



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

УДК 621.9.048

М.Г. КИСЕЛЕВ, д-р техн. наук, проф.

заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: kiselev.maikl@gmail.com

С.Г. МОНИЧ, канд. техн. наук

ассистент кафедры «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: kayak88@yandex.by

П.С. БОГДАН

ассистент кафедры «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: bpc@mail.ru

А.С. НИЧИПОРУК

студент приборостроительного факультета¹

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20.12.2017.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА И УСЛОВИЙ ЕГО ПРОТЕКАНИЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЕДИНИЧНОЙ ЛУНКИ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ЕЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Статья посвящена экспериментальному исследованию влияния энергии электрического разряда и условий его протекания (на воздухе и с применением дистиллированной воды) на геометрические параметры единичной лунки, получаемой на образце из стали У8А, а также на микротвердость ее поверхностного слоя. Изложены вопросы методики проведения экспериментальных исследований, включая описание устройства для получения единичных лунок на поверхности стального образца, а также методов и средств измерения их геометрических параметров и микротвердости поверхностного слоя. Представлены и проанализированы результаты проведенных исследований, позволившие количественно оценить влияние энергии электрического разряда и условий его протекания на изменения геометрических параметров единичной лунки и микротвердость ее поверхностного слоя. Установлено, что с повышением энергии электрического разряда размеры геометрических параметров единичной лунки увеличиваются и одновременно возрастает микротвердость ее поверхностного слоя. При этом по сравнению с обработкой на воздухе использование дистиллированной воды приводит к уменьшению как размеров геометрических параметров лунки, так и микротвердости ее поверхностного слоя.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, модифицирование поверхности, режущая способность, микротвердость, металлография, штрипса

Введение. Ранее проведенными исследованиями [1–4] установлено, что поверхность после электроэрозионной обработки обладает режущей способностью, т. е. она способна снимать стружку с материалов, уступающих по твердости металлу поверхности. Эту способность ей придают образовавшиеся по краям перекрывающих друг друга лунок наплывы металла. С целью повышения этой способности поверхности, авторами [5–8] предложено

осуществлять ее электроэрозионную обработку без перекрытия лунок, т. е. проводить ее электроэрозионное модифицирование. В этом случае по краям единичных лунок образуются наплывы металла большего размера (рисунок 1), которые выходят за исходный контур поверхности и представляют собой малоразмерные режуще-деформирующие элементы, способные разрушать материал, твердость которого ниже твердости металла наплывов.

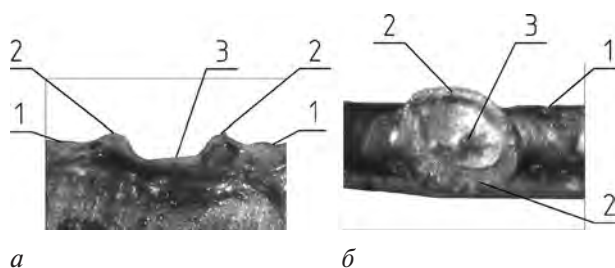


Рисунок 1 — Фотография единичной лунки, полученной на поверхности стальной штрипсы: а — вид сбоку; б — вид в плане; 1 — положение исходной поверхности штрипсы; 2 — наплывы металла по краю лунки; 3 — лунка

Влияние энергии электрического разряда, его длительности, состава рабочей жидкости и других факторов на размеры единичной лунки определялось многими исследователями [9–12]. Однако в этих работах оценивалось влияние выше перечисленных факторов на диаметр лунки в плане и ее глубину, а также на их отношение, исходя из условия обеспечения максимальной производительности процесса электроэрозионной обработки. По этой причине вопросы, касающиеся изучения геометрических параметров наплывов металла по краю лунки, и их соотношение с ее диаметром и глубиной, а также микротвердости поверхности наплывов металла, остались без должного внимания. Вместе с тем, если речь идет о придании модифицированной поверхности режущей способности, изучение этих вопросов имеет первостепенное значение. В этой связи цель данной работы заключалась в экспериментальном исследовании влияния энергии электрического разряда и условий его протекания на геометрические параметры единичной лунки, включая образовавшиеся по ее краю наплывы металла, и на микротвердость полученного на ней поверхностного слоя.

Методика проведения экспериментальных исследований. В качестве образцов использовались полосы из стали У8А длиной 110 мм, шириной 8 мм и толщиной 0,3 мм с полированной поверхностью ($Ra = 0,3$ мкм). Для получения на ней единичных лунок использовалось специальное устройство, схема которого представлена на рисунке 2.

Устройство состоит из основания 1, выполненного из диэлектрического материала (дерева), на поверхности которого устанавливается образец 2. В качестве электрода-инструмента используется тонкая стальная (У8А) проволока 5 диаметром 0,3 мм, установленная в направляющей втулке 4 и кондукторной втулке 3, расположенной от поверхности образца на расстоянии 3–3,5 мм. Образец и проволока включены в электрическую цепь, состоящую из накопительного конденсатора C , токоограничивающего резистора R и источника питания постоянного тока ИП.

Для получения на поверхности образца единичной лунки проволоке вручную сообщалось однократное перемещение сверху вниз до кон-

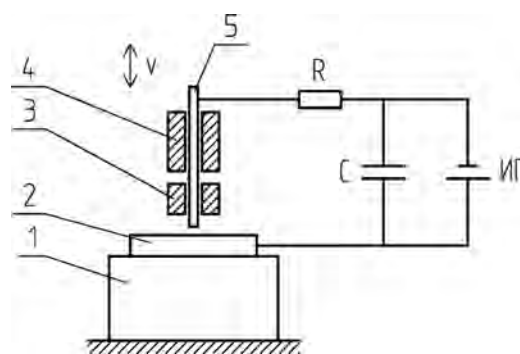


Рисунок 2 — Схема устройства получения единичных лунок на поверхности стального образца

такта ее торцевой поверхности с поверхностью образца. В процессе их сближения на расстоянии, соответствующем минимальному межэлектродному промежутку (МЭП) между ними возникал электрический разряд, в результате чего на поверхности образца формировалась единичная лунка. Применение тонкой проволоки позволяет локализовать зону прохождения электрического разряда, а использование кондукторной втулки обеспечивает его точное позиционирование на поверхности образца, т. е. точное расположение на ней единичной лунки. Для получения на поверхности образца следующей лунки он соответствующим образом перемещался на основании.

В ходе проведения экспериментов за счет изменения напряжения U накопительного конденсатора и его емкости C изменялось значение энергии электрического разряда $E = CU^2 / 2$ в пределах от 0,5 Дж до 4,5 Дж. В одной серии экспериментов формирование лунки осуществлялось на воздухе, а в другой — с использованием дистиллированной воды, которая в виде капель предварительно наносилась на поверхность образца. Во всех экспериментах использовалась прямая полярность, т. е. анодом являлся образец. При неизменном значении энергии разряда и условий его протекания на поверхности образца получали пять лунок, параметры которых (рисунок 3) определялись как их средние арифметические значения.

Исследуемыми параметрами единичной лунки являлись диаметр лунки в плане d_0 ; диаметр наплывов металла по краю лунки d_n , их ширина b_n и высота h_n , глубина лунки h_l относительно положения исходной поверхности и общая глубина лунки H_l с учетом наплывов металла по ее краю.

С помощью микроскопа ММИ-2 с ценой деления 5 мкм измерялись диаметр лунки в плане d_0 и диаметр наплывов металла d_n . При этом измерения этих параметров осуществлялись в двух взаимно перпендикулярных направлениях, и по их результатам вычислялись средние значения d_0 и d_n . Глубина лунки H_l определялась по результатам измерений ее двух составляющих: h_l и h_n . Высота наплывов металла по краю лунки h_n оценивалась как разность толщины образца в исходном состоянии

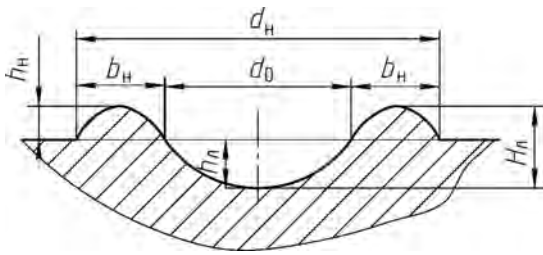


Рисунок 3 — Схематическое представление профиля сечения единичной лунки

$V_{исх}$ и после формирования на его поверхности лунки с наплывами металла $V_{мод}$ ($h_n = V_{мод} - V_{исх}$). Измерялись указанные параметры с помощью микрометра МК-25 с ценой деления 1 мкм.

Для определения глубины лунки h_n применялся метод получения слепков с помощью протакрила, обладающего высокой способностью заполнять неровности поверхности и малой усадкой при затвердевании. Им заполнялась лунка с таким расчетом, чтобы часть протакрила покрывала исходную гладкую поверхность образца. После затвердевания протакрила полученный слепок отделялся от образца и своей плоской (базовой) поверхностью фиксировался на поверхности концевой меры длины. Затем с помощью вертикального длиномера ИЗВ-6 с плоским измерительным наконечником и ценой деления 1 мкм измерялась высота h_n относительно базовой поверхности слепка, которая соответствует глубине лунки h_n .

С использованием полученных значений этих параметров также вычислялись их соотношения, характеризующие влияние энергии электрического разряда и условий его протекания на изменение формы и размеров полученных лунок. В частности, отношения d_n / d_0 , b_n / h_n , b_n / h_n и H_n / h_n , которые отражают изменение как диаметральных, так и высотных параметров получаемых единичных лунок.

Исследование микроструктуры проводилось на подготовленных соответствующим образом металлографических шлифах с помощью светового микроскопа «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при

увеличении 50^x и 200^x. Микротвердость металла поверхностного слоя измерялась на микротвердомере «Micromet-11» с нагрузкой 100 г по ГОСТ 9450-76.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Влияние энергии электрического разряда и условий его протекания на значения геометрических параметров единичной лунки отражают данные, представленные в таблице.

Из анализа представленных данных следует, что с увеличением энергии E электрического разряда значения исследуемых геометрических параметров единичной лунки возрастают. Так, с повышением E с 0,5 до 4,5 Дж при обработке на воздухе диаметр лунки в плане d_0 увеличился с 525 до 750 мкм, а диаметр наплывов металла d_n по ее краю — с 585 до 1240 мкм. При этом их отношение d_n / d_0 возросло с 1,11 до 1,65, а ширина наплывов металла b_n увеличилась в восемь раз — с 30 до 245 мкм. Аналогичным образом повышение энергии разряда влияет на указанные параметры лунки при использовании в качестве диэлектрической жидкости дистиллированной воды. Отличие состоит лишь в том, что по сравнению с обработкой на воздухе значения этих параметров лунки оказываются меньше. Так при $E = 0,5$ Дж значения d_0 , d_n и b_n составили 510, 550 и 20 мкм соответственно, которые при $E = 4,5$ Дж увеличились до 730, 1060 и 165 мкм. При этом по сравнению с обработкой на воздухе снижение значения d_0 составило 3–4 %, d_n — 5–6 % и b_n — 30–33 %, т. е. применение дистиллированной воды существенным образом влияет на уменьшение ширины наплывов металла по краю лунки, а на изменение диаметров лунки и наплывов металла ее влияние незначительно.

Повышение энергии электрического разряда приводит к увеличению глубины лунки h_n и высоты наплывов металла h_n по ее краю. В частности, с возрастанием E с 0,5 до 4,5 Дж при обработке на воздухе значение h_n увеличилось с 10 до 30 мкм и h_n — с 20 до 52 мкм, а отношение h_n/h_n уменьшилось с 2,0 до 1,73, т. е. с повышением энергии разряда увеличение глубины лунки несколько опере-

Таблица — Значения геометрических параметров единичной лунки на поверхности стального (У8А) образца в зависимости от энергии электрического разряда и условий его протекания

Энергия электрического разряда E , Дж	Условия протекания разряда	d_n , мкм	d_0 , мкм	d_n / d_0	h_n , мкм	h_n , мкм	H_n , мкм	b_n , мкм	b_n / h_n	b_n / h_n	H_n / h_n
0,5	на воздухе	585	525	1,11	20	10	30	30	3,0	1,5	1,5
	с применением воды	550	510	1,07	18	9	27	20	2,2	1,1	1,5
2,0	на воздухе	940	720	1,3	38	22	60	110	5,02	2,9	1,57
	с применением воды	880	690	1,27	30	18	48	95	5,36	3,1	1,6
4,5	на воздухе	1240	750	1,65	52	30	82	245	8,1	4,7	1,57
	с применением воды	1060	730	1,45	44	28	72	165	5,9	4,4	1,63

жает увеличение высоты напылов металла по ее краю. При этом отношение общей глубины лунки с учетом напылов металла по ее краю H_d к их высоте h_n с повышением E практически не изменяется и составляет 1,5–1,57. Отношение ширины напылов металла по краю лунки к их высоте (b_n / h_n) с повышением E с 0,5 до 4,5 Дж увеличивается с 1,5 до 4,7, а отношение b_n / h_d — с 3,0 до 8,1. Это свидетельствует о том, что с повышением энергии разряда увеличение ширины напылов металла по краю лунки происходит значительно интенсивнее, чем их высоты и глубины лунки.

Применение дистиллированной воды по сравнению с обработкой на воздухе приводит к уменьшению значений рассматриваемых параметров лунки. Так, с повышением E с 0,5 до 4,5 Дж глубина лунки h_d и высота напылов металла по ее краю h_n увеличились с 27 до 72 мкм и с 18 до 44 мкм соответственно, а отношение h_n / h_d — уменьшилось с 2 до 1,57. В сравнении с обработкой на воздухе значение h_n снизилось на 7–10 % и значение h_d — на 10–15 %. Также, как и при обработке на воздухе, повышение энергии разряда приводит к увеличению отношения b_n / h_n с 1,1 до 3,6 и отношения b_n / h_d — с 2,2 до 5,9, т. е. с повышением E увеличение ширины напылов металла по краю лунки опережает увеличение их высоты и глубины лунки. При этом, как и при обработке на воздухе, отношение H_d / h_n изменяется весьма незначительно с 1,5 при $E = 0,5$ Дж до 1,63 при $E = 4,5$ Дж.

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют определить численные значения геометрических параметров единичной лунки, сформированной на поверхности стального (У8А) образца, в зависимости от энергии электрического разряда (в диапазоне ее изменения от 0,5 до 4,5 Дж) и условий его протекания (на воздухе и с применением дистиллированной воды). Кроме того, установленные зависимости изменения геометрических параметров лунки и их соотношений от энергии электрического разряда и условий его протекания могут быть использованы для теоретического описания профиля сечения единичной лунки, получаемой на стальной поверхности.

Как известно [9], в результате воздействия электрического разряда поверхностные слои ме-

талла претерпевают структурные и химические превращения, придающие им по сравнению с основным материалом ряд отличительных свойств, в частности, повышая твердость поверхности. Выполненные исследования микроструктуры металла в окрестности единичной лунки показали (рисунок 4), что на поверхности лунки, включая напылы металла по ее краю, формируется так называемый белый слой 1, ниже которого располагается переходной слой 2 и под которым находится металл 3 в исходном состоянии.

Ранее проведенными исследованиями химического и фазового состава белого слоя [9,12] показано, что он образован из застывшего ранее расплавленного металла заготовки, вступившего в химическое взаимодействие с окружающей средой. В частности, при обработке металлов, содержащих углерод, в белом слое присутствует аустенит и продукты его превращений [13].

Из представленных на рисунке 4 фотографий видно, что с повышением энергии электрического разряда толщина белого слоя на поверхности лунки увеличивается. В частности, при $E = 0,5$ Дж она составляет 4–5 мкм, при $E = 2,0$ Дж — 8–10 мкм и при $E = 4,5$ Дж она достигает 15–18 мкм. При использовании дистиллированной воды толщина белого слоя оказывается на 5–10 % меньше ее значения, соответствующего обработке на воздухе.

Непосредственно под белым слоем наблюдается зона термического влияния (переходная зона), в которой металл претерпевает только структурные изменения. Размеры этой зоны значительно превосходят толщину белого слоя и с повышением энергии разряда увеличиваются. При постоянной энергии разряда применение дистиллированной воды по сравнению с обработкой на воздухе приводит к уменьшению размера зоны термического влияния в среднем на 8–12 %.

На рисунке 5 показан характер изменения микротвердости металла в поверхностном слое лунки по его глубине S , полученной на поверхности образца из стали У8А при различной энергии электрического разряда и при обработке на воздухе.

Из представленных данных следует, что с повышением энергии электрического разряда микротвердость поверхности лунки, включая на-

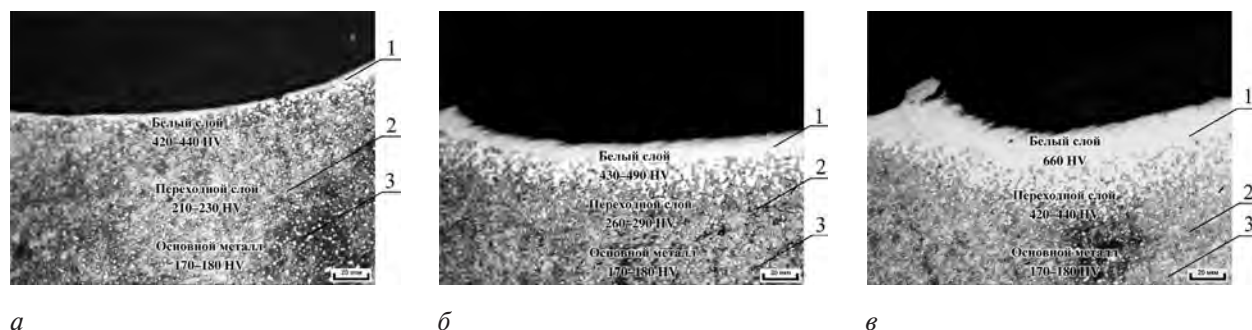


Рисунок 4 — Фотография микроструктуры поверхностного слоя металла в окрестности единичной лунки, полученной при обработке на воздухе: а — энергия разряда 0,5 Дж; б — энергия разряда 2,0 Дж; в — энергия разряда 4,5 Дж

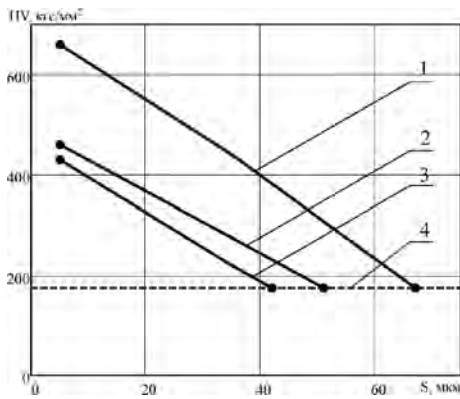


Рисунок 5 — Характер изменения микротвердости в поверхностном слое лунки по его глубине S , полученной на поверхности образца из стали У8А при различной энергии электрического разряда с обработкой на воздухе: 1 — $E = 4,5$ Дж; 2 — $E = 2,0$ Дж; 3 — $E = 0,5$ Дж; 4 — граница изменения микротвердости основного металла

плывы металла по ее краю, возрастает. Так, по сравнению с микротвердостью основного металла 175 HV при $E = 0,5$ Дж микротвердость поверхности лунки составила 430 HV при $E = 2,0$ Дж — 460 HV и при $E = 4,5$ Дж — 660 HV, т. е. ее значение увеличилось в 3,7 раза. Одновременно с этим возрастает глубина изменения микротвердости основного металла. В частности, при $E = 0,5$ Дж ее значение составило порядка 40–43 мкм, при $E = 2,0$ Дж оно возросло до 50–52 мкм и при $E = 4,0$ Дж оно достигло 65–68 мкм.

В случае формирования лунки с использованием дистиллированной воды значение микротвердости поверхностного слоя и глубина ее изменения имеют меньшее, чем при обработке на воздухе, значение. Так, при $E = 4,5$ Дж значение микротвердости поверхности составило 550 HV против 660 HV при обработке на воздухе, а глубина ее изменения достигла 50–55 мкм, в то время как при обработке на воздухе значение этого параметра составило 65–68 мкм.

При сравнении геометрических параметров лунок и значений микротвердости их поверхности, полученных при различных условиях протекания электрического разряда (на воздухе или с использованием дистиллированной воды), можно утверждать, что при наличии воды часть энергии электрического разряда расходуется на ее нагрев, испарение и образование газового пузыря вокруг канала проводимости, что обуславливает уменьшение по сравнению с обработкой на воздухе размеров геометрических параметров лунок, а также снижение микротвердости их поверхности. Отсюда следует важный с практической точки зрения вывод о том, что с целью придания исходной гладкой поверхности инструмента более высокой режущей способности ее электроэрозионное модифицирование следует выполнять на воздухе.

Выводы. 1. Показано, что в результате воздействия на гладкую металлическую поверхность

электрического разряда на ней образуется лунка, по форме близкая к сферической, имеющая по краям наплывы металла, выходящие за исходный контур поверхности. Установлено, что эти наплывы металла представляют собой малоразмерные режуще-деформирующие элементы, способные разрушать материал, уступающий по твердости металлу наплывов. Однако на сегодня отсутствуют данные, отражающие влияние энергии электрического разряда и условий его протекания на форму и размеры этих наплывов металла и их взаимосвязь с параметрами единичной лунки.

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований по оценке влияния энергии электрического разряда E и условий его протекания (на воздухе и с применением дистиллированной воды) на геометрические параметры единичной лунки, включающая устройство для ее формирования на поверхности образца из стали У8А, а также методы и средства измерения геометрических параметров единичной лунки, в частности, ее диаметра в плане d_0 , диаметра наплывов металла по ее краю d_n , глубины лунки относительно исходной поверхности h_n , высоты h_n и ширины b_n наплывов металла по краю лунки, а также микротвердость ее поверхности.

3. На основании анализа результатов проведенных исследований установлено следующее:

3.1. С повышением E с 0,5 до 4,5 Дж при обработке на воздухе диаметр лунки в плане d_0 увеличился с 525 до 750 мкм, диаметр наплывов металла d_n по ее краю — с 585 до 1240 мкм, а их отношение d_n / d_0 возросло с 1,11 до 1,65, при этом ширина наплывов металла увеличилась в восемь раз — с 30 до 245 мкм. Отсюда следует, что с повышением энергии электрического разряда увеличение диаметра наплывов металла по краю лунки происходит более интенсивно, чем ее диаметра в плане.

3.2. Повышение энергии электрического разряда приводит к увеличению глубины лунки h_n и высоты наплывов металла h_n по ее краю. Так с возрастанием E с 0,5 до 4,5 Дж при обработке на воздухе значения h_n и h_n увеличились с 10 до 30 и с 20 до 52 мкм соответственно, при этом отношение h_n / h_n уменьшилось с 2,0 до 1,73, т. е. с повышением энергии разряда увеличение глубины лунки несколько опережает увеличение высоты наплывов металла по ее краю. При этом отношение общей глубины лунки с учетом наплывов металла по ее краю H_n к их высоте h_n с повышением E практически не изменяется и составляет 1,5–1,57 %. Отношение ширины наплывов металла к их высоте (b_n / h_n) увеличивается с 1,5 до 4,7, а отношение b_n / h_n — с 3,0 до 8,1. Это свидетельствует о том, что с повышением энергии разряда увеличение ширины наплывов металла по краю лунки происходит значительно интенсивнее, чем их высоты и глубины лунок.

3.3. Применение дистиллированной воды по сравнению с обработкой на воздухе не влияет на

характер изменения рассматриваемых параметров единичной лунки от энергии электрического разряда, а только приводит к уменьшению их значений. Так снижение значения d_0 составило 3–4 %, d_n — 5–6 %, b_n — 30–33 %, h_n — 7–10 %, h_n — 10–15 %. Отсюда следует, что использование дистиллированной воды существенным образом влияет на уменьшение ширины и высоты наплывов металла по краю лунки и ее глубины, а на изменение диаметра лунки d_0 и диаметра наплывов d_n ее влияние незначительно.

3.4. Показано, что на поверхности лунки, включая наплывы металла по ее краю, формируется так называемый белый слой, ниже которого располагается переходной слой (зона) и под которым находится металл в исходном состоянии. Установлено, что при обработке на воздухе с повышением энергии электрического разряда с 0,5 до 4,5 Дж толщина белого слоя на поверхности лунки увеличивается с 4–5 до 15–18 мкм, а его микротвердость — с 460 до 660 HV (при микротвердости основного металла 175 HV). Одновременно с этим возрастает глубина изменения микротвердости основного металла с 40–43 до 65–68 мкм. Применение дистиллированной воды приводит к снижению на 20 % значения микротвердости поверхности лунки и уменьшению на 26 % глубины изменения микротвердости основного металла.

4. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных показано, что с целью придания исходной гладкой поверхности инструмента большей режущей способности ее электроэрозионную обработку (модифицирование) следует выполнять на воздухе. В этом случае по сравнению с использованием дистиллированной воды при постоянной энергии электрического разряда высота наплывов металла, выполняющих роль режущих-деформирующих элементов, и его микротвердость оказываются больше, что в совокупности придает модифицированной поверхности более высокую режущую способность.

Список литературы

1. Валиков, Е.Н. Обкатник для обработки кромок зубьев крупногабаритных зубчатых колес / Е.Н. Валиков, Ю.С. Тимофеев, А.С. Журина // Изв. ТулГУ. Технические науки. — 2013. — № 8. — С. 260–263.
2. Валиков, Е.Н. Финишная отделка зубчатых колес с использованием режущих свойств поверхностей после электроэрозионной обработки / Е.Н. Валиков, Ю.С. Тимофеев, А.С. Журина // Изв. ТулГУ. Технические науки. — 2013. — № 12, ч. 1. — С. 17–20.
3. Влияние электроконтактной обработки поверхности самореза на условия его выкручивания в образцы из различных материалов и выкручивания из них / М.Г. Киселев [и др.] // Наука и техника. — 2015. — № 5. — С. 3–9.
4. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: в 2 т. / Б.А. Артамонов [и др.]. — М.: Высш. шк., 1983. — Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента. — 247 с.
5. Эффективность применения электроконтактной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. — 2013. — № 11. — С. 73–77.
6. Экспериментальная оценка режущей способности штрипса с модифицированной поверхностью электроконтактной обработки рабочей поверхностью / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — Т. 28, № 3. — С. 64–68.
7. Влияние скорости вращения рабочей поверхности отрезного диска в процессе ее электроэрозионной обработки на режущую способность инструмента / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2016. — Т. 35, № 2. — С. 58–62.
8. Влияние энергии и условий воздействия электрических разрядов в процессе модификации рабочей поверхности стального отрезного диска на его режущую способность / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — Т. 31, № 2. — С. 53–58.
9. Фотеев, Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фотеев. — М.: Машиностроение, 1980. — 184 с.
10. Козырь, Д.В. Исследование параметров единичных лунок, полученных в результате электроэрозионной обработки с использованием плазменного электрода-инструмента / Д.В. Козырь // Изв. ТулГУ. Технические науки. — 2013. — № 9, ч. 2. — С. 350–357.
11. Груздев, А.А. Особенности электроэрозионной обработки отдельными импульсами малых энергий / А.А. Груздев, Ю.А. Моргунов, Б.П. Саушкин // Научные технологии в машиностроении. — 2017. — № 9. — С. 17–20.
12. Елисеев, Ю.С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / Ю.С. Елисеев, Б.П. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2010. — 437 с.
13. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. — Киев: Вища школа, 1975. — 236 с.

KISELEV Mikhail G., D. Sc. in Eng., Prof.

Head of the Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹

E-mail: kiselev.maikl@gmail.com

MONICH Sergey G., Ph. D. in Eng.

Assistant Lecturer of the Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹

E-mail: kayak88@yandex.by

BOHDAN Pavel S.

Assistant Lecturer of the Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹

E-mail: bpc@mail.ru

NICHIPORUK Andrey S.

Student of Instrumentation Engineering Faculty¹

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

THE INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGE ENERGY AND CONDITIONS OF ITS FLOW ON THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF A SINGLE WELL AND MICROHARDNESS OF ITS SURFACE LAYER

The paper is devoted to an experimental study of the effect of an electric discharge energy and the conditions of its flow (in air and using distilled water) on the geometrical parameters of a single well obtained on a sample of USA steel, as well as the microhardness of its surface layer. The questions of the technique for carrying out experimental studies are described, including a description of the device for obtaining single holes on the surface of a steel sample, as well as the means and methods for measuring their geometric parameters and microhardness of the surface layer. The results of studies that made it possible to quantify the effect of the energy of an electric discharge and its flow conditions on changes in the geometric parameters of a single well and the microhardness of its surface layer are presented and analyzed. It is established that with increasing energy of an electric discharge, the dimensions of geometrical parameters of a single well increase, and simultaneously the microhardness of its surface layer increases. In this case, in comparison with treatment in air, the use of distilled water leads to a decrease in both the geometric dimensions of the well and the microhardness of its surface layer.

Keywords: electroerosion treatment, surface modification, cutting ability, microhardness, metallography, strip

References

1. Valikov E.N., Timofeev Ju.S., Zhurina A.S. Obkatnik dlja obrabotki kromok zubev krupnogabaritnyh zubchatyh koles [The cutter for processing the edges of teeth of large-sized gears]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical science], 2013, no. 8, pp. 260–263.
2. Valikov E.N., Timofeev Ju.S., Zhurina A.S. Finishnaja otdelka zubchatyh koles s ispolzovaniem rezhushhijh svojstv poverhnostej posle jelektrojerozionnoj obrabotki [Finishing of cogwheels with the use of cutting properties of surfaces after electroerosive processing]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical science], 2013, no. 12, pp. 17–20.
3. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Monich S.G., Bohdan P.S. Vlijanie jelektrokontaktnoj obrabotki poverhnosti samoreza na uslovija ego vkruchivaniya v obrazcy iz razlichnyh materialov i vykruchivaniya iz nih [The influence of electrocontact treatment of the surface of the screw on the conditions of its screwing into samples of various materials and twisting of them]. *Nauka i tehnika* [Science and Technology], 2015, no. 5, pp. 3–9.
4. Artamonov B.A. *Jelektrofizicheskie i jelektrohimicheskie metody obrabotki materialov* [Electrophysical and electrochemical methods of material processing]. Moscow, Vysshaya shkola, 1983, vol. 1. 247 p.
5. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bohdan P.S. Jelektivnost primeneniya jelektrokontaktnoj obrabotki poverhnosti provolochnogo instrumenta s celju pridaniya ej rezhushhej sposobnosti [Efficiency of application of electrocontact treatment of a surface of a wire tool with the purpose of giving to it of cutting ability]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Polotsk State University], 2013, no. 11, pp. 73–77.
6. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Gabets V.L., Bohdan P.S. Jeksperimentalnaja ocenka rezhushhej sposobnosti shtrips s modifitsirovannoj putem jelektrokontaktnoj obrabotki rabochej poverhnostju [Experimental evaluation of the cutting ability of the strip with a modified by electrocontact treatment of the working surface]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2014, no. 3, pp. 64–68.
7. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Bohdan P.S., Sentemova D.V. Vlijanie skorosti vrashhenija rabochej poverhnosti otreznogo diska v processe ee jelektrojerozionnoj obrabotki na rezhushhiju sposobnost' instrumenta [Influence of the rotational speed of the working surface of the cutting disc in the process of its electroerosive machining on the cutting ability of the tool]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2016, no. 2, pp. 58–62.
8. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Gabets V.L., Bohdan P.S. Vlijanie jenerгии i uslovij vozdeystviya jelektricheskijh razrjadov v processe modifikacii rabochej poverhnosti stalnogo otreznogo diska na ego rezhushhiju sposobnost [Influence of energy and conditions of action of electric discharges during the modification of the working surface of a steel cutting disc on its cutting ability]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2015, no. 2, pp. 53–58.
9. Foteev N.K. *Tehnologija jelektrojerozionnoj obrabotki* [Eroding technology]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 184 p.
10. Kozyr D.V. Issledovanie parametrov edinichnyh lunok, poluchennyh v rezultate jelektrojerozionnoj obrabotki s ispolzovaniem plazmennogo jelektroda-instrumenta [Investigation of the parameters of single wells obtained as a result of electro-erosion treatment using a plasma electrode tool]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical science], 2013, no. 9, pp. 350–357.
11. Gruzdev A.A., Morgunov Ju.A., Saushkin B.P. Osobennosti jelektrojerozionnoj obrabotki razdelnymi impulsami malyh jenerгий [Features of electroerosive processing by separate pulses of low energies]. *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii* [High technology in engineering], 2017, no. 9, pp. 17–20.
12. Eliseev Ju.S., Saushkin B.P. *Jelektrojerozionnaja obrabotka izdelij aviacionno-kosmicheskijh tehniki* [Electroerosive processing of aerospace products]. Moscow, MGTU im. Bauman Publ., 2010. 437 p.
13. Kovalenko V.S. *Jelektrofizicheskie i jelektrohimicheskie metody obrabotki materialov* [Electrophysical and electrochemical methods of material processing]. Kiev, Vishcha school, 1975. 236 p.