

The basis of any knowledge is the knowledge of the essence of the object. In this, in fact, is the main task of science. The logic of the development of knowledge leads to the need to clearly distinguish what constitutes the essence of the object, from what it seems, as we see it. Essence is a nodal point of internal communication of the main moments, sides of the object, and comprehend the essence of the object, it is to understand the causes and conditions of its occurrence, its determining properties, the laws of his life, characteristic of his contradictions, trends of development.

In this connection, it has been shown that dimensional electric arc machining has a natural connection and the same physical nature with known methods of electrodischarge processing, and the dissimilarity of the methods of electrodischarge processing, their removal, which are observed, are only different forms of detection of the same physical essence.

The stages of the development of electrodischarge processing are described, which allows us to conclude that the dimensional machining of an electric arc has a natural connection with known methods of electrodischarge processing, based on the use of a non-stationary arc discharge, and its appearance is prepared by the previous development of electrodischarge processing, is the natural development of the latter, and, consequently, dimensional electric arc processing can be considered as a method of electrodischarge processing. It is clear that the size of the electric arc can not solve all the problems of electrodischarge processing, therefore, not only does it exclude, but also envisages the widespread use of known methods of electrodischarge processing - electrospoke, electromotive pulse and electrocontact, each of which has its own characteristics, has its area of industrial application and is continuously improved, complementing each other. Therefore, it can be noted that with the advent of dimensional machining with an electric arc, the technological capabilities of electrodischarge processing in general have increased significantly, its economic efficiency and competitiveness has increased with other methods of metal working and, above all, with the processing of metals by cutting.

electric arc, electrospark processing, electroimpulse processing, electrocontact processing, electrodischarge processing, dimensional electric arc processing

Одержано (Received) 22.05.2019

Прорецензовано (Reviewed) 31.05.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019

УДК 621.9.048.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).154-165](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).154-165)

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: Viktor.alia.kntu@gmail.com

Розмірна обробка тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента

Запропоновано та досліджено високопродуктивний спосіб розмірної обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента, який дозволяє підвищити точність обробки.

електрична дуга, гідродинамічний режим, дротовий електрод-інструмент, технологічна схема формоутворення

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Размерная обработка тел вращения электрической дугой с использованием проволочного электрода-инструментом

Предложен и исследован высокопроизводительный способ размерной обработки тел вращения электрической дугой с использованием проволочного электрода-инструмента, который позволяет повысить точность обработки.

электрическая дуга, гидродинамический режим, проволочный электрод-инструмент, технологическая схема формообразования

© В. М. Боков, 2019

Постановка проблеми. В сучасному машинобудуванні для обробки тiл обертання iз важкооброблюваних матерiалiв [1] застосовуються електроерозiйні методи, якi забезпечують несилове (безконтактне) рiзання i дозволять обробляти будь-який електропровiдний матерiал поза залежнiстю вiд його фiзико-хiмiчних властивостей, зокрема твердостi. Вибiр методу обробки визначається, головним чином, двома факторами: продуктивнiстю та точнiстю обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За роботою [2] вiдомий високопродуктивний спiсiб електроконтактної обробки тiл обертання, при якому електричну дугу в мiжелектродному зазорi збуджують з поливом рiдини в зону обробки мiж електродом-заготовкою, яка обертається з вiдносно повiльною швидкiстю, i дисковим електродом-iнструментом, окружна швидкiсть обертання якого досягає 30-50 м/с. Технологiчні можливостi способу електроконтактної обробки тiл обертання суттєво обмеженi великим дiаметром електрода-iнструмента та кiнематикою його обертання. При найкращих умовах електроконтактної обробки, об'ємний знос найбiльш малозносного чавунного диску не зменшується нижче 3 – 10 %. Останнє суттєво знижує точнiсть обробки.

В роботi [3] запропоновано спiсiб розмiрної обробки дугою (РОД) тiл обертання, в основу якого покладено iдею «токарної» обробки малогабаритним електродом-iнструментом (переважно графiтовим), що не обертається. Даний спiсiб дозволяє розширити технологiчні можливостi обробки. Однак, в процесi обробки даним способом графiтовий електрод-iнструмент може торкатися шорсткої поверхнi електрода-заготовки, що обертається, внаслiдок чого його лiнійний абразивний знос може складати 10 – 20 %. Завдяки наявностi iнтенсивного зносу електрода-iнструмента, цей недолiк не дозволяє реалiзувати точну обробку.

Для компенсацiї електроерозiйного зносу компанiя AgieCharmilles [4] розробила спiсiб електроiскрової обробки тiл обертання з використанням в якостi електрода-iнструмента дроту. Деталь обертають iз швидкiстю до 1500 хв⁻¹. Електричний iскровий розряд збуджують мiж дротом, який перемотується з однiєї котушки на другу, та деталлю, що обробляється. Процес здiйснюють iз зануренням робочої зони у ванну з технiчною водою. Спiсiб забезпечує високу точнiсть обробки та якiсть обробленої поверхнi. Однак, внаслiдок застосування нестационарної форми електричного розряду (наявностi пауз: шпаруватiсть $q \gg 1$) та обмеженостi в пiдведеннi до дроту пiдвищеної сили технологiчного струму (за допустимою густиною), продуктивнiсть даного способу дуже мала, що негативно впливає на область його використання.

Iз викладеного вище витiкає, що iз усiх розглянутих способiв обробки тiл обертання заслуговують на увагу лише два:

- високопродуктивний спiсiб РОД, що використовує графiтовий електрод-iнструмент, але не забезпечує високу точнiсть обробки у зв'язку з пiдвищеним абразивним зносом електрода-iнструмента;
- високоточний спiсiб електроiскрової обробки тiл обертання, що використовує дротовий електрод-iнструмента, але не забезпечує високу продуктивнiсть обробки.

В роботi пропонується об'єднати переваги даних способiв. Результатом об'єднання є новий спiсiб РОД тiл обертання з використанням дротового електрода-iнструмента, який протягується в зонi обробки i таким чином «компенсує» його електроерозiйний знос [5]. Даний спiсiб, за думкою автора, дозволить реалiзувати високопродуктивну i точну обробку тiл обертання, але не був об'єктом дослідження.

Постановка задачі. Метою дослідження є пiдвищення точностi процесу РОД тiл обертання шляхом використання дротового електрода-iнструмента.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: запропонувати та обґрунтувати нову технологічну схему формоутворення поверхні тіла обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента; розробити методику експериментального дослідження технологічних характеристик; виконати експериментальне дослідження продуктивності та точності даного процесу.

Методика дослідження включає в себе аналіз та порівняння елементів відомої технологічної схеми формоутворення поверхні тіла обертанням зі схемою, що пропонується. Крім того, методика передбачає побудову математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента (табл. 1).

Таблиця 1 - Матриця планування експерименту (план 2^{4-1})

Фактори		I , А	P_{cm} , МПа	D , мм	$n_{ш}$, хв ⁻¹	M , мм ³ /хв	M_a , мм ³ /А·хв	a , кВт·год кг	Ra , мкм		
Основний рівень		100	0,8	15	35						
Інтервал варіювання		50	0,2	5	25						
Верхній рівень		150	1,0	20	60						
Нижній рівень		50	0,6	10	10						
Код		x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_3	y_4	y_6		
Номер досліді	1	Порядок реалізації	6	+	+	+	+	290	1,93	32,89	30
	2		2	-	+	+	-	198	3,96	16,02	15
	3		4	+	-	+	-	336	2,24	29,76	40
	4		7	-	-	+	+	138	2,76	23,05	10
	5		1	+	+	-	-	321	2,14	29,73	42
	6		8	-	+	-	+	107	2,14	29,76	6,3
	7		3	+	-	-	+	321	2,14	29,73	42
	8		5	-	-	-	-	126	2,52	25,25	7,0
Досліди в центрі плану	1	0	0	0	0	240	2,40	26,54	24		
	2	0	0	0	0	234	2,34	27,22	25		
	3	0	0	0	0	219	2,19	29,08	25		
	4	0	0	0	0	222	2,22	28,69	26		

Джерело: розроблено автором

На підставі апріорної інформації були одібрані чотири фактори, які можуть впливати на процес РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента: сила струму I (X_1), А; статичний тиск робочої рідини в форсунці перед виходом із неї P_{cm} (X_2), МПа; діаметр електрода-заготовки D (X_3), мм; число обертів шпинделя $n_{ш}$ (X_4), хв.⁻¹.

Виклад основного матеріалу. В способі РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента пропонується нова технологічна схема формоутворення (рис. 1, а). Електричну дугу збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини між електродом-заготовкою, що обертається, та дротовим електродом-інструментом, який протягують в зоні обробки по опуклій поверхні електродотримача в площині, що перпендикулярна осі обертання електрода-заготовки, а процес здійснюють при гарантованому зазорі між не обробленою поверхнею електрода-заготовки та електродом-інструментом, тобто без можливого контакту електрода-інструмента з електродом заготовкою та без застосування слідкуючої подачі електрода-інструмента.

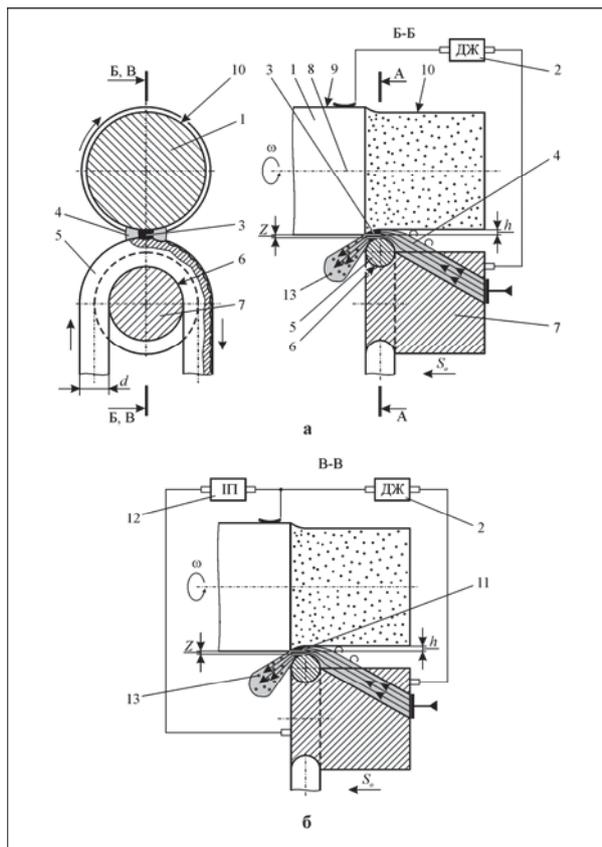


Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення поверхні тіла обертання, що пропонується
Джерело: розроблено автором

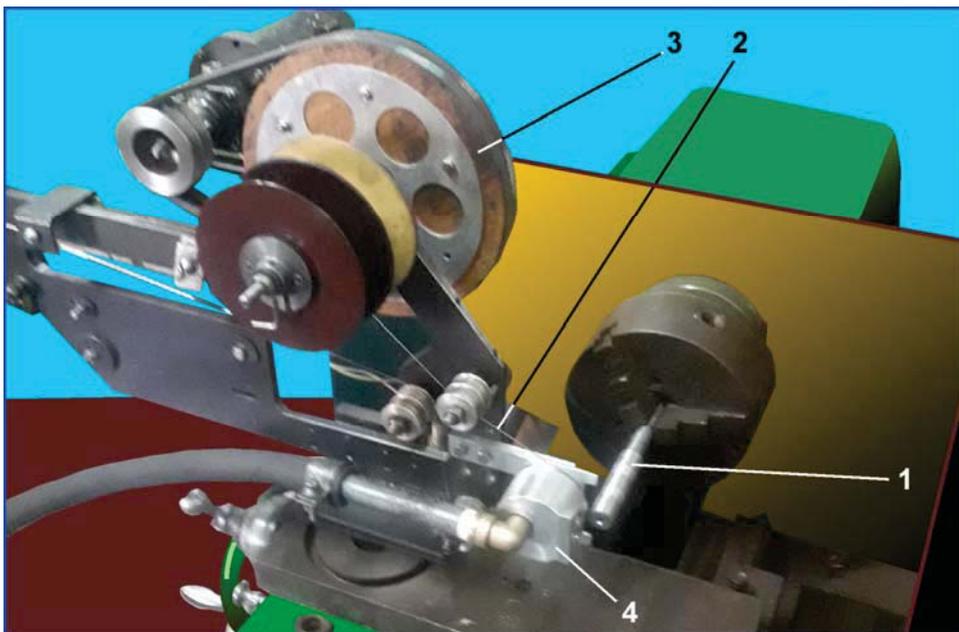
Електрод-заготовку 1 закріплюють в трьохкулачковому патроні та обертають. Від джерела живлення 2 постійного електричного струму електричну дугу 3 збуджують в гідродинамічному поперечному потоці робочої рідини 4 між електродом-заготовкою 1 та дротовим електродом-інструментом 5 діаметром d , який протягують в зоні обробки по

опуклій поверхні 6 електродотримача 7 в площині, що перпендикулярна осі обертання 8 електрода-заготовки 1, а процес здійснюють при гарантованому зазорі Z між не обробленою поверхнею 9 електрода-заготовки 1 та електродом-інструментом 5, тобто без можливого контакту електрода-інструмента 5 з електродом-заготовкою 1. Така технологічна схема формоутворення циліндричної поверхні 10 компенсує знос дротового електрода-інструмента 5 (кожна нова дуга горить на новому місці) та дозволяє здійснювати процес обробки без застосування слідкуючої подачі електрода-інструмента 5, тобто при постійній осьовій подачі S_0 . Останнє, в свою чергу, забезпечує підвищення точності формоутворення циліндричної поверхні 10 та рівномірну шорсткість обробленої поверхні 10, зокрема деталей великого діаметра, що виготовлені із важкооброблюваних матеріалів.

При обробці важкооброблюваних матеріалів, які володіють великим електричним опором (наприклад, твердих сплавів на вольфрамовій основі), глибина лунки, що утворюється, а отже глибина шару h , що знімається за один прохід, дуже мала. Тому, щоб забезпечити гарантований зазор Z на рівні $0,01...0,03$ мм та можливість усталеного збудження електричної дуги 11, її ініціюють високовольтним імпульсним підпалювачем 12 (рис. 1, б).

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє підвищити точність формоутворення поверхні тіла обертання з 14 до 8 якості.

Для дослідження технологічних характеристик процесу РОД тіл обертання з використанням дротового ЕІ використовувався модернізований універсальний токарний верстат моделі 16К20. Різцетримач з цього верстату демонтований, а на його місце встановлений експериментальний пристрій (рис. 2).



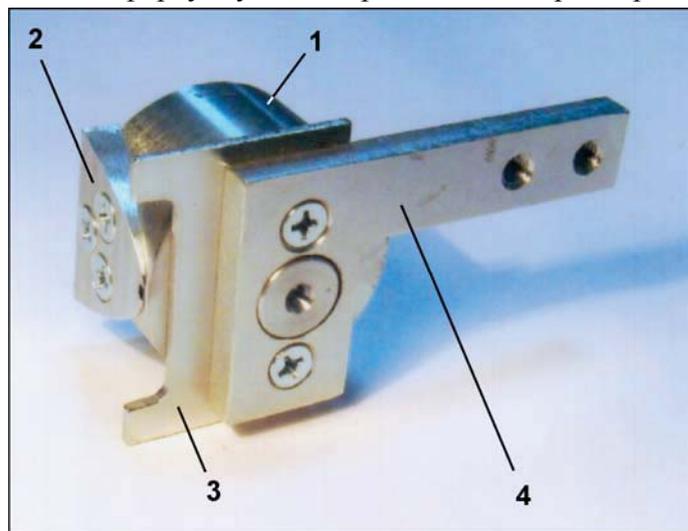
1 – ЕЗ; 2 – дротовий ЕІ; 3 – механізм перемотування дроту; 4 –інструментальна головка

Рисунок 2 – Експериментальний пристрій для РОД тіл обертання з використанням дротового ЕІ
Джерело: розроблено автором

Пристрій для точіння дугою (механізм перемотування дроту та інструментальна головка, рис. 3) включає в себе наступні основні елементи:

- електродотримач 1, в пазу якого протягується дротовий ЕІ. Дріт перемотується спеціальним механізмом з котушки на котушку, який приводиться в дію електродвигуном з редуктором;

- форсунку 2, яка разом з електродотримачем 1 утворює фігур-ну щілину для кумулятивного підведення робочої рідини у струмин-ному режимі у зону обробки;



- напрямляч 3, який забезпечує швидке заведення дроту в паз електродотримача 1;

- тримач 4 для закріплення інструментальній головки на станині механізму перемотування дроту.

Рисунок 3 – Інструментальна головка пристрою для РОД тіл обертання з використанням дротового ЕІ
Джерело: розроблено автором

Пристрій працює таким чином. Заготовку, що обробляється, закріплюють в трикулачковому патроні токарного верстата. Інструментальну головку підводять до заготовки спочатку на відстань не менше 1 мм. Далі вмикають привод обертання заготовки, механізм протягування дроту та привод подачі робочої рідини. Резистор керування силою технологічного струму виставляють в положення, що відповідає

мінімальній силі струму. За допомогою ручної радіальної подачі повільно зближають ЕІ (дріт), що перемотується, з ЕЗ до появи першого розряду. Після того, виставляють певний режим обробки ($I, P_{ct}, n_{ш}, s_o$) та ведуть пошарову обробку тіла обертання. При цьому процес здійснюється електричною дугою, яка горить в міжелектродному проміжку в потужному поперечному потоці робочої рідини. Процес відбувається без використання слідкуючої системи. Завдяки перемотуванню дротового ЕІ точність обробки зростає.

Отримано рівняння регресії та математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість процесу РОД тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента та дозволяють керувати ними та прогнозувати їх :

- продуктивність обробки M (y_1), мм³/хв

$$y_1 = 229,62 + 87,37x_1 - 15,75x_4 ;$$

$$M = 76,97 + 1,75 \cdot I - 0,63 \cdot n_{ш} ;$$

- питома продуктивність обробки M_a (y_2), мм³/А·хв.

$$y_2 = 2,48 - 0,376x_1 + 0,244x_3 - 0,236x_4 ;$$

$$M_a = 9,598 - 0,00752 \cdot I + 0,0488 \cdot D - 0,00944 \cdot n_{ш} ;$$

- питома витрата електроенергії a (y_3), кВт·год/кг

$$y_3 = 27,02 + 3,5x_1 + 2,70x_2 - 1,59x_3 + 1,83x_4 ;$$

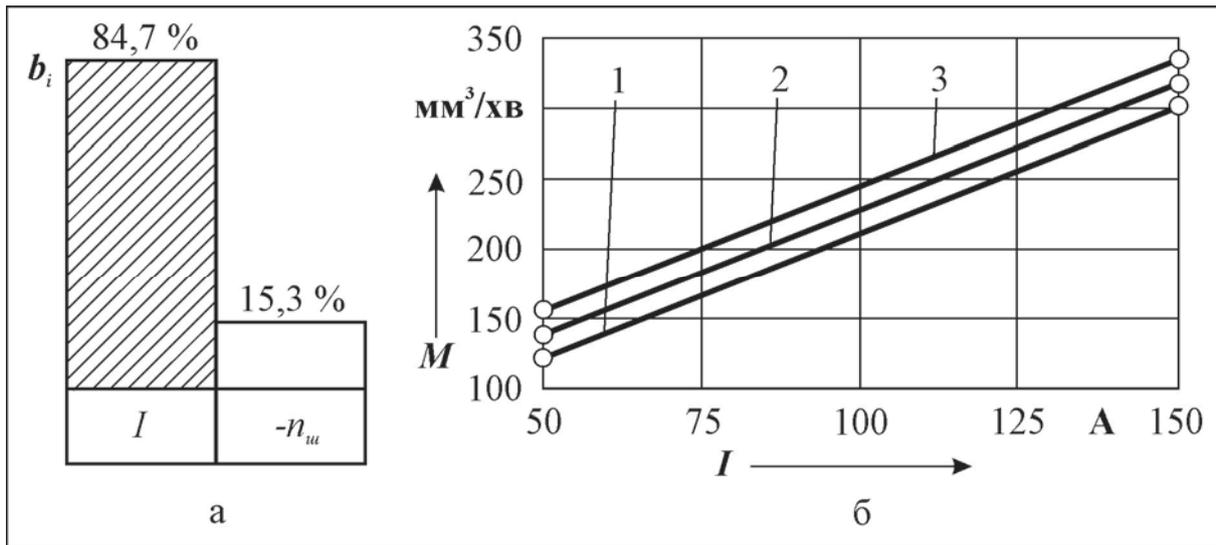
$$a = 11,338 + 0,07 \cdot I + 13,5 \cdot P_{ct} - 0,312 \cdot D + 0,0732 \cdot n_{ш} ;$$

- шорсткість поверхні після обробки Ra (y_5), мкм

$$y_4 = 24,04 + 14,46x_1 - 1,96x_4 ;$$

$$Ra = -2,14 + 0,289 \cdot I - 0,0784 \cdot n_{ш} .$$

Показано (рис. 4), що найбільший вплив на продуктивність обробки M виявляє сила технологічного струму I (84,7 %), із підвищенням якої продуктивність обробки збільшується. Останнє підтверджує теплову природу РОД. Таким чином, силу технологічного струму треба розглядати як основний керуючий фактор. Вплив числа обертів шпинделя $n_{ш}$ значно менший (15,3 %), але має суттєве значення. З його підвищенням продуктивність зменшується. В рамках експерименту продуктивність обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента M змінювалася у межах від 107 до 336 мм³/хв.

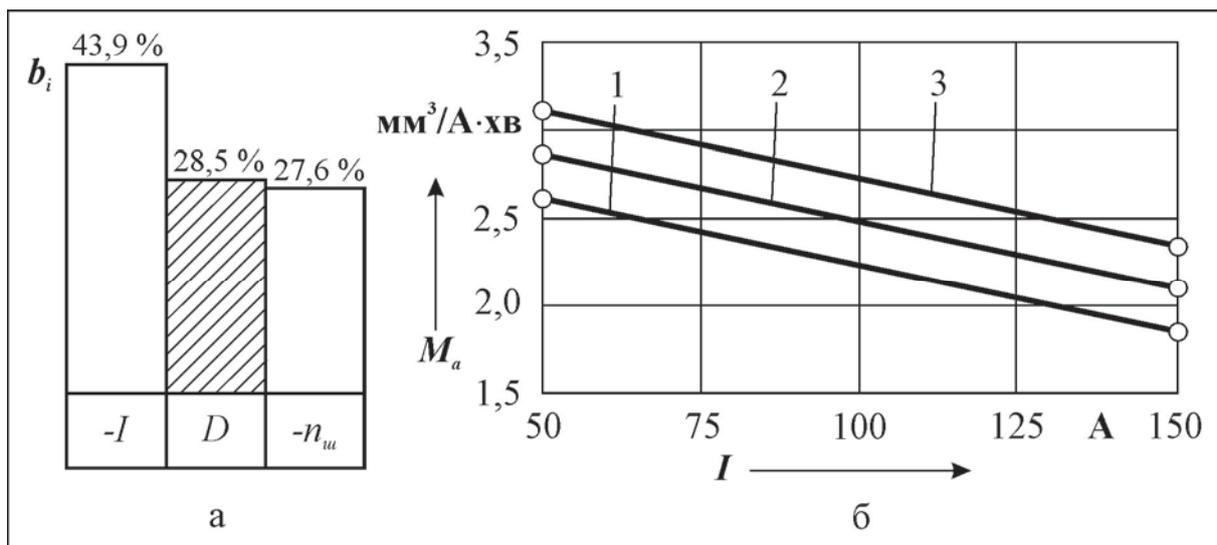


1 – $n_{ш} = 60 \text{ хв}^{-1}$; 2 – $n_{ш} = 35 \text{ хв}^{-1}$; 3 – $n_{ш} = 10 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 4 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність продуктивності обробки M від I та $n_{ш}$ (б)

Джерело: розроблено автором

Встановлено (рис. 5), що найбільш впливовим фактором на питому продуктивність обробки M_a , а отже головним керуючим, є сила технологічного струму (ступінь впливу 43,9 %). Із зменшенням сили струму M_a збільшується. Показано, що суттєво та приблизно однаково впливають на M_a такі фактори, як діаметр вихідної заготовки D (ступінь впливу 28,5 %) та число обертів шпинделя $n_{ш}$ (ступінь впливу 27,6 %), але із підвищенням діаметру заготовки D питома продуктивність обробки збільшується, а із підвищенням числа обертів шпинделя $n_{ш}$ – зменшується. В умовах експерименту питома продуктивність обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента змінювалася у межах від 1,93 до 3,96 $\text{mm}^3/\text{A}\cdot\text{хв}$.

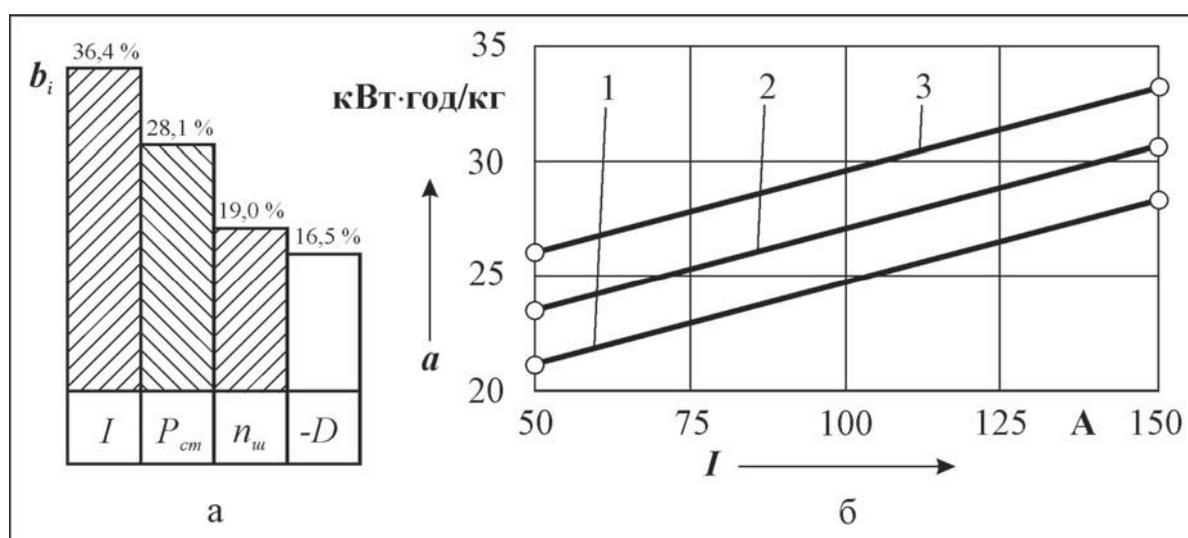


1 – $D = 10 \text{ мм}$; 2 – $D = 15 \text{ мм}$; 3 – $D = 20 \text{ мм}$

Рисунок 5 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої продуктивності обробки M_a від I та D (б) [$n_{ш} = 35 \text{ хв}^{-1}$]

Джерело: розроблено автором

Показано (рис. 6), що найбільший вплив на питому витрату електроенергії процесу обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента a (36,4 %) виявляє сила струму I , із підвищенням якої a збільшується. Саме тому I слід розглядати як головний керуючий фактор. Вплив статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_{cm} трохи менший (28,1 %), але має суттєве значення. Із підвищенням P_{cm} питома витрата електроенергії a теж збільшується. Значно менше впливають на питому витрату електроенергії a такі фактори, як число обертів шпинделя $n_{ш}$ (19,0 %) та діаметр вихідної ЕЗ D (16,5 %). В умовах експерименту питома витрата електроенергії a процесу обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента змінювалася у межах від 16,02 до 32,89 кВт-год/кг.



1 – $P_{cm} = 0,6$ МПа; 2 – $P_{cm} = 0,8$ МПа; 3 – $P_{cm} = 1,0$ МПа

Рисунок 6 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої витрати електроенергії a від I та P_{cm} [$D = 15$ мм; $n_{ш} = 35$ хв⁻¹](б)

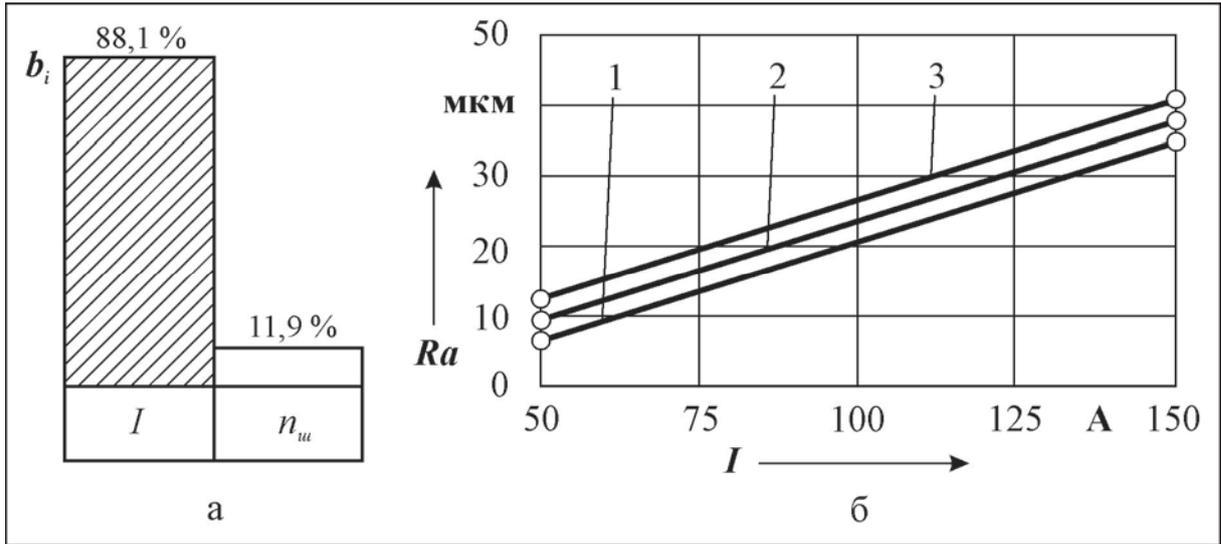
Джерело: розроблено автором

Показано (рис. 7), що найбільший вплив на шорсткість поверхні після РОД тіл обертання дротовим електродом-інструментом Ra оказує сила струму I , із підвищенням якої Ra збільшується. Саме тому I слід розглядати як головний керуючий фактор. Вплив швидкості обертання шпинделя – значно менший і складає 11,9 %. В умовах експерименту шорсткість поверхні обробки тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента Ra змінювалася у межах від 6,3 до 42 мкм.

Як відомо [6, с. 129], шорсткість торцевої поверхні після РОД визначається мікрорельєфом, що утворюється в результаті суперпозиції всієї поверхні елементарних електроерозійних слідів від горіння електричною дугою.

Аналогічно визначається шорсткість поверхні після РОД тіл обертання дротовим електродом-інструментом. За формою сліди являють собою лунки або доріжки (рис. 8). Геометрія елементарної електроерозійної лунки характеризується діаметром D_l (у випадку утворення електроерозійної доріжки діаметр D_l характеризує її ширину).

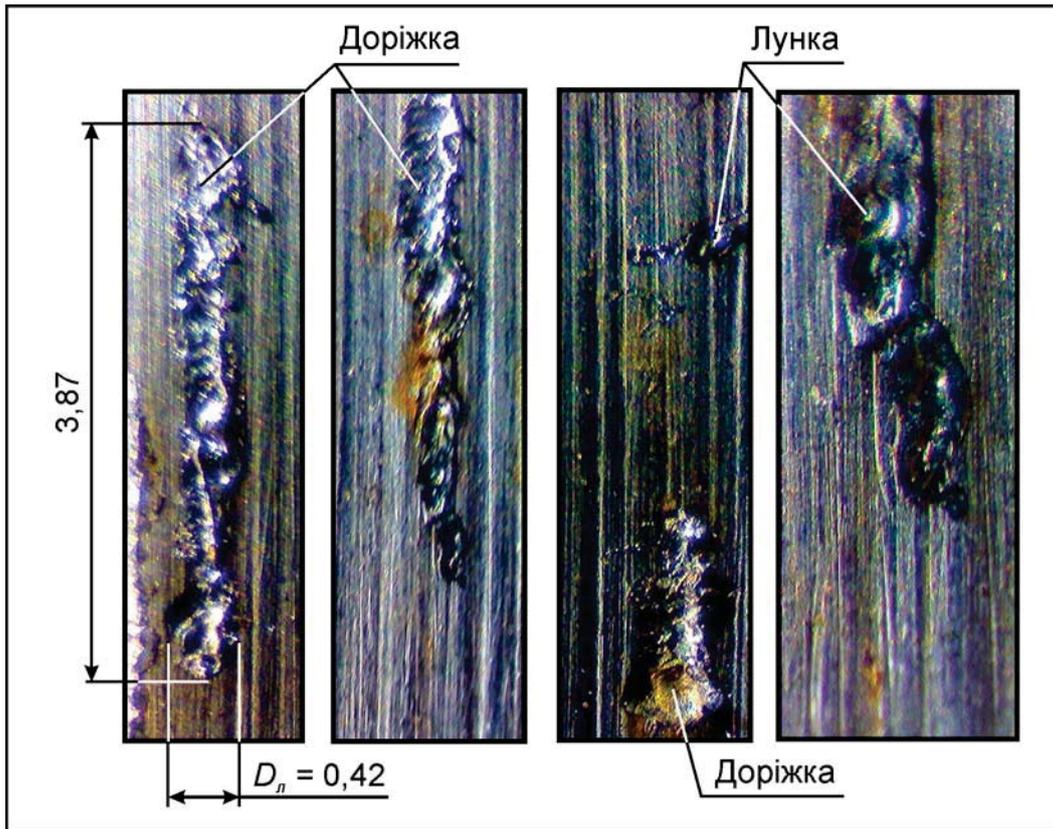
З фізичної точки зору формування обробленої поверхні тіла обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента може здійснюватися (табл. 2):



1 - $n_{ui} = 10 \text{ хв}^{-1}$; 2 - $n_{ui} = 35 \text{ хв}^{-1}$; 3 - $n_{ui} = 60 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 7 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність шорсткості обробленої поверхні Ra від I та n_{ui} (б)

Джерело: розроблено автором

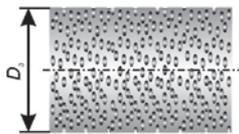
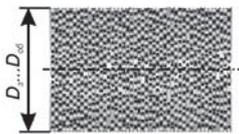
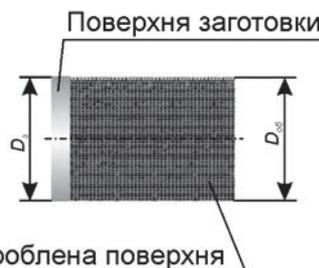


$I = 50 \text{ A}$; $P_{cm} = 0,6 \text{ МПа}$; $D = 35 \text{ мм}$; $n_{ui} = 60 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 8 – Сліди горіння електричної дуги на електроді-заготовці ($\times 25$):

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2 - Особливості формування поверхні тіла обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента

Показники процесу обробки	Режим обробки	
	послідовний	одноразовий
Характеристика режиму обробки	1. $l = l_{\min}$. 2. $n_{ш} = n_{ш(\max)}$. 3. $s_o = \text{const} \leq d_{\text{дрота}}$	1. $l = l_{\max}$. 2. $n_{ш} = n_{ш(\min)}$. 3. $s_o = \text{const} \leq d_{\text{дрота}}$
Кількість проходів	Непарна: 1, 3, 5...	Один
Моделювання слідів дуги за проходами	<p>Перший прохід:</p>  <p>Третій прохід:</p>  <p>П'ятий прохід:</p> 	<p>Разовий прохід:</p> 
Результат обробки та рекомендації щодо застосування	1. Малопродуктивна чистова обробка: $M < M_{\text{опт}}$ 2. Мінімальна шорсткість обробленої поверхні ($Ra = 6,3$ мкм)	1. Високопродуктивна чорнова обробка: $M \geq M_{\text{опт}}$ 2. Максимальна шорсткість обробленої поверхні ($Ra = 40$ мкм)

Джерело: розроблено автором

- послідовно, тобто за декілька проходів. Бажано, щоб кількість проходів була непарним числом. Це пов'язано з тим, що продукти ерозії при видаленні із міжелектродного зазору можуть прилипати до обробленої поверхні на парних проходах і залишатися там, в той час як на непарних проходах здійснюється їх «зачищення». Потреба в послідовній обробці за декілька проходів виникає у випадку, коли сила струму I замала, а швидкість обертання шпинделю $n_{ш}$ завищена. На такому режимі обробки електрична дуга не встигає повністю руйнувати оброблюваний шар поверхні. Тому кількість проходів треба повторювати до моменту, коли дуга не буде збуджуватися в міжелектродному зазорі. Даний режим доцільно використовувати для чистової обробки;

- одноразово, тобто за один прохід. Таке формування поверхні можливе лише при виконанні умови (1):

$$Q_{ш} \leq M, \quad (1)$$

де $Q_{ш}$ – об'єм шару, що вивільняє дротовий ЕІ в процесі осьової подачі на величину l в одиницю часу, $\text{мм}^3/\text{хв}$.

$$Q_{ш} = \frac{(D_3^2 - D_{об}^2) \cdot l}{4t};$$

t – час обробки, хв.;

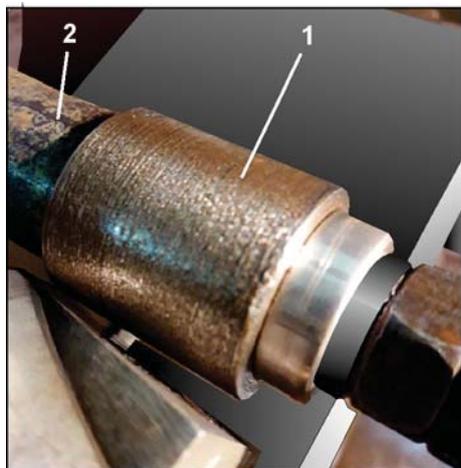
M – продуктивність обробки, $\text{мм}^3/\text{хв}$.

Саме тому, для організації обробки за один прохід необхідно вести процес на підвищеній силі струму I та на зменшеній швидкості обертання шпинделю $n_{\text{ш}}$. При цьому спостерігається підвищена шорсткість обробленої поверхні. Даний режим доцільно використовувати для чорнової обробки.

Слід відмітити, що принципово можливо даним способом зробити чистову обробку поверхні тіла обертання за один прохід. Але кінематичні можливості експериментального верстата цього не дозволяють.

Висновки. Запропоновано новий спосіб розмірної обробки електричною дугою тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента (рис. 9), в основу якого покладено нову технологічну схему формоутворення поверхні тіла обертання. Електричну дугу збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини між електродом-заготовкою, що обертається, та дротовим електродом-інструментом, який протягують в зоні обробки по опуклій поверхні електродотримача в площині, що перпендикулярна осі обертання електрода-заготовки, а процес здійснюють при гарантованому зазорі між не обробленою поверхнею електрода-заготовки та електродом-інструментом, тобто без можливого контакту електрода-інструмента з електродом-заготовкою та без застосування слідкуючої подачі електрода-інструмента. Протягування дротового електрода-інструмента дозволяє компенсувати його знос. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє підвищити точність формоутворення поверхні тіла обертання з 14 до 8 квалітету. Отримано математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність та

якість процесу РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента, які дозволяють керувати ними та прогнозувати їх. Описано фізичний механізм формування шорсткості поверхні після РОД тіл обертання дротовим електродом-інструментом. Показана можливість формування поверхні послідовно за декілька проходів або за один прохід.



1 – втулка; 2 – оправка

Рисунок 9 – Втулка із нержавіючою сталі 1Х18Н9Т, що оброблена способом РОД з використанням дротового електрода-інструмента

Джерело: розроблено автором

Список літератури

1. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник / Я.Л. Гуревич и др. Москва: Машиностроение. 1976. 176 с.
2. Артамонов Б. А., Винницкий А. Л., Волков Ю. С., Глазков А. В. Размерная электрическая обработка металлов: учебное пособие для вузов / Под ред. А. В. Глазков. Москва: Высш. шк., 1978. 336 с.
3. Спосіб обробки тіл обертання електричною дугою і електрод-інструмент для його реалізації: пат. 24439А Україна: МПК В23Р 17/00 . № 97041927; заявл. 22.04.97; опубл. 30.10.98, Бюл. № 5.
4. Новое в электроэрозии – ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ТОЧЕНИЕ / Пер. из ж-ла MODERN MACHINESHOP. URL: galika.ru/wp-content/uploads/2013/03/Statea_EDM_Turning.pdf – Загл. с экрана (дата обращения: 24.01.2019)

5. Спосіб обробки поверхонь тіл обертання електричною дугою в гідродинамічному потоці робочої рідини: пат 121498 Україна: МПК В23К 9/013, В23К 35/38. № u201705537; заявл. 06.06.2017: опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23.
6. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою: монографія. Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2002. 300 с.

References

1. Gurevich, Ja.L. et al. (1976). *Rezhimy rezanija trudnoobrabatyvaemyh materialov [Modes of cutting difficult to machine]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Artamonov, B. A., Vinnickij, A. L., Volkov, Ju. S. & Glazkov, A. V. (1978). *Dimensional electrical metal processing: a textbook for universities*. A. V. Glazkov (Ed.). Moscow: Vyssh. shk. [in Russian].
3. Sposib obrobky til obertannia elektrychnoiu duhoiu i elektrod-instrument dlia joho realizatsii [The method of processing the bodies of rotation with an electric arc and the electrode tool for its implementation]. pat. 24439A Ukraina: MPK V23R 17/00 . № 97041927; zaiavl. 22.04.97; opubl. 30.10.98, Biul. № 5 [in Ukrainian].
4. New in electroerosion - Electroerosion turning. *Modern Machinshop*. Retrieved from galika/ru/wp-content/uploads/2013/03/Statea_EDM_Turning.pdf [in Russian].
5. Sposib obrobky poverkhon' til obertannia elektrychnoiu duhoiu v hidrodinamichnomu pototsi robochoi ridyny [The method of treatment of the surfaces of bodies of rotation by an electric arc in the hydrodynamic flow of the working fluid]. pat 121498 Ukraina: MPK V23K 9/013, V23K 35/38. № u201705537; zaiavl. 06.06.2017: opubl. 11.12.2017, Biul. № 23 [in Ukrainian].
6. Bokov, V. M. (2002). *Rozmirne formoutvorennia poverkhon' elektrychnoiu duhoiu: monohrafiia [Dimensional shaping of surfaces by electric arc]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychyj tsentr TOV «Imeks – LTD» [in Ukrainian].

Victor Bokov, Prof., PhD Tech. Sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Dimensional Treatment of Rotation Bodies With Electric Arc Using a Wire Electrode Tool

In modern engineering electro-erosion methods are used for treatment of rotation bodies made of hard-to-machine materials. They provide non-force cutting and allow treating any electrically conductive material regardless of its hardness. Thus, a high-performance arc treatment method is known. The method applies a graphite electrode-tool, but it does not provide high machining accuracy due to increased abrasive wear of the electrode-tool. In addition, there is a method of electro-spark machining of rotation bodies which compensates for wear by pulling the wire electrode tool in the treatment area, but does not provide high processing performance.

The author of the work combines the advantages of these methods. The result of the combination is a new method of dimensional arc treatment of rotation bodies using a wire electrode tool. Thus, the objective of the study is to improve the accuracy of the process of dimensional treatment by an arc of rotation bodies using a wire electrode tool.

The basis of the proposed method is a new technological scheme of shaping the surface of the rotation body. An electric arc is excited in the hydrodynamic fluid flow between the workpiece electrode, which rotates, and the wire electrode tool, which is pulled in the treatment area along the convex surface of the electrode holder in a plane that is perpendicular to the axis of rotation of the workpiece electrode. The process is carried out with a guaranteed gap between the non-treated surface of the workpiece electrode and the electrode-tool without tracking the supply of the electrode-tool. Broaching the wire electrode tool allows compensating its wear.

The use of the proposed method, in comparison with the known, allows increasing the accuracy of shaping the surface of the rotation body from 14 to 8 points of accuracy degree.

Mathematical models of technological characteristics, characterizing the performance and quality of the process of dimensional arc treatment using a wire electrode-tool, which allow them to control and forecast, are obtained.

The physical mechanism of formation of surface roughness is investigated. The possibility of forming the surface successively in several passes or in one pass is shown.

electric arc, hydrodynamic mode, wire electrode tool, technological shaping scheme

Одержано (Received) 18.02.2019

Прорецензовано (Reviewed) 27.02.2019

Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019