

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГЛАДЖУВАННЯ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ ЗА УМОВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ПОЛІРУВАННЯ ДРОТЯНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Білан А.В., Осипенко В.І., Ступак Д.О. (ЧДТУ, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, Україна)

Electrochemical polishing after cutting electro discharge machining, as an absolutely new method of hybrid machining, is represented in the article. A new scheme is developed and selection of process rate is validated. According to the experiments a statistical model for prediction of process rate is created.

Сучасний стан розвитку техніки та промисловості висуває перед виробниками ряд умов, характерних для ринку з високою конкуренцією. Насамперед – це точність розмірів та якість поверхні деталі, максимальна продуктивність та мінімальна собівартість обробки, швидка зміна номенклатури випуску. Більшості цих вимог відповідає технологія електроерозійного дротяного вирізання (ЕЕДВ). В окремих випадках – це єдино можлива технологія для виготовлення деталі. Однак досягнення високої якості поверхні за допомогою електроерозійного вирізання вимагає значного часу, що збільшує вартість обробки.

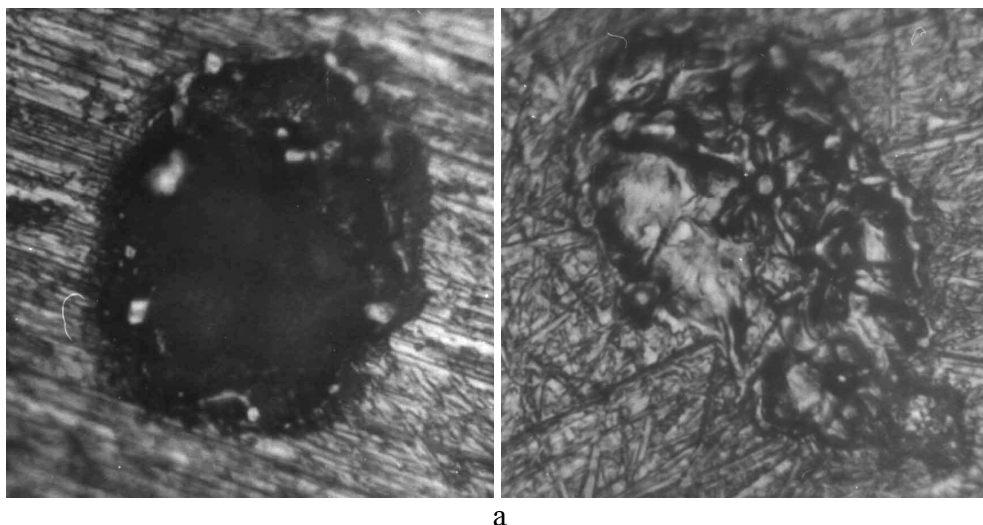
При ЕЕДВ мікрогеометрія утвореної поверхні формується за рахунок взаємного перекриття одиничних ерозійних лунок, які виникають внаслідок електричного розряду між електродами. Форма лунок залежить від густини струму в каналі розряду, матеріалів електродів, тривалості імпульсу, параметрів робочої рідини тощо. Вона змінюється від кульового сегменту (діаметром до 100 мкм і глибиною 1-2 мкм) до циліндру (діаметром не більше 50 мкм і глибиною 5-7 мкм) або взагалі може мати складну неправильну форму (рис.1) [1]. Радіус і глибина лунки, а також їх співвідношення мають суттєвий вплив на шорсткість поверхні. Отже, поверхня набуває специфічної шорсткості, параметри якої визначаються розмірами та геометрією двох груп нерівностей – отриманих внаслідок взаємного перекриття лунок та тих, що виникли внаслідок викривлення профіля лунки. Якщо перша група може бути визначена через розміри одиничної лунки, то друга група має ймовірністний характер і є більш складною для оцінки та прогнозування.

Крім того, поверхня оброблена електроерозійним дротяним вирізанням має виражену хвилястість, що зумовлена нерівномірністю подачі, викривленнями та вібраціями дротяного електрода (рис. 2).

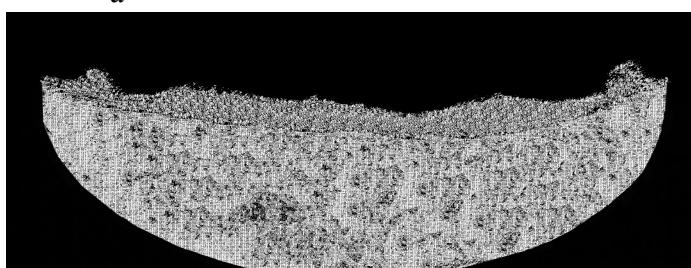
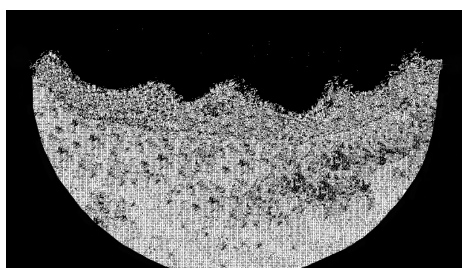
Залежність між режимами обробки та шорсткістю поверхні детально досліджено в роботах [2-6].

Вивести ЕЕДВ на новий рівень якості формоутворення можливо застосувавши електрохімічне згладжування мікронерівностей, а саме – електрохімічне полірування, безпосередньо в вані електроерозійного вирізного верстату.

Електрохімічне полірування (ЕХП) – це процес розчинення виступів мікронерівностей поверхні в електроліті під дією електричного струму, що протікає між заготовкою та додатковим електродом. Класичний процес ЕХП досліджується з початку 70-х років минулого сторіччя. Визначені оптимальні параметри обробки та склад електроліту. Однак, на сучасному етапі розвитку техніки та технологій суттєвим недоліком згаданого технологічного процесу є обробка всієї поверхні деталі, що занурена в електроліт. Це робить практично неможливим кінцеву доводку точних складноконтурних деталей характерних для технології ЕЕДВ.



а



б

Рис. 1. Форма лунок на деталі (а) та фотографії мікрошліфів січень ерозійних лунок (б) при електроерозійній обробці.



Рис. 2. Типова поверхня оброблена електроерозійним вирізанням.

Ідея даної роботи полягає в проведенні електрохімічного полірування в межах локальної зони, розміри якої забезпечуються місцем контакту заготовки з електролітом. Експерименти проводилися на базі електроерозійного вирізного комплексу СЕЛД-04, на якому додатково було встановлено джерело живлення та бак з електролітом. При цьому, в якості катода використовувався дрітятий латунний електрод (Л63). Електроліт подається через сопла на дрітятий електрод. Завдяки ефекту поверхневого натягу формується локальний об'єм між дріттьним електродом та заготовкою, заповнений електролітом. Розмір зони визначається параметрами рідини, швидкістю її протікання, висотою заготовки. Дослідженню процесу електрохімічного полірування дріттьним електродом та створенню експериментальної статистичної моделі для розрахунку режимів обробки присвячена дана стаття.

Відомо, що на процес ЕХП суттєвий вплив мають склад та концентрація електроліту, щільність струму, величина міжелектродного проміжку, напруга між електродами, матеріали електродів [7-9]. В даній роботі розглянуто режими обробки якісної конструкційної сталі Сталь45 ГОСТ 1050–80, як типового представника.

Для полірування деталі з даної сталі в якості електроліта використовується водний розчин NaCl концентрацією 4% [9]. Збільшення концентрації розчину призводить до активнішого розчинення матеріалу і, відповідно, погіршення якості поверхні. Менша концентрація збільшує тривалість процесу, збільшує пасивацію поверхні, що також погіршує якість обробленої поверхні.

Густина струму обробки залежить від площі обробки та величини струму, яка в свою чергу визначається опором міжелектродного проміжку та величиною різниці потенціалів між електродами. Для проведення електрохімічного полірування необхідно забезпечити щільність струму в межах $10-20 \text{ А/см}^2$. Площа обробки визначається площею контакту заготовки з електролітом (рис. 3) та ступенем локалізації струму в електроліті.

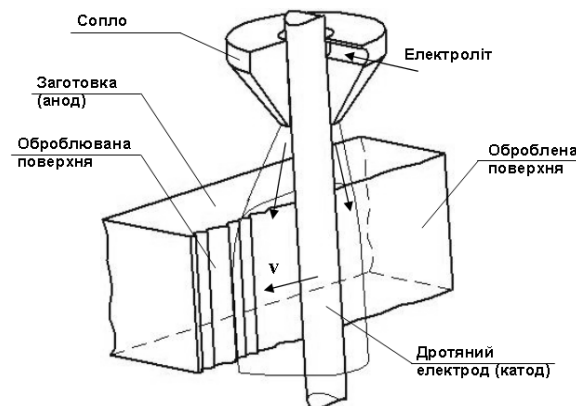


Рис. 3. Схема електрохімічного полірування дрітним електродом-інструментом

Зразки для обробки отримано електроерозійним різанням. Це забезпечило стабільність вихідних показників поверхні – шорсткості, хвилястості, висоти мікронерівностей. Площа поверхні, що досліджувалась 50 мм^2 .

Розмір зони контакту заготовки з електролітом складає 5 мм по висоті заготовки та 6 мм ширини омивання електролітом, тобто $0,30 \text{ см}^2$. Отже, для забезпечення щільності струму в заданих межах, полірування проводилось струмом в межах 3-6А. Виходячи з цього напруга між електродами змінювалась в межах від 20 до 40В.

Відстань між заготовкою та дрітним електродом змінювалась в межах 0,5-2 мм. Менше значення не дозволяє проводити ефективне промивання міжелектродного проміжку. При більшому значенні неможливо забезпечити омивання електролітом обох електродів.

Для обробки результатів експериментів було використано методи математичного планування експериментів. Постійними факторами є матеріали електродів (Сталь45 та Л63), склад електроліту (водний розчин NaCl), концентрація електроліту (4%), температура електроліту – 20°C , початкова шорсткість поверхні деталі ($R_a = 3,2 \text{ мкм}$). Змінним факторами є напруга між електродами (20-40 В) та відстань між електродами (0,5-2 мм).

Тривалість обробки обиралась виходячи із вимоги відсутності суттєвої пасивації поверхні. За умов проведення експериментів вона складала 5 с.

Експерименти проводились в вані електроерозійного вирізного верстату за схемою, наведеною на рис. 3. Для забезпечення повторюваності результату кожен дослід проводився не менше 5 разів, після чого вираховувалось середнє значення отриманої шорсткості поверхні.

Топографія поверхонь визначалась на атомно-силовому мікроскопі НТ-21 (рис.4). Похибка вимірювання не більше 4%.

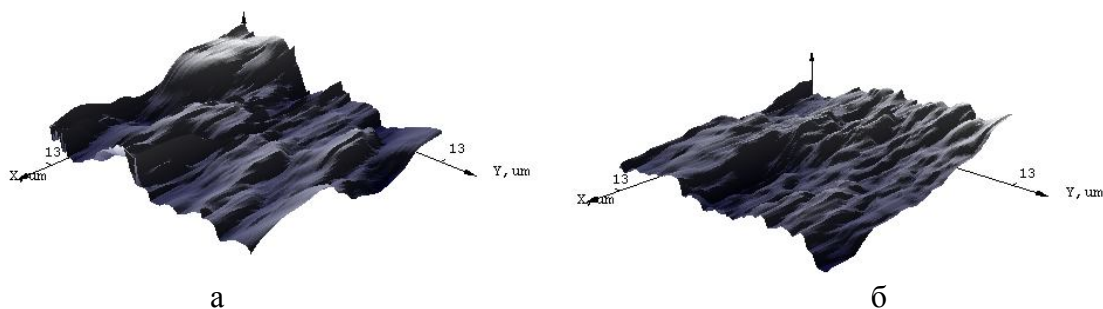


Рис.4. Топографія поверхні зразків до (а – $R_a = 3,2$ мкм) та після (б – $R_a = 0,133$ мкм) електрохімічного полірування.

Залежність шорсткості поверхні (R_a , мкм) від напруги та відстані між електродами знаходилась як квадратична функція. Загальна формула залежності має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

Межі зміни та рівні змінних факторів зведені в таблицю 1

Таблиця 1. Параметри статистичної математичної моделі

Параметр	Позначення	Нижній рівень, „-1”	Середній рівень, „0”	Верхній рівень, „+1”
Напруга між електродами, U, В	X_1	20	30	40
Відстань між електродами, w, мм	X_2	0,5	1	2

Перехід від розрахункових змінних до реальних величин відбувається за формулами:

$$\begin{aligned} X_1 &= 30 + 10x_1; \\ X_2 &= 2^{x_2}. \end{aligned} \tag{1}$$

Результати дослідів зведені в таблицю 2.

Таблиця 2. Матриця планування експериментів

№ п/п	x_1	x_2	y_{cp}	№ п/п	x_1	x_2	y_{cp}
1	-1	-1	0.662	7	1	-1	0.220
2	-1	0	0.298	8	1	0	0.224
3	-1	1	0.775	9	1	1	0.274
4	0	-1	0.376	10	0	0	0.202
5	0	0	0.653	11	0	0	0.118
6	0	1	0.532	12	0	0	0.504

Розрахунковий критерій Кохрена для даних умов $G_{(0,05; n=9; m=5)} = 0,3584$. Фактично отриманий на нульовій точці ($Ra=0,192; 0,131; 0,186; 0,184; 0,135$) – $G = 0,333 < 0,3584$, тобто процес є відтворюваним.

Розрахунок коефіцієнтів регресії виконано для повно факторного експерименту 3-го ступеню ($b_0=0,28; b_1=-0,16; b_2=0,11; b_{12}=0,01; b_{11}=0,05; b_{22}=0,18$) [9]. Розрахунковий критерій Фішера $F=4,252 < 4,6672$, тобто модель є адекватною.

Таким чином рівняння регресії має вигляд:

$$y = 0,28 - 0,16x_1 + 0,11x_2 + 0,01x_1x_2 + 0,05x_1^2 + 0,18x_2^2, \quad (2)$$

де x_1, x_2 – розрахункові змінні.

Шорсткість поверхні виражена через реальні змінні при підстановці (1) в (2) має вигляд:

$$Ra = 1,21 - 0,019U + 0,08 \log_2 w + 0,001U \cdot \log_2 w + 0,0005U^2 + 0,18(\log_2 w)^2 \text{ (мкм)}. \quad (3)$$

За формулою (3) побудовано 3-вимірний графік (рис.5) та залежності шорсткості від напруги, при різних значеннях міжелектродного проміжку (рис. 6, а) і від міжелектродного проміжку при різних значеннях напруги (рис. 6, б).

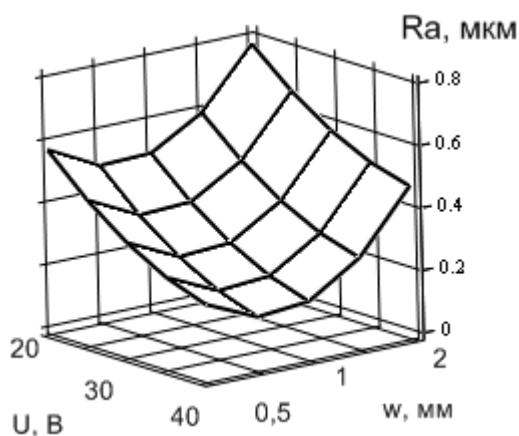


Рис. 5 Залежність шорсткості обробленої поверхні (мкм) від величини міжелектродного проміжку (0,5 – 2 мм) та напруги між електродами (20-40 В)

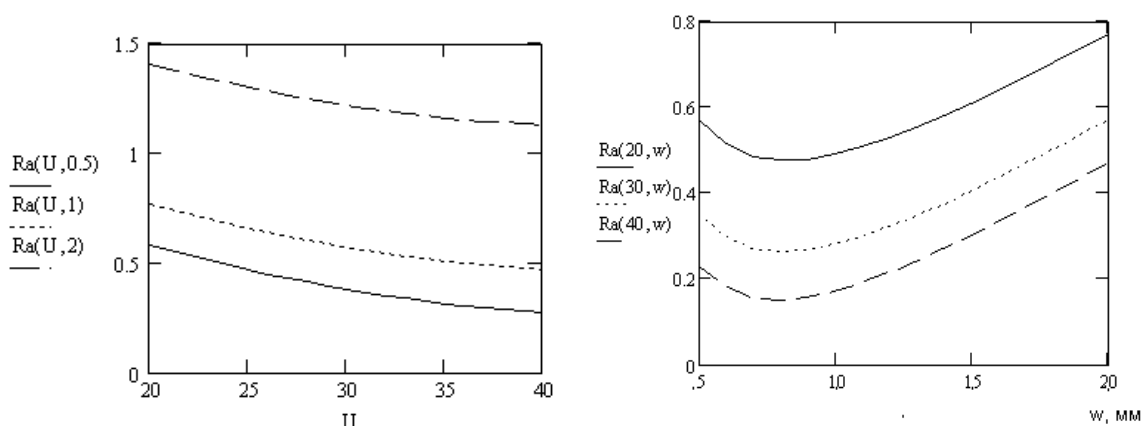


Рис.6. Залежності шорсткості поверхні від напруги (а) та величини міжелектродного проміжку (б)

Враховуючи складність проблеми створення комбінованої технології обробки, при проведенні досліджень завдання пошуку оптимуму не ставилось. Необхідно було

експериментально оцінити принципові можливості отримання фінішної поверхні з якомога меншими значеннями висоти мікронерівностей та, використовуючи принципи „чорного ящика”, отримати інтерполяційну модель, що дозволяє прогнозувати результати згладжування мікронерівностей в окремій наперед заданій області.

Аналізуючи отримані результати (рис. 5,6) можливо зробити такі висновки.

1. Доведено принципову можливість ефективно використовувати комбіновану технологію ЕЕДВ та ЕХП для суттєвого покращення якості оброблених поверхонь.
2. В області досліджених режимів досягнуто згладжування мікрорельєфу з $Ra=3,2$ мкм до $Ra=0,2-0,133$ мкм. При цьому якщо зі зміною напруги характер зменшення мікронерівностей є монотонним, то вплив МЕП має чітко виражений екстремум.
3. Отримана експериментальна статистична модель на рівні „чорного ящика” дозволяє прогнозувати вплив густини струму та величини міжелектродного проміжку на ефективність згладжування мікронерівностей на поверхні деталі, отриманої за технологією ЕЕДВ, при використанні в якості катода дротяного електрода в заздалегідь заданій області параметрів (матеріал електродів, склад, концентрація та температура електроліту).

Список літератури: 1. Осипенко В.І. Фізико-технологічні основи електроерозійного дротяного вирізання. Дис. докт.техн наук. 05.03.07. – Київ. – 2006. – 369 с. 2. Иоффе В.Ф., Коренблюм М.В., Шавырин В.А. Автоматизированные электроэрозионные станки. Л.: Машиностроение, 1984. – 227с. 3. Коренблюм М.В., Полуянов В.С. Автоматизированные электроэрозионные станки. // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Резание металлов. Станки и инструменты. – 1990. - №9. – с. 1-132. 4. Съянов С.Ю. Технологические обеспечение качества поверхностного слоя деталей при электроэрозионной обработке: Дис. ... канд. тех. наук: 05.02.08. – Брянск. – 2002. – 166 с. 5. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. М.: Машиностроение, 1980 - 184 с. 6. Білан А.В., Котельников Д.І., Небилиця Ю.М. Визначення шорсткості поверхні у процесі електроерозійного вирізання. // Вісник Чернігівського ДТУ. Серія технічні науки. №15. - 2002. с. 83-93. 7. Галанин С.И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока. Кострома: КГТУ. – 2001. – 120 с. 8. Толстая М.А., Анисимов А.П. Топорические основы электрохимической обработки металлов и сплавов. Учебное пособие. Ч. I. – М.: Московский авиационный технологический институт. – 1975. – 102 с. 9. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки под ред. В.А. Воломатова. Л.: Машиностроение. – 1988. – 719 с. 10. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика. – 1981. - 263 с.

Сдано в редакцию 8.04.08

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ РЕЗЦОМ КУДИНОВА-СУХАНОВА

**Баласанян Б.С., Гараян А. В, Баласанян А.Б., Кочарян К.С. (ГИУА, Ереван,
Ванадзор, Республика Армения)**

In work it is shown, that on size of total force of cutting at processing of plastic metals Kudinov-Sukhanov's by multistage cutter essential influence renders dependence of force of