



## Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)



### Повышение эффективности технологии электроэрозионной обработки сложнопрофильных элементов изделий

Евгений Шлыков<sup>a, \*</sup>, Тимур Абляз<sup>b</sup>

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский проспект, д. 29, г. Пермь, 614990, Россия

<sup>a</sup>  <http://orcid.org/0000-0001-8076-0509>,  [Kruspert@mail.ru](mailto:Kruspert@mail.ru), <sup>b</sup>  <http://orcid.org/0000-0001-6607-4692>,  [lowrider11-13-11@mail.ru](mailto:lowrider11-13-11@mail.ru)

#### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.1.9

#### История статьи:

Поступила: 09 апреля 2019  
 Рецензирование: 19 апреля 2019  
 Принята к печати: 07 мая 2019  
 Доступно онлайн: 15 июня 2019

#### Ключевые слова:

Копировально-прошивная электро-  
 эрозионная обработка  
 Режимы резания  
 Электрод  
 Стали с повышенными показателями  
 высокотемпературной износостойкости

#### Финансирование

Работа выполнена при поддержке  
 гранта Президента РФ по государ-  
 ственной поддержке молодых рос-  
 сийских ученых – докторов наук  
 № МД-1779.2019.8.

#### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В современном машиностроении возрастают требования к производительности обработки, обеспечивающей высокие показатели качества обработанной поверхности изделий, выполненных из легированных износостойких сталей, обладающих высокими физико-механическими свойствами, что затрудняет их обрабатываемость лезвийным инструментом. Для обработки таких изделий целесообразно применять электрофизические методы, одним из которых является технология копировально-прошивной электроэрозионной обработки (КПЭЭО), с помощью которой возможно обрабатывать труднодоступные глубокие элементы, имеющие сложный профиль, а также глухие пазы изделий, изготовленных из легированных износостойких сталей. Статья посвящена повышению эффективности электроэрозионной обработки элементов сложного профиля детали типа «Корпус затвора», выполненной из стали 38X2H2MA (ГОСТ 8479–70) – конструкционная легированная. Предметами исследования являются: параметр шероховатости обработанной поверхности, производительность и точность при КПЭЭО стали 38X2H2MA при различных режимах электроэрозионной обработки. Целью работы является повышение эффективности и точности КПЭЭО глухих пазов и элементов сложного профиля изделий, выполненных из легированных износостойких сталей. **Методы.** Экспериментальные исследования проводились по методу полного факторного эксперимента с последующим регрессионным анализом. Для проведения экспериментов использовали копировально-прошивную электроэрозионную станок Smart CNC; электрод-инструмент (ЭИ) – профильный медный электрод; материал ЭИ – медь марки М1 (ГОСТ 1173-2006). **Результаты и обсуждения.** Установлены эмпирические зависимости, отражающие взаимосвязи между режимами обработки, производительностью, параметром шероховатости поверхности после обработки и величиной межэлектродного зазора. Для обеспечения требуемых соотношений качества обработанной поверхности при максимальных показателях производительности получены технологические рекомендации КПЭЭО глухих пазов и элементов сложного профиля изделий, выполненных из износостойкой легированной стали 38X2H2MA, обладающей повышенными показателями высокотемпературной износостойкости. Рассчитаны размеры профильного ЭИ, учитывающие величину бокового и торцевого межэлектродных зазоров, обеспечивающие заданные показатели точности КПЭЭО.

**Для цитирования:** Шлыков Е.С., Абляз Т.Р. Повышение эффективности технологии электроэрозионной обработки сложнопрофильных элементов изделий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 53–61. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-53-61.

### Введение

При изготовлении новых видов изделий специального назначения, работающих в условиях высоких температурных и ударных нагрузок, широкое применение находят легированные износостойкие стали [1]. Такие стали имеют по-

вышенные физико-механическими свойствами и упрочняются при резании. В сочетании со сложной геометрической формой рабочих поверхностей изделий специального назначения их обрабатываемость традиционными методами с помощью лезвийного инструмента является затрудненной. Целесообразно применение электрофизических методов обработки, одним из которых является технология копировально-прошивной электроэрозионной обработки (КПЭЭО) [2–6]. С помощью технологии КПЭЭО возможно обрабатывать труднодоступные эле-

#### \*Адрес для переписки

Шлыков Евгений Сергеевич, инженер-исследователь  
 Пермский национальный исследовательский  
 политехнический университет,  
 Комсомольский проспект, д. 29,  
 г. Пермь, 614990, Россия  
 Тел.: 8(342)2-198-324, e-mail: [Kruspert@mail.ru](mailto:Kruspert@mail.ru)

менты, имеющие сложный профиль, в том числе глухие пазы изделий [7, 8].

Легированные износостойкие стали характеризуются наличием в своём составе хрома, никеля и ванадия, что повышает их электроэрозионную стойкость и, как следствие, показатели высокотемпературной износостойкости. Это, в свою очередь, приводит к усиленному износу электрода-инструмента (ЭИ) при обработке изделий из легированных износостойких сталей и, как следствие, к снижению качества поверхности, уменьшению производительности и точности [9–13].

Установлено, что микрогеометрия рабочей поверхности является фактором, влияющим на эксплуатационные свойства изделий, изготовленных из таких материалов [14, 15]. Во время КПЭЭО на показатели шероховатости обработанных поверхностей изделий влияют режимы обработки и такие физико-механические свойства материала, как электропроводность, твердость, теплопроводность, прочность [16–21].

Сложнокомпонентный состав данных сталей не в полной мере позволяет прогнозировать показатели качества и точности при разработке технологии КПЭЭО сложнопрофильных элементов с применением технологических таблиц. В связи с этим становится невозможным соблюдение критериев качества при высоких показателях производительности, что ведет к существенному увеличению времени освоения новых деталей и сказывается на эффективности производства.

Актуальной задачей является получение эмпирических зависимостей производительности, точности и шероховатости поверхности изделий, выполненных из легированных износостойких сталей, в зависимости от режимов обработки.

**Цель работы:** повышение точности и эффективности КПЭЭО глухих пазов и элементов сложного профиля изделий, выполненных из сталей, обладающих повышенными показателями высокотемпературной износостойкости.

#### Задачи

1. Получить эмпирические модели, позволяющие описать взаимосвязь производительности, величины межэлектродного зазора и шероховатости обработанной поверхности изделий, выполненных из износостойкой легированной стали 38Х2Н2МА, в зависимости от режимов обработки.

2. Разработать технологические рекомендации для КПЭЭО глухих пазов и элементов сложного профиля детали «корпус затвора», выполненной из стали 38Х2Н2МА, обеспечивающие требуемые соотношения качества обработанной поверхности при максимальных показателях производительности.

### Методика исследований

Эксперименты проводились по методике факторного планирования с последующим регрессионным анализом [22]. Проведение факторного эксперимента предназначено для установления закономерностей между параметрами качества поверхности и производительностью обработки стали 38Х2НМА (ГОСТ 8479–70) и режимами КПЭЭО.

Для проведения экспериментов использовали копировально-прошивной электроэрозионный станок Smart CNC, электрод-инструмент (ЭИ) – профильный медный электрод марки М1 (ГОСТ 1173–2006) площадью  $S = 100 \text{ мм}^2$ . Обрабатываемая деталь выполнена из конструктивной износостойкой легированной стали 38Х2Н2МА. Охлаждающая и промывочная жидкость – трансформаторное масло (ГОСТ 982–80).

Матрица планирования представлена в таблице. Поставлено 15 опытов. Во время планирования эксперимента значения факторов являются закодированными с помощью преобразования координат пространства факторов.

Входными параметрами являются:

- 1)  $I$  – сила тока, А;
- 2)  $T_{on}$  – время действия импульса, мкс;
- 3)  $U$  – напряжение, В.

Выходные параметры:

- 1) шероховатость поверхности, мкм;
- 2) производительность, м/ч;
- 3) точность, величина бокового МЭЗ, мкм.

### Результаты их обсуждения

С использованием методики факторного планирования получены эмпирические зависимости, устанавливающие взаимосвязи между параметром шероховатости поверхности, производительностью, величиной межэлектродного зазора и режимами обработки.

### Интервалы варьирования Variation intervals

Входные параметры	Нижний уровень	Верхний уровень	Средний уровень	Нижнее «звездное» плечо	Верхнее «звездное» плечо
$I, A$	2	8	5	1	9
$T_{on}, \text{мкс}$	40	150	100	30	200
$U, B$	50	100	75	45	105

Математическая модель зависимости параметра шероховатости, учитывающая масштабный коэффициент, включающий в себя потери энергии импульса и площадь обрабатываемой поверхности, имеет следующий вид:

$$R_a = k(-0,1425I^2 - 0,0003T_{on}^2 - 0,0005U^2 + 1,8015I + 0,0493T_{on} + 0,0642U + 0,0015IU + 0,0001T_{on}U - 4,6094). \quad (1)$$

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{адекв}}^2}{S_y^2} < F_{\text{табл}}, \quad (2)$$

$$F_{\text{расч}} = 3,29 < F_{\text{табл}} = 3,59. \quad (3)$$

Показано, что  $F_{\text{табл}} > F_{\text{расч}}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Отсюда можно сделать вывод, что модель является адекватной.

Полученная модель – функция отклика следующих переменных: силы тока  $I, A$ , времени действия импульса  $T_{on}, \text{мкс}$  и напряжения  $U, B$ . На значение выходного параметра шероховатости оказывает влияние совокупность всех трех факторов.

На рис. 1 представлена гиперповерхность, отражающая зависимость шероховатости поверхности от режимов КПЭЭО стали 38Х2Н2МА.

Установлено, что при постоянной силе тока  $I = 3 A$  максимальное значение параметра шероховатости составляет  $R_a = 3,6 \text{ мкм}$  при  $T_{on} = 100 \text{ мкс}$ ,  $U = 75 B$ , а минимальное значение составляет по  $R_a = 2,4 \text{ мкм}$  при  $T_{on} = 150 \text{ мкс}$ ,  $U = 100 B$ .

Показано, что на значение параметра шероховатости квадратичная зависимость силы тока оказывает максимальное влияние вместе с ее ли-

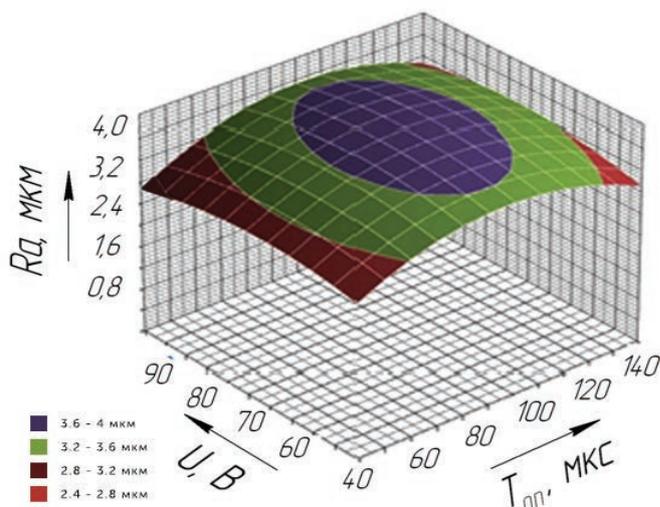


Рис. 1. Гиперповерхность регрессионной модели при постоянной силе тока  $I = 3 A$ ;  $R_a$  – параметр шероховатости, мкм;  $T_{on}$  – время действия импульса, мкс;  $U$  – напряжение, В

Fig.1. The regression model hypersurface at constant current strength  $I = 3 A$ ;  $R_a$  is the roughness parameter,  $\mu\text{m}$ ;  $T_{on}$  – pulse duration,  $\mu\text{s}$ ;  $U$  – voltage, V

нейной составляющей. В меньшей степени оказывает влияние квадратичная функция напряжения и времени. Значения полинома отличаются на 25 % при варьировании величины силы тока в данном диапазоне режимов обработки.

На основании факторного эксперимента получена регрессионная модель производительности, учитывающая масштабный коэффициент:

$$Q = k(0,00012U^2 - 0,00008T_{on} - 0,00018I - 0,00184U + 0,000001T_{on}U + 0,00003IT_{on} - 0,00004IU + 0,41085). \quad (4)$$

Полученная модель проверяется по критерию Фишера согласно формулам (2) и (3) и является адекватной.

Построена гиперповерхность (рис. 2), которая показывает зависимость величины параметра производительности КПЭЭО стали 38Х2Н2МА от режимов обработки.

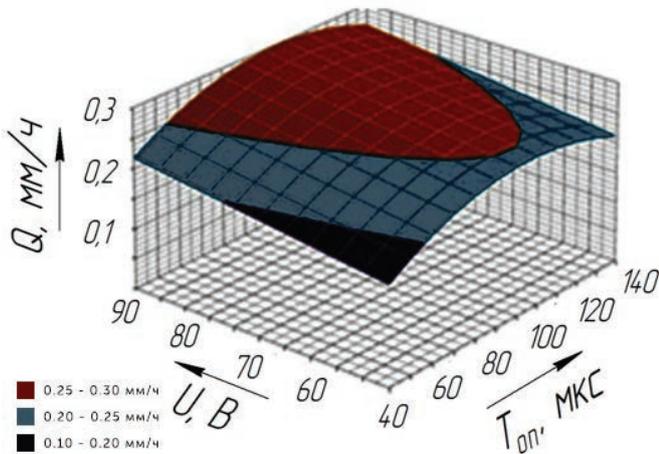


Рис. 2. Гиперповерхность регрессионной модели при постоянной силе тока  $I = 6$  А;  $Q$  – производительность, мм/ч;  $T_{on}$  – время действия импульса, мкс;  $U$  – напряжение, В

Fig. 2. The regression model hypersurface at constant current strength  $I = 6$  А;  $Q$  – productivity, mm / h;  $T_{on}$  – pulse duration,  $\mu$ s;  $U$  – voltage, V

Наибольшей производительности  $Q_{max} = 0,3$  мм/ч достигают при напряжении  $U = 100$  В, времени действия импульса  $T_{on} = 110$  мкс; минимальной производительности  $Q_{min} = 0,1$  мм/ч – при  $U = 50$  В,  $T_{on} = 40$  мкс.

С использованием данных экспериментальных моделей получены технологические реко-

мендации, повышающие эффективность технологии КПЭЭО глухого паза детали «корпус затвора» (рис. 3). Деталь выполнена из конструкционной легированной износостойкой стали 38Х2Н2МА. «Корпус затвора» испытывает циклические ударные нагрузки, так как работает в условиях динамически изменяющихся нагрузок и температур.

На основе зависимостей (1) и (2), полученных методом регрессионного анализа, определен рабочий диапазон режимов обработки, создающих условия для высоких показателей производительности обработки при заданном качестве поверхности (рис. 4).

Данными режимами обработки можно достичь наиболее максимальной производительности обработки, обеспечивающей необходимые показатели качества.

Для обеспечения точности КПЭЭО стали 38Х2Н2МА в результате регрессионного анализа получена зависимость, позволяющая рассчитать величину бокового межэлектродного зазора. Значение зазора представляет собой разность размера обработанного паза и размера профильного ЭИ.

Математическая модель величины межэлектродного зазора, учитывающая масштабный коэффициент, имеет следующий вид:

$$l_b = k(0,0003I^2 - 0,00034U^2 - 0,0003IU - 0,0031I + 0,00012T_{on}U - 0,00138T_{on} + 0,01008U + 0,03449). \quad (5)$$

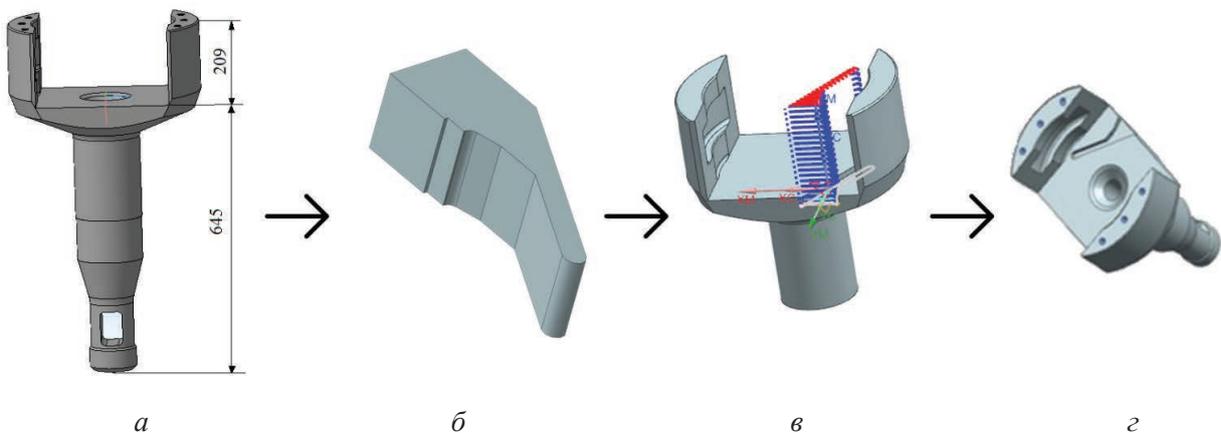


Рис. 3. Корпус затвора:

$a$  – заготовка до КПЭЭО;  $b$  – профильный ЭИ;  $в$  – КПЭЭО заготовки;  $г$  – готовое изделие

Fig. 3. Shutter Housing:

$a$  – blank;  $b$  – electrode;  $в$  – process of EDM;  $г$  – finished product

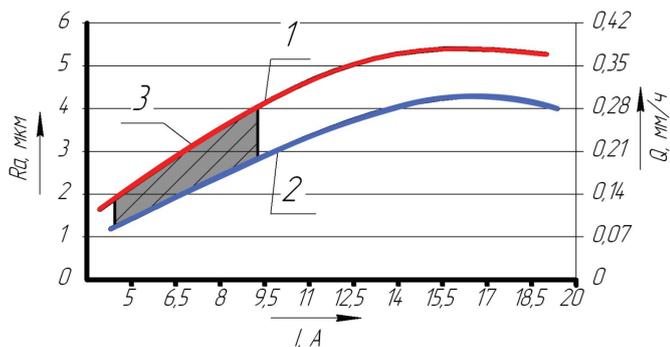


Рис. 4. График изменения параметров шероховатости и производительности в зависимости от силы тока:

$I$  – параметр шероховатости,  $\mu\text{м}$ ; 2 – параметр производительности,  $\text{мм}^3/\text{ч}$ ; 3 – диапазон режимов чистовой обработки

Fig. 4. Graph of change of roughness and productivity parameters depending on current strength:

$I$  – roughness parameter,  $\mu\text{m}$ ; 2 – productivity parameter,  $\text{mm}^3/\text{h}$ ; 3 – range finishing modes

Модель проверяется по критерию Фишера согласно формулам (2) и (3) и является адекватной.

На рис. 5 представлена гиперповерхность, отражающая значение величины межэлектродного зазора от режимов КПЭО стали 38Х2Н2МА. Показано, что максимальное значение величины бокового зазора  $l_{b\text{max}} = 0,10$  мм достигается при времени действия импульса  $T_{\text{оп}} = 150$  мкс и напряжении  $U = 100$  В; минимальное значение бокового межэлектродного зазора  $l_{b\text{min}} = 0,02$  мм – при времени действия импульса  $T_{\text{оп}} = 80$  мкс; напряжении  $U = 70$  В.

При увеличении силы тока значения полинома изменяются в среднем на 25 %, в то время как

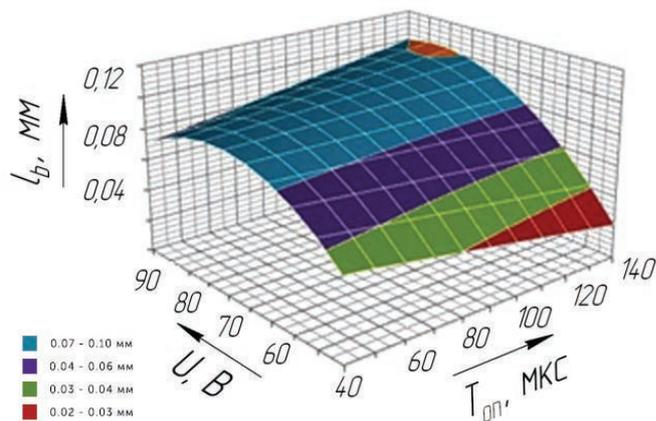


Рис. 5. Гиперповерхность функции отклика при  $I = 7$  А;  $l_b$  – боковой межэлектродный зазор, мм;  $U$  – напряжение, В;  $T_{\text{оп}}$  – время действия импульса, мкс

Fig. 5. The hypersurface of the response function at  $I = 7$  А;  $l_b$  – electrode gap, mm;  $U$  – voltage, V;  $T_{\text{оп}}$  – pulse duration,  $\mu\text{s}$

при варьировании значений времени действия импульса и напряжения функции отклика отличаются незначительно – порядка 5...6 %.

По зависимости (3) произведен расчет геометрических размеров ЭИ, учитывающий величину бокового  $l_b$ , мм (рис. 6) и торцевого  $l_t$ , мм (рис. 7) межэлектродного зазоров. Торцевой зазор для легированных сталей можно рассчитать через коэффициент  $k_t = 0,49l_b$  [23].

Для черновой и чистовой обработки необходимо изготовить два ЭИ. При проектировке размеров профильного ЭИ учитываем рассчитанные значения межэлектродных зазоров. Необходимо изготавливать ЭИ на размер меньше

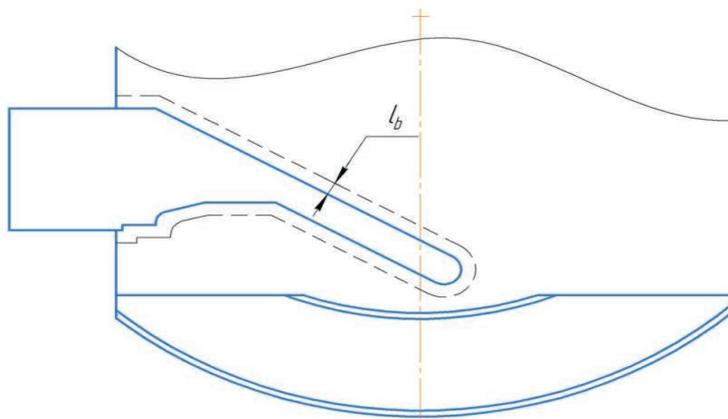
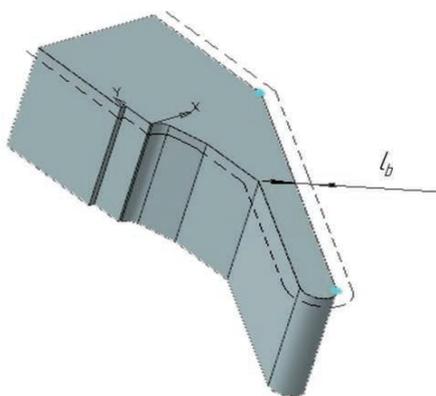


Рис. 6. Профильный ЭИ:

$l_b$  – боковой межэлектродный зазор

Fig. 6. Profile ET:

$l_b$  – is the side interelectrode gap

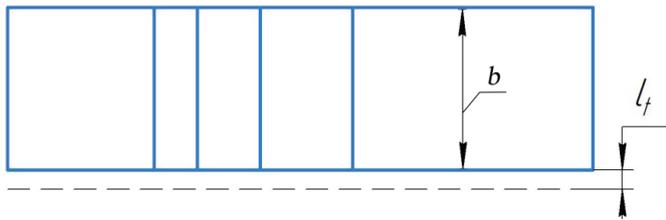


Рис. 7. Профильный ЭИ:

$l_t$  – торцевой зазор;  $b$  – высота ЭИ, мм

Fig. 7. Profile ET:

$l_t$  – is the end gap;  $b$  – the height of the electrode, mm

бокового межэлектродного зазора. Размер бокового зазора для чистовой обработки составляет  $l_b = 0,1$  мм, для черновой  $l_b = 0,2$  мм. При изготовлении инструмента необходимо вырезать профильный ЭИ меньше на величину, равную величине бокового межэлектродного зазора  $l_b$ . Глубину обработки выбираем меньше на величину торцевого зазора. Для чистовой обработки  $l_t = 0,05$  мм, для черновой  $l_t = 0,1$  мм

## Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. По результатам проведенных исследований получены технологические рекомендации, для КПЭЭО глухих пазов и элементов сложного профиля изделий, выполненных из легированной износостойкой стали 38Х2Н2МА на примере детали «корпус затвора». Данные рекомендации позволяют обеспечивать необходимые показатели качества и точности обработки без применения традиционной методики пробных проходов, и повышают эффективность и точность обработки на 20 % путём снижения машинного времени и трудоёмкости при освоении опытной детали. Черновая обработка осуществляется при силе тока  $I = 16$  А, времени действия импульса  $T_{on} = 110$  мкс, напряжении  $U = 100$  В. Для достижения параметра шероховатости по  $R_a = 2,4$  чистовая обработка осуществляется при времени действия импульса  $T_{on} = 150$  мкс, силе тока  $I = 6$  А, напряжении  $U = 100$  В.

2. Рассчитаны размеры профильного ЭИ, учитывающие величину бокового и торцевого межэлектродных зазоров, обеспечивающих заданные показатели точности КПЭЭО.

## Список литературы

1. *Материаловедение в машиностроении*. В 2 ч. Ч. 2: учебник для СПО / А.М. Адашкин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 291 с. – ISBN 978-5-9916-2867-9.
2. *Немилов Е.Ф.* Электроэрозионная обработка материалов: учебное пособие для технических училищ. – Л.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
3. *Лазаренко Б.Р.* Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1978. – 40 с.
4. *Золотых Б.Н.* Об открытии и развитии электроэрозионной обработки материалов. К 60-летию открытия способа // *Электронная обработка материалов*. – 2003. – № 3. – С. 4–8.
5. *Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р.* Физические основы электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1977. – 42 с.
6. *Золотых Б.Н.* Влияние длительности импульса на электрическую эрозию металлов // *Электричество*. – 1956. – № 8. – С. 19–31.
7. *Серебренницкий П.П.* Современные электроэрозионные технологии и оборудование: учебное пособие / Балтийский государственный технический университет «Военмех». – СПб.: БГТУ, 2007. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-1423-9.
8. *Плошкин В.В.* Структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях сталей при электроэрозионной обработке: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2006. – 281 с.
9. Development of empirical model for different process parameters during rotary electrical discharge machining of copper-steel (EN-8) system / K.D. Chattopadhyay, S. Verma, P.S. Satsangi, P.C. Sharma // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2009. – Vol. 209, iss. 3. – P. 1454–1465. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.03.068.
10. *Das S., Klotz M., Klocke F.* EDM simulation: finite element-based calculation of deformation, microstructure and residual stresses // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – Vol. 142, iss. 2. – P. 434–451. – DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00624-1.
11. Micro electrical discharge machining single discharge temperature field simulation / Z.L. Peng, Y.N. Li, D. Fang, Y.Y. Zhang // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. – 2013. – Vol. 5, iss. 12. – P. 859–864.
12. *Tang J., Yang X.* A thermo-hydraulic modeling for the formation process of the discharge crater in EDM // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 685–690. – DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.302.
13. *Maradia U.* Meso – Micro EDM: Doctoral thesis. – Zurich, 2014. – 246 p. – (Diss. ETH; no. 22024). – URL: <http://jmlund.org/blog/pics/EDM/eth-47244-02.pdf> (accessed: 08.05.2019).

14. *Weingärtner E., Kuster F., Wegener K.* Modeling and simulation of electrical discharge machining // *Procedia CIRP*. – 2012. – Vol. 2. – P. 74–78. – DOI: 10.1016/j.procir.2012.05.043.

15. *Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md.F.* A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM) // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2007. – Vol. 47, iss. 7–8. – P. 1214–1228. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.026.

16. Эмпирическое моделирование межэлектродного зазора при электроэрозионной обработке стали 38Х2Н2МА / Т.Р. Абляз, Е.С. Шлыков, Д.А. Борисов, А.А. Шумков, И.Ю. Летягин // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 67–79. – DOI: 10.15593/2224-9877/2017.2.05.

17. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining / S. Hayakawa, Y. Sasaki, F. Itoigawa, T. Nakamura // *Procedia CIRP*. – 2013. – Vol. 6. – P. 174–179. – DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.095.

18. *Tao J., Ni J., Shih A.J.* Modeling of the anode crater formation in electrical discharge machining //

*Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2012. – Vol. 134, iss. 1. – P. 011002–011002-11. – DOI: 10.1115/1.4005303.

19. *Liao Y.S., Wu P.S., Liang F.Y.* Study of debris exclusion effect in linear motor equipped die-sinking EDM process // *Procedia CIRP*. – 2013. – Vol. 6. – P. 123–128. – DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.058.

20. *Yeo S.H., Kurnia W., Tan P.C.* Electro-thermal modelling of anode and cathode in micro-EDM // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2007. – Vol. 40, iss. 8. – P. 2513–2521. – DOI: 10.1088/0022-3727/40/8/015.

21. *Dewangan S., Biswas C.K.* Optimisation of machining parameters using grey relation analysis for EDM with impulse flushing // *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*. – 2013. – Vol. 6, iss. 2. – P. 144–158. – DOI: 10.1504/IJMMS.2013.053826.

22. *Реброва И.А.* Планирование эксперимента: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

23. *Фотеев Н.К.* Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 180 с. – ISBN 5-217-00427-4.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



# Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)



## Improving the Efficiency of EDM Processing of Complex Elements of Products

*Evgenii Shlykov<sup>a, \*</sup>, Timir Ablyaz<sup>b</sup>*

Perm National Research Polytechnical University, 29 Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russian Federation

<sup>a</sup> <http://orcid.org/0000-0001-8076-0509>, [Kruspert@mail.ru](mailto:Kruspert@mail.ru), <sup>b</sup> <http://orcid.org/0000-0001-6607-4692>, [lowrider11-13-11@mail.ru](mailto:lowrider11-13-11@mail.ru)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 09 April 2019

Revised: 19 April 2019

Accepted: 07 May 2019

Available online: 15 June 2019

#### Keywords:

Copy-piercing electrical discharge machining,

Cutting conditions,

Electrode,

Steel with high rates of high temperature wear resistance

#### Funding

This work is supported by a grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian doctors of science No. MD-1779.2019.8.

### ABSTRACT

**Introduction.** In modern engineering, there are increasing demands for processing performance, which ensures high quality results for the processed surface of products made of alloyed wear-resistant steels. These steels have high physical and mechanical properties, which makes its machinability with a blade tool rather difficult. For the processing of such products, it is advisable to apply electrophysical processing methods, one of which is the technology of electrical discharge machining (EDM). With the help of EDM, it is possible to process difficult-to-reach deep elements with a complex profile, as well as blind grooves of products made of alloyed wear-resistant steels. The paper deals with effectiveness improvement of EDM processing of complex profile elements of the “Shutter Housing” type parts made of steel 38Cr2Ni2MnA (GOST 8479-70). Subjects of research are the following: the parameter of the roughness of the treated surface; performance and accuracy of steel 38Cr2Ni2MnA EDM with different modes. **The aim of the work** is to increase the efficiency and accuracy of EDM of blind grooves and elements of a complex profile of products made of alloyed wear-resistant steels. **Methods.** Experimental studies are carried out according to the method of a full factorial experiment with subsequent regression analysis. For carrying out of experiments, a Smart CNC EDM machine is used. A profile copper electrode is used as an Electrode-tool (ET). ET material is M1 grade copper (GOST 1173-2006). **Results And Discussion.** Empirical dependences, reflecting the relationship between processing modes, productivity, surface roughness parameter after processing, and the size of the interelectrode gap are established. To ensure the required ratios of the quality of the treated surface with maximum performance indicators, technological recommendations of the EDM of blind grooves and elements of a complex profile of products made of wear-resistant alloyed steel 38Cr2Ni2MnA, which has high rates of wear resistance, are obtained. The dimensions of the profile ET, taking into account the size of the side and end interelectrode gaps, providing the specified EDM accuracy, are calculated.

**For citation:** Shlykov E.S., Ablyaz T.R. Improving the efficiency of EDM processing of complex elements of products. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 53–61. DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.2-53-61. (In Russian).

### References

1. Adaskin A.M., Sedov Yu.E., Onegina A.K., Klimov V.N. *Materialovedenie v mashinostroenii*. V 2 ch. Ch. 2 [Materials science in mechanical engineering. In 2 pt. Pt. 2]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Yurait Publ., 2018. 291 p. ISBN: 978-5-9916-2867-9.
2. Nemilov E.F. *Elektroerozionnaya obrabotka materialov* [Electroerosive processing of materials]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1983. 160 p.
3. Lazarenko B.R. *Elektricheskie sposoby obrabotki metallov i ikh primeneniye v mashinostroenii* [Electrical methods for processing metals and their application in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 40 p.
4. Zolotykh B.N. Ob otkrytii i razvitii elektroerozionnoi obrabotki materialov. K 60-letiyu otkrytiya sposoba [On the discovery and development of the electrodischarge machining of materials. In commemoration of the 60-th year

#### \* Corresponding author

Shlykov Evgenii S., Engineer

Perm National Research Polytechnical University,

29 Komsomolsky prospekt, Perm, 614990, Russian Federation

Tel.: 8(342)2-198-324, e-mail: [Kruspert@mail.ru](mailto:Kruspert@mail.ru)



from discovery]. *Elektronnaya obrabotka materialov = Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2003, no. 3. pp. 4–8. (In Russian).

5. Zolotykh B.N., Mel'der R.R. *Fizicheskie osnovy elektroerozionnoi obrabotki* [Physical basis of EDM processing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 42 p.

6. Zolotykh B.N. Vliyanie dlitel'nosti impul'sa na elektricheskuyu eroziyu metallov [The effect of pulse duration on the electrical erosion of metals]. *Elektrichestvo = Electrical Technology Russia*, 1956, no. 8, pp. 19–31. (In Russian).

7. Serebrenitskii P.P. *Sovremennye elektroerozionnye tekhnologii i oborudovanie* [Modern electroerosion technologies and equipment]. St. Petersburg, BSTU Publ., 2007. 228 p. ISBN 978-5-8114-1423-9.

8. Ploshkin V.V. *Strukturnye i fazovye prevrashcheniya v poverkhnostnykh sloyakh stalei pri elektroerozionnoi obrabotke*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Structural and phase transformations in the surface layers of steel during EDM processing. Dr. eng. sci. diss.]. Moscow, 2006. 281 p.

9. Chattopadhyay K.D., Verma S., Satsangi P.S., Sharma P.C. Development of empirical model for different process parameters during rotary electrical discharge machining of copper-steel (EN-8) system. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209, iss. 3, pp. 1454–1465. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.03.068.

10. Das S., Klotz M., Klocke F. EDM simulation: finite element-based calculation of deformation, microstructure and residual stresses. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 142, iss. 2, pp. 434–451. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00624-1.

11. Peng Z.L., Li Y.N., Fang D., Zhang Y.Y. Micro electrical discharge machining single discharge temperature field simulation. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2013, vol. 5, iss. 12, pp. 859–864.

12. Tang J., Yang X. A thermo-hydraulic modeling for the formation process of the discharge crater in EDM. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 42, pp. 685–690. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.302.

13. Maradia U. *Meso – Micro EDM*: Doctoral thesis. Zurich, 2014. 246 p. Available at: <http://jimlund.org/blog/pics/EDM/eth-47244-02.pdf> (accessed 08.05.2019).

14. Weingärtner E., Kuster F., Wegener K. Modeling and simulation of electrical discharge machining. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 2, pp. 74–78. DOI: 10.1016/j.procir.2012.05.043.

15. Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md.F. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2007, vol. 47, iss. 7–8, pp. 1214–1228. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2006.08.026.

16. Ablyaz T.R., Shlykov E.S., Borisov D.A., Shumkov A.A., Letyagin I.Yu. Empiricheskoe modelirovanie mezhelektrodnogo zazora pri elektroerozionnoi obrabotke stali 38X2H2MA [Spark gap empirical simulation during electrical discharge machining of steel 38X2H2MA]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie = Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2017, vol. 19, no. 2, pp. 67–79. DOI: 10.15593/2224-9877/2017.2.05.

17. Hayakawa S., Sasaki Y., Itoigawa F., Nakamura T. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining. *Procedia CIRP*, 2013, vol. 6, pp. 174–179. DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.095.

18. Tao J., Ni J., Shih A.J. Modeling of the anode crater formation in electrical discharge machining. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2012, vol. 134, iss. 1, pp. 011002–011002-11. DOI: 10.1115/1.4005303.

19. Liao Y.S., Wu P.S., Liang F.Y. Study of debris exclusion effect in linear motor equipped die-sinking EDM process. *Procedia CIRP*, 2013, vol. 6, pp. 123–128. DOI: 10.1016/j.procir.2013.03.058.

20. Yeo S.H., Kurnia W., Tan P.C. Electro-thermal modelling of anode and cathode in micro-EDM. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007, vol. 40, iss. 8, pp. 2513–2521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/8/015.

21. Dewangan S., Biswas C.K. Optimisation of machining parameters using grey relation analysis for EDM with impulse flushing. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 2013, vol. 6, iss. 2, pp. 144–158. DOI: 10.1504/IJMMS.2013.053826.

22. Rebrova I.A. *Planirovanie eksperimenta* [Experiment planning]. Omsk, SibADI Publ., 2010. 105 p.

23. Foteev N.K. *Tekhnologiya elektroerozionnoi obrabotki* [EDM processing technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 180 p. ISBN 5-217-00427-4.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.