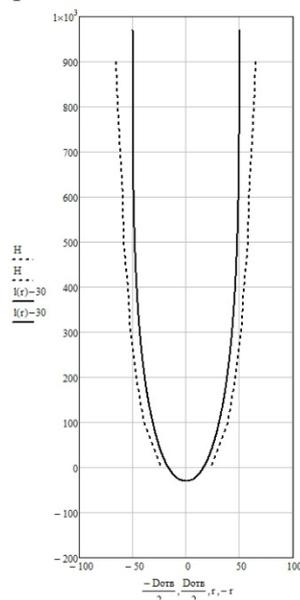


Рис. 3. Контуры рабочей части электрода-инструмента (сплошные линии) и полученного отверстия (пунктирные линии)

Анализируя рис.3 и табл.1 можно сделать вывод о том, что профиль полученного отверстия соответствует профилю рабочей части электрода-инструмента, при этом по причине различного времени воздействия боковых разрядов зазор между ЭИ и стенками отверстия с увеличением глубины уменьшается.

Для анализа величины бокового износа электрода-инструмента опишем математически закон изменения его контура с помощью

функции эллипса по методике, описанной в [12]. Получим следующую функцию:

$$l(r) = 1000 \left[1 - \left(1 - \frac{r \cdot 2.106}{50} \right)^{1/3.269} \right] \quad (1)$$

Представим совместно экспериментально полученные контур рабочей части ЭИ и профиль отверстия с математически описанным контуром ЭИ на рис. 4.

Таблица 1

Значения величины зазора между электродом-инструментом и обработанным отверстием

№ отверстия (1 – соответствует. нижнему лезвию в связке, 10 - верхнему)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина зазора, мкм	3,4	4,8	4,8	5	6	8,6	9,2	11,7	13,3	15,3

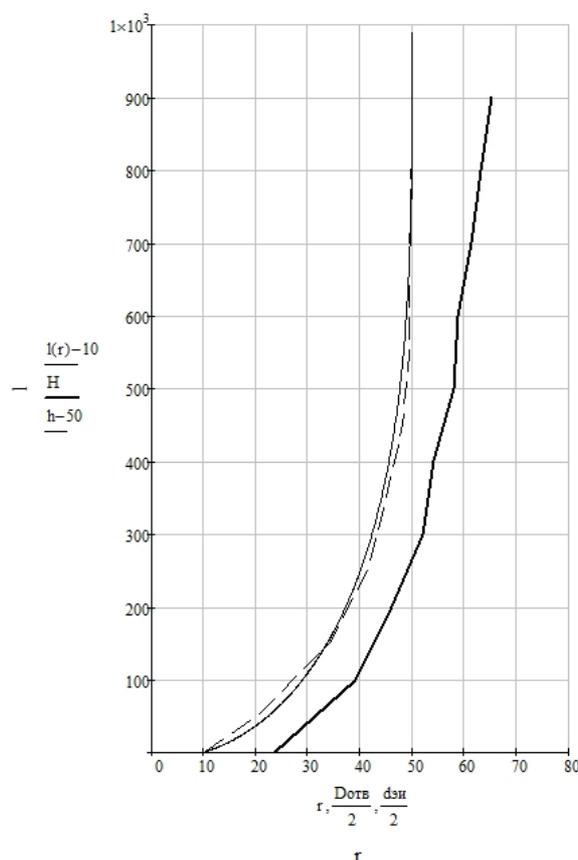


Рис. 4. Контур рабочей части электрода-инструмента, полученный экспериментально (штриховая линия), описанный математически (сплошная тонкая линия) и профиль полученного отверстия (сплошная толстая линия)

Анализируя рис.4. можно сделать вывод о том, что методика, описанная в [12], позволяет корректно описать математически с помощью функции эллипса контур рабочей части электрода-инструмента, который соответствует профилю получаемого отверстия.

Для снижения конусности получаемых методом ЭЭО отверстий рекомендуется выполнять дополнительный калибровочный проход. Для определения его величины достаточно знать за-

кон изменения контура рабочей части электрода-инструмента для данных условий обработки. Например, для условий данного эксперимента, при отрицательном допуске на диаметр отверстия 10 мкм величина дополнительного калибровочного прохода составит 390 мкм.

Таким образом, можно сделать следующие обобщающие выводы.

1) При электроэрозионной обработке прецизионных отверстий с увеличением

глубины обработки увеличивается конусность получаемых отверстий.

2) По причине различного времени воздействия боковых разрядов зазор между ЭИ и стенками отверстия с увеличением глубины обработки уменьшается.

3) Для обеспечения заданного допуска на диаметр отверстия необходимо выполнять дополнительный калибровочный проход, определяя его величину с помощью полученной зависимости.

4) Для определения величины дополнительного калибровочного прохода необходимо математически с помощью функции эллипса описать закон изменения контура рабочей части электрода инструмента.

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.
11. Puertas I., Luis C.J. A study on the machining parameters optimization of electrical discharge machining // Journal of materials processing technology. 2003. №1. С. 521–526.
12. Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Исследование зависимости объемного износа электрода инструмента от глубины обработки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №9. С. 122–124.

Kudenicov E.U., Boyko A.F.

RESEARCH PROFILE PRECISION HOLES, OBTAINED BY ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

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 profile obtained by EDM holes. It is found that the taper value increases with machining depth. Experiments confirmed the adequacy of the methodology for determining the value of additional calibration pass, using the ellipse function. The data will improve 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.